Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й

В Е С Т Н И К

П О В О Л Ж Ь Я

№1 2016

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

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

05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Казань

2016

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №1 2016г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2016. – 106 с.

ISSN 2079-5920

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

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvp.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

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

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

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

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

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

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

УДК 60

ББК 30-1

 © Научно-технический вестник Поволжья, 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

И.Е. Илларионов, В.К. Половняк, И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов РАЗРАБОТКА ЗАКАЛОЧНОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ В СИСТЕМЕ N_2H_4CO – $NH_2C_2H_4OH$ – H_2O ПРИ 25°С 7

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

В.В. Дружинин РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИОФАНТОВЫХ УРАВНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ОБОБЩЕННОЙ ТЕОРЕМЫ ФЕРМА-ЭЙЛЕРА 13

Д.Ю. Иванов, Р.И. Дзержинский РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ РОБЕНА ДЛЯ ДВУМЕРНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ОПЕРАТОРНЫХ УРАВНЕНИЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ В ПРЯМОМ ЦИЛИНДРЕ 15

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Д.И. Дьяченко, В.Т. Фомичев ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ СВЕРХТОНКИХ ПОКРЫТИЙ НИКЕЛЯ ИЗ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ХОЛИН ХЛОРИДА 18

А.В. Потапова, А.В. Соколова, Е.В. Гусева КАЛИКС[4]РЕЗОРЦИНЫ: ТРЕХМЕРНЫЕ ЛИГАНДЫ ДЛЯ КАТАЛИЗАТОРОВ БУДУЩЕГО 22

О.В. Рябова, Д.В. Терин, Е.А. Савельева, А.А. Танцерев, А.И. Финаенов ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКРАШИВАНИЯ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В РАСТВОРАХ НА ОСНОВЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ШЛАМОВ ИМПУЛЬСНЫМ ТОКОМ 26

В.В. Хасанов, Р.Д. Ульбашева СИНТЕЗ СУБМИКРОННЫХ МАГНИТНЫХ КРИСТАЛЛИТОВ НА ОСНОВЕ $BaFe_{12}O_{19}$ ИЗ B_2O_3-СОДЕРЖАЩИХ ОКСИДНЫХ СТЕКОЛ 29

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

А.Р. Фардеев, А.М. Абдуллина СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ВЕТРОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ С ГИДРОПРИВОДОМ И ТРУБОПРОВОДА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СКОРОСТИ ВЕТРА И КОЛИЧЕСТВА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ 33

В.В. Харьков МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛО– И МАССООБМЕНА ПРИ КОНЦЕНТРИРОВАНИИ СОКОВ В ВИХРЕВОЙ КАМЕРЕ 37

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

А.А. Кузнецов КОМПЛЕКСИРОВАННЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ИЗНОСА И ТЕМПЕРАТУРЫ ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ 45

Г.Р. Таирова, Ю.Б. Томус ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ СЫРОЙ НЕФТИ АНАЛИЗОМ ПРОБ, ВЛАГОМЕТРИЕЙ И ПЛОТНОСТНЫМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ 49

05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

И.А. Акимов, А.И. Акимов, Е.О. Каракулина ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ПЕРВОМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА НЕКОТОРЫХ ТИПОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСТАНОВКАХ ШОЛЬЦА 54

И.А. Акимов, В.В. Тугов ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВИАКОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 58

Г.Г. Галустов, В.И. Марчук КЛАССИФИКАЦИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ БИНОМИАЛЬНЫХ МОМЕНТНЫХ ФУНКЦИЙ 62

В.В. Корзин, П.П. Гладких ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ СТРУИ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ 66

Г.И. Лавров, И.Г. Лавров К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ ФЛЮИДНЫХ КОНТАКТОВ ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ 71

Д.В. Макаров, Р.И. Паровик ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДУБОВСКОГО ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ КРИЗИСОВ 74

Р.А. Марков, В.В. Бухтояров, А.М. Попов, Н.А. Бухтоярова ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 78

Р.И. Паровик МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭРЕДИТАРНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА КОШИ-ЭЙЛЕРА 81

С.Ю. Паскарь ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОГИЛЬВИ ПЕРЕНОСА РАДОНА В ДВУСЛОЙНОЙ ГЕОСРЕДЕ С ФРАКТАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ 84

В.В. Тугов, В.Р. Сабанчин РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ОБЖИГА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ ЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ 87

А.Н. Цуриков, А.Н. Гуда, А.Ж. Карсян ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ В СЛАБОФОРМАЛИЗУЕМЫХ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЯХ 90

А.В. Шорохова РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ СОЦИОКУЛЬТУРНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИЕЙ ОСВОБОЖДЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ 94

АННОТАЦИИ 97

THE RELEASE MAINTENANCE

I.Ye. Illarionov, V.K. Polovnik, I.V. Fadeyev, Sh.V. Sadetdinov DEVELOPMENT OF THE QUENCHING MEDIUM ON THE BASIS OF PHASE EQUILIBRIA IN THE SYSTEM N_2H_4CO – $NH_2C_2H_4OH$ – H_2O AT 25°C 7

01.01.00 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICS

V.V. Druzhinin SOLUTION OF NON LINEAR DIOHYANTINE EQUATIONS USING THE GENERALIZED FERMA-EULER THEOREM 13

D.Yu. Ivanov, R.I. Dzerzhinskij SOLUTION OF TWO-DIMENSIONAL ROBIN PROBLEMS, CORRESPONDING TO INITIAL-BOUNDARY VALUE PROBLEMS OF HEAT CONDUCTION IN A DIRECT CYLINDER, USING VECTOR POTENTIALS 15

02.00.00 — CHEMICAL SCIENCES

D.I. Dyachenko, V.T. Fomichev ELECTROCHEMICAL PRODUCTION OF ULTRATHIN COATINGS OF NICKEL FROM IONIC LIQUIDS BASED ON CHOLINE CHLORIDE 18

A.V. Potapova, A.V. Sokolova, E.V. Guseva CALIX[4]RESORCINES: THREE-DIMENSIONAL LIGANDS FOR CATALYSTS OF THE FUTURE 22

O.V. Ryabova, D.V. Terin, E.A. Savel'eva, A.A. Tancerev, A.I. Finaenov OPTIMIZATION OF PROCESS OF ELECTROCHEMICAL PAINTING OF ANODIC OXIDE OF ALUMINIUM IN SOLUTIONS ON BASIS OF GALVANIC SHLAMOV BY IMPULSIVE CURRENT 26

V.V. Khasanov, R.D. Ulbasheva SYNTHESIS OF SUBMICRONIC MAGNETIC CRYSTALLITES ON THE BASIS OF $BaFe_{12}O_{19}$ FROM B_2O_3-OXYDE CONTAINING GLASSES 29

05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

A.R. Fardeyev, A.M. Abdullina COOPERATION OF THE WINDPUMPING ENGINE WITH HYDRAULIC DRIVE AND THE PIPELINE AT THE CHANGES OF THE WINDSPEED AND THE NUMBER OF USERS 33

V.V. Kharkov HEAT–AND–MASS TRANSFER SIMULATION OF JUICE CONCENTRATION IN THE VORTEX CAMERA 37

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

A.A. Kuznetsov COMPLEXED WEAR AND TEMPERATURE FIBER-OPTIC SENSORS FOR FRICTION SURFACES 45

G.R. Tairova, Y.B. Tomus EVALUATION ESTIMATES CRUDE OIL DETERMINE THE MOISTURE CONTENT OF SAMPLE ANALYSIS, HYGROMETERS AND DENSITY MEASUREMENT 49

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

I.A. Akimov, A.I. Akimov, E.O. Karakulina RESEARCH AND DEVELOPMENT MATHEMATICAL MODEL ON THE FIRST STAGE OF PRODUCTION OF CERTAIN TYPES OF COMPOSITE MATERIALS IN THE INSTALLATION SCHOLZ 54

I.A. Akimov, V.V. Tugov THE INFLUENCE OF DEVIATION ON FIELD PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF AIRCRAFT CONSTRUCTIONS MADE OF COMPOSITE MATERIALS 58

G.G. Galustov, V.I. Marchuk CLASSIFICATION OF RANDOM PROCESSES BASED ON THE SYSTEM OF BINOMIAL MOMENT FUNCTIONS 62
V.V. Korzin, P.P. Gladkih THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DYNAMIC IMPACT OF AXISYMMETRIC JET BASED ON MATHEMATICAL MODELS 66
G.I. Lavrov, I.G. Lavrov ON THE ISSUE OF CONSTRUCTION OF FLUID CONTACTS FOR 3D DIGITAL GEOLOGICAL MODELS 71
D.V. Makarov, R.I. Parovik DUBOVSKIY GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL TO PREDICT THE ECONOMIC CRISIS 74
R.A. Markov, V.V. Bukhtoyarov, A.M. Popov, N.A. Bukhtoyarova USING OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES FOR DETECTING INFORMATION SECURITY INCIDENTS 78
R.I. Parovik MATHEMATICAL MODELING HEREDITARITY OSCILLATOR CAUCHY-EULER 81
S.Y. Paskar OGILVY GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL OF RADON TRANSPORT IN TWO-LAYER MEDIUM WITH FRACTAL PROPERTIES 84
V.V. Tugov, W.R. Sabanchin DEVELOPMENT MANAGEMENT SYSTEM TUNNEL KILN FIRING OF CERAMIC BRICK ON THE BASIS OF CLEARLY REGULATORS 87
A.N. Tsurikov, A.N. Guda, A.Z. Karsyan THEORETICAL FOUNDATIONS OF INTELLECTUALIZATION SOLVING CLASSIFICATION PROBLEMS IN WEAKLY FORMALIZABLE SUBJECT AREAS 90
A.V. Shorokhova RESULTS OF MODELLING OF PROCESSES OF PROCESSING AND USE OF WASTE WITH THE SUBSEQUENT SOCIOCULTURAL RECULTIVATION OF THE FREED TERRITORIES 94

ABSTRACTS 97

[1]И.Е. Илларионов д.т.н., [2]В.К. Половняк д.х.н.,
[3]И.В. Фадеев к.т.н., [1]Ш.В. Садетдинов д.х.н.

[1]ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», машиностроительный факультет, кафедра материаловедения и металлургических процессов, Чебоксары
[2]Казанский государственный технологический университет, кафедра неорганической химии, Казань, vkpol@mail.ru
[3]ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Волжский филиал, автомобильно-дорожный факультет, кафедра сервиса транспортных и технологических машин, Чебоксары, ivan-fadeev-2012@mail.ru

РАЗРАБОТКА ЗАКАЛОЧНОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ В СИСТЕМЕ N_2H_4CO – $NH_2C_2H_4OH$ – H_2O ПРИ 25°С

В работе представлены результаты исследования тройной системы N_2H_4CO – $NH_2C_2H_4OH$ – H_2O при 25°С методами изотермической растворимости, денси-, рефракто- и pH-метрии. Установлено, что карбамид взаимодействует с моноэтаноламином с образованием двойного соединения карбамид моноэтаноламмония в соотношении 1: 1. Изучено влияние водного раствора полученного соединения различной концентрации на твердость изделий при термической обработке металлов. Показано, что закалка деталей с использованием вновь разработанной среды повышает твердость изделий из широкого спектра марок сталей и раствор является неагрессивной в коррозионном отношении.

Ключевые слова: *тройная система, растворимость, свойства жидкой фазы, карбамид, моноэтаноламин, закалочная среда, прибор ТК-2, метод Роквелла, твердость стальных изделий (HPCэ), трещины на изделиях, коррозионно-усталостные испытания.*

Анализ научно-технической литературы [1-4] показывает, что одним из приоритетных направлений в металлургии является разработка синтетических закалочных сред для закалки стальных изделий, представляющих собой водные растворы полимерных соединений и органических веществ. Такие растворы позволят заменить во многих случаях закалочные масла и являются пожаробезопасными, а также экологически чистыми.

Для выявления композиций закалочных сред на научной основе применимы подходы и методы физико-химического анализа, которые являются основами современного материаловедения и химико-технологических процессов. С целью разработки новых композиций закалочных сред исследована тройная водно-солевая система N_2H_4CO – $NH_2C_2H_4OH$ – H_2O при 25°С. Исследование проводили методами изотермической растворимости, денси-, рефракто- и pH-метрии [5].

Для опытов использовали предварительно очищенные карбамид N_2H_4CO марки «х.ч.» и моноэтаноламин $NH_2C_2H_4OH$ квалификации «ч». Изотермическую среду создавали в водном термостате 1ТЖ-0-03 с точностью 0,1°С. Равновесие в системе при постоянном энергичном перемешивании устанавливалось через 8–10 ч. Взятие проб жидких и твердых фаз проводили, фильтруя насыщенные равновесные растворы через стеклянный фильтр Шотта средней пористости № 4. Плотность растворов измеряли пикнометрически, показатель преломления – на рефрактометре ИРФ-454Б, pH – милливольтметром pH-121. Составы кристаллизующихся твердых фаз устанавливали графически по Скрейнемакерсу. Химический анализ жидких и твердых фаз проводили на содержание азота карбамида методом Кьельдаля, а титруемую щелочность моноэтаноламина определяли титрованием кислотой с индикатором метиловым оранжевым или потенциометрическим титрованием с помощью pH-метра. Экспериментальные данные по растворимости и свойствам жидких фаз системы представлены в табл. 1 и на рис. 1, 2.

Таблица 1 - Растворимость и свойства жидких фаз системы N_2H_4CO – $NH_2C_2H_4OH$ – H_2O при 25°С

Жидкая фаза, мас.%		∑	n	d, г/см^3	pH	Твердый остаток, мас.%		Твердая фаза
N_2H_4CO	$NH_2C_2H_4OH$					N_2H_4CO	$NH_2C_2H_4OH$	
54,80	-	363,60	1,417	1,329	7,8	100,0	-	N_2H_4CO
49,62	4,68	356,05	1,418	1,308	8,0	99,34	0,30	N_2H_4CO
41,77	12,56	355,29	1,419	1,267	8,5	99,12	0,45	N_2H_4CO
35,47	20,82	383,69	1,420	1,243	9,0	98,87	0,54	N_2H_4CO
29,91	33,02	506,32	1,425	1,236	9,8	98,60	0,72	N_2H_4CO
29,90	33,12	506,27	1,425	1,236	9,8	49,56	50,40	$N_2H_4CO \cdot NH_2C_2H_4OH$
23,62	37,65	469,80	1,426	1,182	10,0	49,58	50,42	$N_2H_4CO \cdot NH_2C_2H_4OH$
19,34	41,56	461,79	1,427	1,175	10,1	49,54	50,46	$N_2H_4CO \cdot NH_2C_2H_4OH$
12,80	46,72	435,30	1,428	1,141	10,4	49,58	50,40	$N_2H_4CO \cdot NH_2C_2H_4OH$
9,86	53,40	509,06	1,430	1,076	10,8	-	-	$N_2H_4CO \cdot NH_2C_2H_4OH$
5,76	64,05	683,36	1,432	1,043	11,5	-	-	$N_2H_4CO \cdot NH_2C_2H_4OH$
3,65	77,12	1239,48	1,433	1,012	12,0	-	-	$N_2H_4CO \cdot NH_2C_2H_4OH$
-	90,00	2652,87	1,438	0,986	12,8	-	-	$N_2H_4CO \cdot NH_2C_2H_4OH$

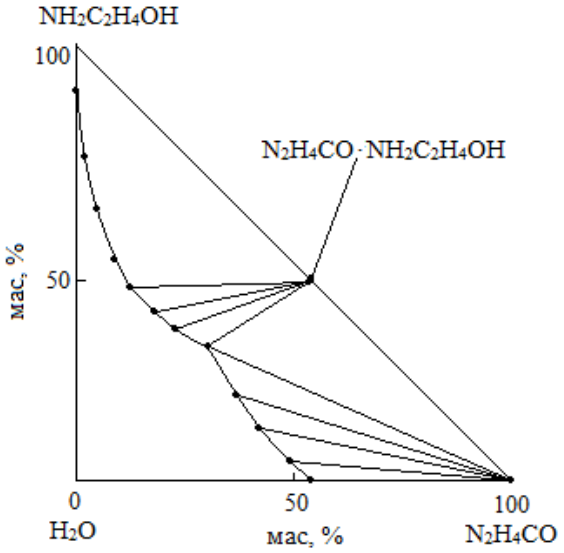


Рис. 1 - Диаграмма растворимости системы N_2H_4CO – $NH_2C_2H_4OH$ – H_2O при 25°С

Из данных табл. 1 и рис. 1 следует, что изотерма растворимости состоит из трех ветвей и при постепенном добавлении моноэтаноламина к насыщенному раствору карбамида ее растворимость уменьшается с 54,80 до 29,90 мас.% в эвтонической точке. Первая ветвь на диаграмме растворимости ограничивает область кристаллизации карбамида. Она берет

начало с оси абсцисс и простирается до точки, раствор которой отвечает содержанию 29,90 мас.% N_2H_4CO и 33,12 мас.% $NH_2C_2H_4OH$. Вторая ветвь соответствует формированию нового соединения, содержащего 49,56 мас.% карбамида и 50,40 мас.% моноэтаноламина, что соответствует молекулярной формуле $N_2H_4CO \cdot NH_2C_2H_4OH$. Исследования системы со стороны моноэтаноламина проводили с 90%-ым раствором данного аминоспирта. При добавлении к этому раствору небольшого количества карбамида образование твердой фазы не наблюдалось. Реакционная смесь становилась густой и вязкой. При содержании в растворе 12,80 мас.% N_2H_4CO и 46,72 мас.% $NH_2C_2H_4OH$ появляется твердая фаза. Состав соединения установлен методом «остатков» Скрейнемакерса, а также химическим анализом промытого спиртом и высушенного на воздухе образца. Найдено для твердой фазы, мас.%: 49,46 - N_2H_4CO и 50,61 мас.% – $NH_2C_2H_4OH$.

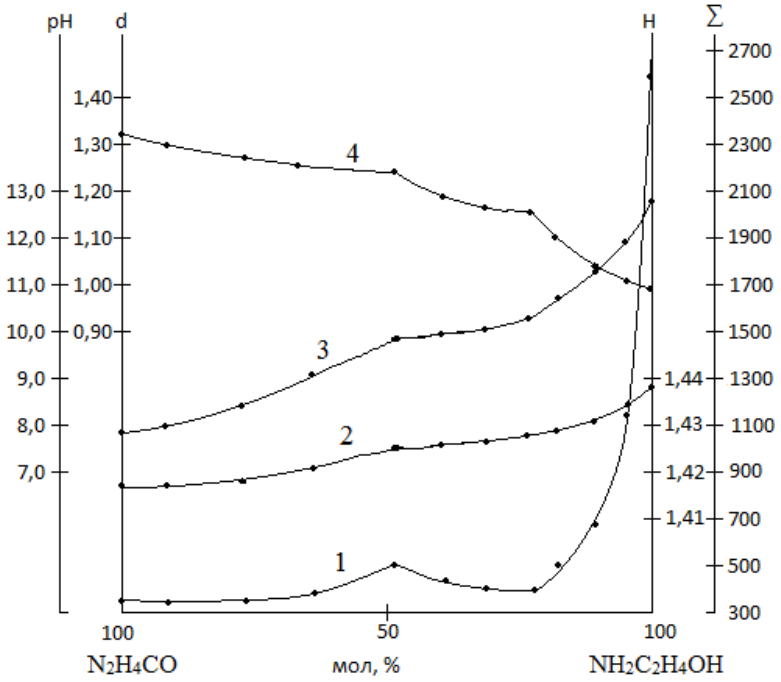


Рис. 2 - Изотермы свойств насыщенных растворов системы
N_2H_4CO – $NH_2C_2H_4OH$ – H_2O при 25°С:
1 – сумма молей солей на 1000 молей воды, ∑; 2 – показатель преломления, n;
3 – величина pH среды; 4 – плотность, d, г/см^3

Параллельно с растворимостью определяли плотность (d), показатель преломления (n), среду (pH) насыщенных равновесных растворов, рассчитывали сумму молей солей на 1000 молей воды (∑) и строили их изотермы (рис. 2). Они изменяются в соответствии с характером диаграммы растворимости, подтверждая ее характер. Каждой фазе, возникающей в системе, соответствует своя ветвь на изотермах свойств.

Таким образом, на основании результатов исследования растворимости в системе N_2H_4CO – $NH_2C_2H_4OH$ – H_2O при 25°С можно заключить, что карбамид с моноэтаноламином образует двойное соединение с соотношением компонентов 1 : 1 - карбамид моноэтаноламмония (КМЭА).

Водные растворы вновь полученного соединения различной концентрации были испытаны в качестве закалочной среды, применяемой при термической обработке металла.

Для исследования выбрали втулки из стали ХВГ, ролики из стали ШХ15, ползушки из стали Ст. 45, пружины из стали 50ХФА. Детали подвергали безокислительному объемному нагреву в соляной ванне типа СВС-100/13 при температурах (830 – 840) ± 20°С, после чего проводили охлаждение в ванне с барботажем в течение 10 - 15 минут при температуре среды охлаждения 20 - 30°С. Отпуск деталей осуществляли при температуре 160 - 200°С. После закалки определяли твердость изделий по поверхности на приборе ТК-2 по методу Роквелла в соответствии с ГОСТ 24622 и наличие трещин из 10 штук в каждой позиции.

В табл. 2 приведены составы закалочной среды и параметры закаливающей способности сред, которые подтверждают, что результаты закалки деталей, с использованием вновь разработанной среды, наивысшие при концентрации карбамид моноэтаноламмония 10 - 15% и при этом отсутствуют трещины на деталях. Дальнейшее увеличение концентрации вещества в водном растворе не вызывает повышение твердости испытанных образцов и приводит к неэкономному расходованию материала. Разработанная закалочная среда прозрачна, пожаробезопасна и закаленные в ней детали обладают высокой твердостью.

Таблица 2 - Параметры закаливающей способности водного раствора карбамид моноэтаноламмония различной концентрации

Составы закаливающей среды, мас.%	Марка стали	Твердость (HPCэ) образцов	Наличие трещины
5 – КМЭА, вода - остальное	ХВГ	50-53	На двух образцах трещины
10 – КМЭА, вода - остальное	ХВГ	56-59	Нет трещин
15 – КМЭА, вода - остальное	ХВГ	57-60	Нет трещин
20 – КМЭА, вода - остальное	ХВГ	57-60	Нет трещин
5 – КМЭА, вода - остальное	ШХ15	48-51	На одном образце трещина
10 – КМЭА, вода - остальное	ШХ15	54-56	Нет трещин
15 – КМЭА, вода - остальное	ШХ15	55-58	Нет трещин
20 – КМЭА, вода - остальное	ШХ15	56- 58	Нет трещин
5 – КМЭА, вода - остальное	Ст. 45	44-47	На двух образцах трещины
10 – КМЭА, вода - остальное	Ст. 45	50-54	Нет трещин
15 – КМЭА, вода - остальное	Ст. 45	51-54	Нет трещин
20 – КМЭА, вода - остальное	Ст. 45	51- 54	Нет трещин
5 – КМЭА, вода - остальное	50ХФА	49-51	На двух образцах трещины
10 – КМЭА, вода - остальное	50ХФА	53-57	Нет трещин
15 – КМЭА, вода - остальное	50ХФА	54-58	Нет трещин
20 – КМЭА, вода - остальное	50ХФА	54- 58	Нет трещин

В современном машиностроении для повышения долговечности деталей важно знать влияние закалочной среды на коррозионно - усталостные свойства металла [8], поэтому было изучено влияние карбамид моноэтаноламмония на коррозионную усталость стали. Ранее в [6, 7] было показано, что в растворе хлорида натрия уменьшение циклической прочности стали вызывается разрушениями, связанными с чисто коррозионными и коррозионно-механическими поражениями, т.е. на базе N будем иметь:

$$\Delta\sigma_N^{\text{С.М.}} = \Delta\sigma_N^{\text{Ч.К.}} + \Delta\sigma_N^{\text{К.–М.}},$$

где $\Delta\sigma_N^{\text{С.М.}}$– суммарное уменьшение циклической прочности в коррозионной среде; $\Delta\sigma_N^{\text{Ч.К.}}$ – уменьшение циклической прочности чисто коррозионными поражениями; $\Delta\sigma_N^{\text{К.–М.}}$ – уменьшение циклической прочности коррозионно-механическими поражениями.

Наличие ингибитора в коррозионной среде может оказывать влияние на оба разрушающих фактора, вызывающих снижение прочности металла.

Исследование влияния КМЭА на коррозионную усталость углеродистой стали Ст. 10 в 3%-ом растворе NaCl проводили по методике, описанной в работе [9]. Образцы изготавливали из одной партии материала, вырезая из листа вдоль направления прокатки прямоугольные пластины размерами 120 × 10 × 1 (мм). Их поверхность шлифовали наждачной бумагой, промывали дистиллированной водой, высушивали фильтровальной бумагой, обезжиривали спиртом и выдерживали в эксикаторе над прокаленным хлоридом кальция в течение 20 часов. Циклические напряжения в металле создавали симметричным изгибом образцов с частотой 500 цикл/мин на установке для коррозионно-усталостных испытаний.

Перерасчет на напряжение производили по формуле:

$$\sigma = \pm \frac{3Ehf}{2l^2},$$

где E – модуль упругости испытуемого материала;

h – толщина образца, мм;

f – стрела прогиба образца (амплитуда колебания), мм;

l – рабочая длина образца, мм.

Результаты усталостных и коррозионно-усталостных испытаний в растворе 3%-го хлорида натрия без добавки и с добавкой карбамид моноэтаноламмония представлены на рис. 3 (кривые 1, 2 и 3). Для выяснения природы разрушающих факторов, вызывающих уменьшение циклической прочности, снимали усталостные кривые на воздухе после предварительной выдержки металла в коррозионных средах (кривые 4 и 5). Приведенные данные указывают на то, что суммарная потеря циклической прочности исследуемой стали в 3%-ом растворе хлорида натрия на базе испытания N = 2 · 10^6 циклов составляет 10,8 кгс/мм^2 (кривые 1 и 2). Из них (кривые 1, 2 и 4) 49,2% приходится на чисто коррозионные поражения ($\Delta\sigma_N^{Ч.К.}$ = 5,3 кгс/мм^2) и 50,8% - на коррозионно-механические ($\Delta\sigma_N^{К.-М.}$ = 5,5 кгс/мм^2).

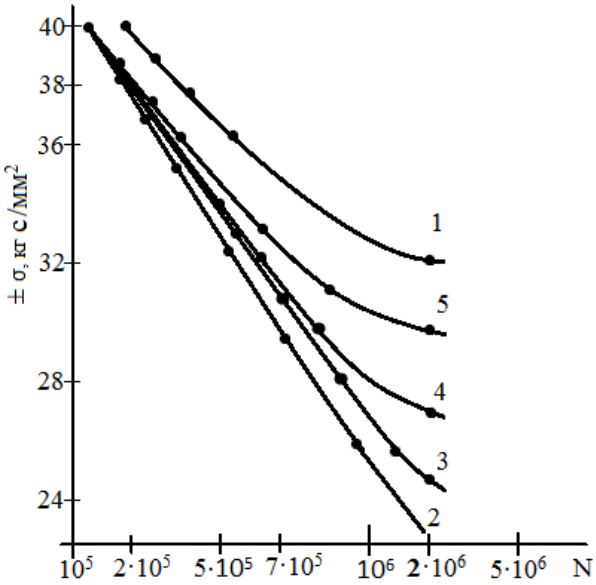


Рис. 3 - Кривые усталости и коррозионной усталости стали Ст.10:
1 – в воздухе; 2 – в 3%-ом растворе NaCl; 3 – в 3%-ом растворе NaCl + 150 г/л КМЭА;
4 – в воздухе после предварительной выдержки в 3%-ом растворе NaCl;
5 – в воздухе после предварительной выдержки в 3%-ом растворе NaCl + 150 г/л КМЭА

Добавка КМЭА в количестве 150 г/л в 3%-ый раствор NaCl существенно увеличивает циклическую прочность стали (сравнить кривые 2 и 3), что обусловлено снижением эффективности действия разрушающих факторов в уменьшение циклической прочности металла (кривые 1, 3 и 5). На данной базе испытания КМЭА примерно в равной мере уменьшает разрушающий эффект чисто коррозионных и коррозионно-механических поражений.

На основе вышеизложенного, можно заключить, что закалочная среда на водной основе, содержащая карбамид моноэтаноламмония является нетоксичной, негорючей, неагрессивной в коррозионном отношении жидкостью и может быть использована для закалки деталей широкого спектра марок сталей.

Список литературы

1. *Ксенофонтов, А.Г.* Применение экологически чистых закалочных сред в термической обработке / А.Г. Ксенофонтов, С.Ю. Шевченко // Металловедение. Термическая и химико-термическая обработка сплавов: сб. науч. тр.; под ред. Б.Н. Арзамасова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. - С. 237 - 244.

2. *Ясногородская, С.В.* Исследование закалочных сред на основе водных растворов полиэтиленгликоля / С.В. Ясногородская, М.Э. Бутовский, А.А. Боброва // Черная металлургия. - 1998. - №4. - С. 39 - 41.

3. Закалочная среда: а. с. 1440044 СССР: МКИ С 21 D 1/60 / Скворцов В.Г., Краснов Г.Г., Григорьев Н.В., Садетдинов Ш.В.; - № 4196221; заявл. 15.12.1986; опубл. 22.07.88.

4. Закалочная среда: а. с. 1593241 СССР: МКИ С 21 D 1/60. / Скворцов В.Г., Краснов Г.Г., Григорьев Н.В., Садетдинов Ш.В., Михайлов В.И.; - № 4653442; заявл. 21.02.1989; опубл. 15.05.90.

5. *Половняк, В.К.* Растворимость и физико-химические свойства растворов систем $MeBO_2$ – Me_2NO_2 (Me –Li^+ , Na^+ , K^+) – H_2O при 25ºС / В.К. Половняк, Ш.В. Садетдинов, С.В. Житарь // Научно-технический вестник Поволжья. - 2013. - № – С. 22 - 26.

6. *Михайлов, В.И.* Влияние тетрабората аммония на коррозионную усталость стали 10 / В.И. Михайлов, Ш.В. Садетдинов, В.Г. Скворцов, В.В. Романов, В.Ф. Белова // Защита металлов. - 1979. - Т.15, № 6. - С. 706 - 708.

7. *Фадеев, И.В.* Влияние амидоборатного комплекса на коррозию и коррозионную усталость стали Ст. 10 / И.В. Фадеев, А.М. Новоселов, Ш.В. Садетдинов // Приволжский научный журнал. - 2014. - № 3. - С. 31 - 35.

8. *Садетдинов, Ш.В.* Ингибиторные свойства аминоборатного соединения, как присадки к закалочной среде / Ш.В. Садетдинов, Д.С. Богатырев // Дорожно-транспортный комплекс: состояние, проблемы и перспективы развития: сб. материалов 4-й межрег. науч.-практ. конф. – Чебоксары: Изд-во Волжского филиала МАДИ, 2011. – С. 207 – 209.

9. *Фадеев, И.В.* Теоретические основы разработки новых ингибиторов коррозии для автотранспортного комплекса / И.В. Фадеев, А.М. Новоселов, Ш.В. Садетдинов // Вестник МАДИ. - 2014. - № 4(39). – С. 17 – 21.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА (01.01.00)

01.01.06

В.В. Дружинин

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

РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИОФАНТОВЫХ УРАВНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ОБОБЩЕННОЙ ТЕОРЕМЫ ФЕРМА-ЭЙЛЕРА

На базе обобщенной теоремы Ферма-Эйлера предложен алгоритм решения нелинейных диофантовых уравнений с различными параметрами. Обобщена теорема Эйлера-Лежандра для таких квадратичных уравнений.

Ключевые слова: *Критерий Эйлера, символ Лежандра, обобщенная теорема Ферма-Эйлера, диофантово уравнение.*

Под диофантовым уравнением (ДУ) понимается одно алгебраическое уравнение с двумя или более неизвестным в целых числах. Для линейных ДУ развита теория цепных дробей, позволяющая их решать. Мы предлагаем точное аналитическое решение для ДУ вида $x^{\tau} + y \cdot m^{\gamma} = c$, где даны только два числа $m \in \mathbb{N}$ (натуральное число) и (или) c. При этом $(c, m) = 1$ – взаимная простота чисел, и $1 \le c \le (m-1)$. В теории чисел существует критерий Эйлера для простых чисел $m = p$: ДУ $a^{(p-1)/2} + y \cdot p = (a/p)$ решается для любых $1 \le a \le (p-1)$, если известен символ Лежандра $(a/p) = \pm 1$ [1-3].

Обобщение теоремы Эйлера-Лежандра основано на предложенном нами обобщении теоремы Ферма-Эйлера $a^{\mu} = 1(mod\, m)$, где $\mu = \varphi(m)$ – функция Эйлера и $(a, m) = 1$ [4-6]. Если $m = \prod_{k=1}^{s} p_k^{\alpha_k}$, то $\mu = \prod_{k=1}^{s} p_k^{\alpha_k - 1}(p_k - 1)$. Обобщение записывается в виде $a^{\mu - n} = d_n(mod\, m)$, где d_n находится из сравнения $(a^n d_n) \equiv 1(mod\, m)$. Удобно ввести переменную s_n по теории индексов $a^n \equiv s_n(mod\, m)$. При этом получаем систему связок $(s_n | d_n)$ из чисел $(s_n d_n) \equiv 1(mod\, m)$. Эти связки создают матрицу FED $\mu \times \mu$, в которой присутствуют все d_n. Этот подход позволяет найти все целочисленные решения нелинейного ДУ.

Вначале решается первичное ДУ $a^t + b \cdot m = c$, где $1 \le \{a; t; c\} \le \mu$. Последовательность действий следующая. 1. Находим μ и $\beta = \mu/2$. 2. Исследуя равенства $km + 1 = s_n d_n$, составляем систему связок $(s_n | d_n)$, которых, кроме тривиальных $(1|1)$ и $(m-1|m-1) = (-1|-1)$, без перестановок всего $((\mu - 2)/2)$. 3. На основании этих связок составляем матрицу FED. 4. Выделяя $d_n = c$, находим соответствующие им a и t. После этого определяем b. В результате имеем несколько решений первичного ДУ. 5. Обобщаем первичные решения и находим бесконечный набор исходного ДУ: $x = a + k_1 m, \tau = t + k_2 \mu$ или $\tau = t + k_2 \beta_m$. Тут β_m минимальный номер строки по t, состоящей только из связок $(1|1)$.

Пример № 1 с $m = p = 11, \mu = 10, \beta = 5$. Матрица связок дана в табл. №1.

Табл. №1.Матрица FED для $m = p = 11$, $t = \mu - n$.

t	n \ a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	0	(1|1)	(1|1)	(1|1)	(1|1)	(1|1)	(1|1)	(1|1)	(1|1)	(1|1)	(1|1)
9	1	(1|1)	(2|6)	(3|4)	(4|3)	(5|9)	(6|2)	(7|8)	(8|7)	(9|5)	(−1|−1)
8	2	(1|1)	(4|3)	(9|5)	(5|9)	(3|4)	(3|4)	(5|9)	(9|5)	(4|3)	(1|1)
7	3	(1|1)	(8|7)	(5|9)	(9|5)	(4|3)	(7|8)	(2|6)	(6|2)	(3|4)	(−1|−1)
6	4	(1|1)	(5|9)	(4|3)	(3|4)	(9|5)	(9|5)	(3|4)	(4|3)	(5|9)	(1|1)
5	5	(1|1)	(−1|−1)	(1|1)	(1|1)	(1|1)	(−1|−1)	(−1|−1)	(−1|−1)	(1|1)	(−1|−1)
4	6	(1|1)	(9|5)	(3|4)	(4|3)	(5|9)	(5|9)	(4|3)	(3|4)	(9|5)	(1|1)
3	7	(1|1)	(7|8)	(9|5)	(5|9)	(3|4)	(8|7)	(6|2)	(2|6)	(4|3)	(−1|−1)
2	8	(1|1)	(3|4)	(5|9)	(9|5)	(4|3)	(4|3)	(9|5)	(5|9)	(3|4)	(1|1)
1	9	(1|1)	(6|2)	(4|3)	(3|4)	(9|5)	(2|6)	(8|7)	(7|8)	(5|9)	(−1|−1)

Табл. №1. Дает следующую информацию. Символы Лежандра: $(3/11) = 1$, $(6/11) = -1$. ДУ вида $a^t + b \cdot 11 = 2$ насчитывается четыре

$$6^9 - 916154 \cdot 11 = 2;\ 8^7 - 190650 \cdot 11 = 2;\ 7^3 - 31 \cdot 11 = 2; 2 = 2.$$

Обобщаем первое из них $(6 + 11k)^{9+10s} - 11y = 2$. Получаем бесконечное число решений. Если $m = p$, то центральная строка при $t = \beta = (p-1)/2$ никогда не является строкой, состоящей только из $(1|1)$. Всегда имеют место ДУ по анализу второй строки матицы с $t = p - 2$:

$$2^{p-2} + pb = \left(\frac{p+1}{2}\right);\ \left(\frac{p+1}{2}\right)^{p-2} + pb = 2;\ \left(\frac{p-1}{2}\right)^{p-2} + pb = (p-2);\ (p-2)^{p-2} + pb = \left(\frac{p-1}{2}\right).$$

Пример № 2. Решим ДУ $a^n + b \cdot e^2 = 7$, в котором есть четыре неизвестных $\{a; b; e; n\}$. Примем $e = 3$ и составим матрицу FED для $m = 9, \mu = 6$. См. табл. № 2.

Табл. №2. Матрица FED для $m = 9$, $\mu = 6$.

t	n \ a	1	2	4	5	7	8
6	0	$(1\|1)$	$(1\|1)$	$(1\|1)$	$(1\|1)$	$(1\|1)$	$(1\|1)$
5	1	$(1\|1)$	$(2\|5)$	$(4\|7)$	$(5\|2)$	$(7\|4)$	$(-1\|-1)$
4	2	$(1\|1)$	$(4\|7)$	$(7\|4)$	$(7\|4)$	$(4\|7)$	$(1\|1)$
3	3	$(1\|1)$	$(-1\|-1)$	$(1\|1)$	$(-1\|-1)$	$(1\|1)$	$(-1\|-1)$
2	4	$(1\|1)$	$(7\|4)$	$(4\|7)$	$(4\|7)$	$(7\|4)$	$(1\|1)$
1	5	$(1\|1)$	$(5\|2)$	$(7\|4)$	$(2\|5)$	$(4\|7)$	$(-1\|-1)$

В табл. №2 наблюдается шесть ячеек с остатком «7». Они дают шесть первичных решений: $7^4 - 266 \cdot 3^2 = 7;\ 4^5 - 113 \cdot 3^2 = 7;\ 5^2 - 2 \cdot 3^2 = 7;\ 4^2 - 1 \cdot 3^2 = 7;\ 2^4 - 1 \cdot 3^2 = 7;$ и тривиальное решение $7 = 7$.

Если примем $e = 4$ и составим матрицу FED для $m = 16, \mu = 8$, то найдем три нетривиальных решения: $7^7 - 51471 \cdot 4^2 = 7;\ 7^5 - 1050 \cdot 4^2 = 7;\ 7^3 - 21 \cdot 4^2 = 7$. Поскольку в этой матрице строка с $t = \beta = 4$ состоит из $(1|1)$, то расширение первого решения имеет вид $(7 + 16k)^{7+8s} + b \cdot 4^2 = 7$.

Рассмотрим случай, $z^n \equiv l(mod\, m)$, если $(z, m) \neq 1$, т.е. нет взаимной простоты чисел. Пусть $z = p_1, m = p_1 p_2$. Поскольку $l \vdots p_1$, переходим к сравнению ${p_1}^{n-1} \equiv f(mod\, p_2)$. Найдя f из матрицы FED для p_2, получаем $l = f \cdot p_1$.

Пример. $m = 21 = 3 \cdot 7, \mu = 12$, надо найти $3^\mu \equiv l(mod\, 21)$. Тут теорема Эйлера не работает. Сравнение $3^{11} \equiv f(mod\, 7)$ дает $f = 5$, поэтому $3^\mu \equiv 15(mod\, 21)$. Рассмотренное правило также расширяет теорему Эйлера, так как позволяет работать со всеми основаниями $z < m$. При этом возникают новые ДУ. Например, надо решить ДУ $z^x + 21y = 15$. Переходим к сравнению $z^{x-1} \equiv 5(mod\, 7)$. Матрица FED при $m = 7$ дает нетривиальное сравнение $3^5 \equiv 5(mod\, 7)$, поэтому ДУ записывается так $3^6 - 34 \cdot 21 = 15$. Другое решение этого ДУ $3^{12} - 25306 \cdot 21 = 15$. В общем случае $3^{6k} - y \cdot 21 = 15$.

Автор благодарит проф. Н.С. Шевяхова и А.А. Лазарева за обсуждение работы и помощь в больших компьютерных расчетах по проверке полученных соотношений.

Список литературы

1. *Сизый С.В.* Лекции по теории чисел, М. ФИЗМАТЛИТ, 2007.
2. *Гельфонд А.О.* Решение уравнений в целых числах, М. Наука, 1988.
3. *Серпинский В.Н.* О решении уравнений в целых числах. М. ФМЛ, 1961.
4. *Дружинин В.В.* Научно-технический вестник Поволжья, №5, 2015, 28-29.
5. *Дружинин В.В.* Научно-технический вестник Поволжья, №5, 2015, 30-32.
6. *Druzhinin V.V.* Austrian Journal of Technical and Natural Science, №9-10, 2015, 18-20.

01.01.03

Д.Ю. Иванов к.ф.-м.н., Р.И. Дзержинский к.т.н.

Московская государственная академия водного транспорта, кафедра высшей математики, Москва, ivanovdyu@yandex.ru, 9015111295@rambler.ru

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ РОБЕНА ДЛЯ ДВУМЕРНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ОПЕРАТОРНЫХ УРАВНЕНИЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ В ПРЯМОМ ЦИЛИНДРЕ

С помощью векторных потенциалов получено решение двумерных задач Робена, соответствующих начально-краевым задачам теплопроводности в однородном прямом цилиндре. Задачи теплопроводности характеризуются неоднородными граничными условиями третьего рода на боковой поверхности цилиндра, нулевыми граничными условиями первого, второго или третьего рода на основаниях цилиндра и нулевым начальным условием. Ранее такое решение было получено для аналогичных задач Дирихле и Неймана.

Ключевые слова: *уравнение теплопроводности, краевая задача, граничное интегральное уравнение, единственность, существование, потенциал.*

Введение

Одним из методов, применяемых для аналитического решения достаточно широкого класса краевых задач нестационарной теплопроводности, является метод граничных интегральных уравнений (ГИУ) [1, с. 175]. На его основе для решения начально-краевых задач теплопроводности был разработан ряд численных методов, традиционно объединяемых под общим названием “методы граничных элементов” [2, с. 156].

В работе [3] был предложен метод аналитического решения задач Дирихле и Неймана для уравнения $\Delta_2 \boldsymbol{u} = \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}$ в плоской ограниченной односвязной открытой области Ω^+ или ее внешности $\Omega^- \equiv \mathbf{R}^2 \setminus \overline{\Omega^+}$. Операторный коэффициент $\boldsymbol{B}$ является генератором C_0-полугруппы $\boldsymbol{U}(\tau)$ в пространстве $L_2 \equiv L_2(I_Y \times I_T)$ ($I_Y \equiv [0,Y]$, $I_T \equiv [0,T]$): $\boldsymbol{B}\boldsymbol{f} = \lim\limits_{\tau \to +0} \tau^{-1}(\boldsymbol{f} - \boldsymbol{U}(\tau)\mathbf{f})$, причем C_0-полугруппа $\boldsymbol{U}(\tau)$ экспоненциально убывающая и нильпотентная. В свою очередь, указанные краевые задачи суть возможные постановки начально-краевых задач теплопроводности на временно́м промежутке I_T в однородном цилиндре $\Omega^+ \times I_Y$ или $\Omega^- \times I_Y$ с неоднородными граничными условиями первого и второго рода на боковой поверхности цилиндра, нулевыми граничными условиями первого, второго или третьего рода (в зависимости от оператора $\boldsymbol{B}$) на основаниях цилиндра и нулевым начальным условием. Решения краевых задач ищутся в виде векторных потенциалов со значениями в пространстве L_2, однозначно определяемых решениями двумерных ГИУ типа Фредгольма второго рода с операторным ядром, выраженным через C_0-полугруппу $\boldsymbol{U}(\tau)$. Двумерные векторные ГИУ не совпадают с обычными скалярными ГИУ типа Вольтерра-Фредгольма для таких задач теплопроводности, но представляют собой по существу прямые суммы скалярных ГИУ типа Вольтерра-Фредгольма в плоских областях $\Omega^{\pm}$, порождаемые спектральным разложением пространственной составляющей C_0-полугруппы.

Преимуществом таких двумерных ГИУ по сравнению с обычными состоит в возможности экономного вычисления разрешающих их сеточных операторов в алгебре полиномов, образованных степенями полугруппового оператора [4, 5]. Кроме того, преимуществом использования векторных потенциалов является возможность решения задач с граничными условиями разного типа на основаниях и боковой поверхности цилиндра, тогда как традиционные методы ГИУ позволяют решать или задачу Дирихле, или задачу Неймана.

Тем не менее, класс задач, решения которых можно получить с помощью таких векторных

потенциалов, достаточно узок. Результаты предлагаемой работы позволяют несколько расширить область применения векторных потенциалов. А именно, в настоящей работе для уравнения $\Delta_2 \boldsymbol{u} = \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}$ исследованы двумерные задачи Робена, соответствующие начально-краевым задачам теплопроводности с неоднородными граничными условиями третьего рода на боковой поверхности цилиндра. Как и в работе [3], получены решения в виде векторных потенциалов в пространстве непрерывных в норме L_2 функций.

1. Постановки задач и теорема единственности

Пусть $\partial\Omega \in C^2$ — граница Ω^+. Рассмотрим внутреннюю и внешнюю краевые задачи:

$$a^2 \Delta \boldsymbol{u}^{\pm} = \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}^{\pm} \quad (x = (x_1, x_2) \in \Omega^{\pm}), \tag{1}$$

$$-\partial_{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{u}^{\pm} + \eta \boldsymbol{u}^{\pm} = \boldsymbol{w}^{\pm} \quad (x \in \partial\Omega), \tag{2}$$

решения которых — функции $\boldsymbol{u}^{\pm}(x)$ со значениями в пространстве L_2, определенные на $\overline{\Omega^{\pm}}$. Здесь $\boldsymbol{w}^{\pm}(x)$ — функции со значениями в пространстве L_2, заданные на $\partial\Omega$; $\boldsymbol{n}$ — нормаль к кривой $\partial\Omega$ в точке x, направленная внутрь области Ω^+; $\Delta = \partial^2_{x_1 x_1} + \partial^2_{x_2 x_2}$, $\partial_{\boldsymbol{n}}$ — сильные производные векторных функций; $a > 0$, $\eta > 0$. Оператор $\boldsymbol{B}$ определен в пространстве L_2 как $\boldsymbol{B} \equiv \boldsymbol{B}_t + \boldsymbol{B}_y + p\boldsymbol{E}$ на множестве $D(\boldsymbol{B}_t) \cap D(\boldsymbol{B}_y)$. Здесь $\boldsymbol{E}$ — тождественный оператор; оператор $\boldsymbol{B}_t$: $(\boldsymbol{B}_t \boldsymbol{f})(y,t) = \partial_t f(y,t) \in L_2$, задан на абсолютно непрерывных по $t \in I_T$ функциях $f(y,t) \in L_2$, таких, что $f(y,0) = 0$ при почти всех $y \in I_Y$; оператор $\boldsymbol{B}_y$: $(\boldsymbol{B}_y \boldsymbol{f})(y,t) = -a^2 \partial^2_{yy} f(y,t) \in L_2$, задан на абсолютно непрерывно дифференцируемых по $y \in I_Y$ функциях $f(y,t) \in L_2$, таких, что $f'(0,t) - \lambda_0 f(0,t) = (\partial_y f + \lambda_Y f)|_{y=Y} = 0$ $(0 \le \lambda_0, \lambda_Y \le \infty)$ при почти всех $t \in I_T$; $p > -\mu_1$, где $\mu_1 \ge 0$ — наименьшее собственное значение оператора $\boldsymbol{B}_y$. Оператор $\boldsymbol{B}$ порождает экспоненциально убывающую C_0-полугруппу $\boldsymbol{U}(\tau)$: $\|\boldsymbol{U}(\tau)\| \le \exp[-(p+\mu_1)\tau]$, следствием чего является оценка:

$$\mathrm{Re}(\boldsymbol{B}\boldsymbol{f}, \boldsymbol{f})_{L_2} \ge (p+\mu_1)(\boldsymbol{f}, \boldsymbol{f})_{L_2} \quad (\boldsymbol{f} \in D(\boldsymbol{B})). \tag{3}$$

Кроме того, C_0-полугруппа $\boldsymbol{U}(\tau)$ – нильпотентная ($\boldsymbol{U}(\tau) = 0$ при $\tau \ge T$).

Пусть $C(\Omega')$ и $C^k(\Omega')$ пространства непрерывных и k раз непрерывно дифференцируемых функций со значениями в L_2, определенных на $\Omega' \in \mathbf{R}^2$.

Определение 1. Решением уравнения (1) будем называть функцию $\boldsymbol{u}^{\pm}(x) \in C^2(\Omega^{\pm})$ со значениями в области определения $D(\boldsymbol{B})$, обращающую уравнение (1) в истинное равенство.

Определение 2. Решением задачи $\{P_3^{\pm}\}$ будем называть функцию $\boldsymbol{u}^{\pm} \in C(\overline{\Omega^{\pm}})$, являющуюся решением уравнения (1) и имеющую с внутренней (внешней) стороны $\partial\Omega$ правильную нормальную производную $\partial^{\pm}_{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{u}^{\pm}$ ($\partial_{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{u}^{\pm}(x \pm \xi \boldsymbol{n}) \to \partial^{\pm}_{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{u}^{\pm}(x)$ при $\xi \to +0$ равномерно относительно $x \in \partial\Omega$), определяемую равенством (2): $\partial^{\pm}_{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{u}^{\pm} = -\boldsymbol{w}^{\pm} + \eta \boldsymbol{u}^{\pm}$. В случае задачи $\{P_3^-\}$ требуем также выполнения условия $|x| \|\boldsymbol{u}^-\|_{L_2} \|\nabla \boldsymbol{u}^-\|_{L_2} \to 0$ при $|x| \to \infty$ ($\|\nabla \boldsymbol{u}\|^2_{L_2} = \sum_{k=1}^{2} \|\partial_{x_k} \boldsymbol{u}\|^2_{L_2}$).

Используя оценки (3) и $p + \mu_1 > 0$, по аналогии с теоремой 2 [1] (единственности задачи Неймана) доказываем теорему единственности задачи Робена:

Теорема 1. *Пусть $\partial\Omega \in C^2$. Тогда задача $\{P_3^{\pm}\}$ имеет не более одного решения.*

2.Решение задачи Робена с помощью векторных потенциалов

Введем в рассмотрение векторную функцию ***p(x)*** со значениями в L_2:

$$\boldsymbol{p}(x) \equiv \int_{\partial\Omega} \boldsymbol{K}(r) \boldsymbol{v}(x') ds', \text{ где } \boldsymbol{K}(r)\, \boldsymbol{f} \equiv \int_{I_T} a(r,\tau) \boldsymbol{U}(\tau) \boldsymbol{f}\, d\tau, \; r = |x - x'|, \tag{4}$$

$a(r,\tau)\equiv(4\pi\tau)^{-1}\exp\left[-r^2/\left(4a^2\tau\right)\right]$; $\boldsymbol{v}(x)$ —функция со значениями в пространстве L_2, заданная на $\partial\Omega$. Функция $\boldsymbol{p}$ является векторным аналогом потенциала простого слоя [1].

Используя ограниченность функции $r^{\alpha/2}\boldsymbol{K}(r)$ $(0<\alpha<1)$ при $x,x'\in\partial\Omega$, доопределенной по непрерывности при $x=x'$ (см. следствие 1 работы [3]), и выполняющееся на кривой Ляпунова неравенство:

$$\int_e r^{-\alpha}ds'\le 4(1-\alpha)^{-1}\varepsilon^{1-\alpha} \tag{7}$$

(e– часть кривой $\partial\Omega$, вырезаемая кругом с центром в точке $x\in\partial\Omega$ и радиусом $\varepsilon<d$, где d – радиус круга Ляпунова), доказываем по аналогии с теоремами 9-11 [1] следующие утверждения:

Теорема 2. *Пусть* $\partial\Omega\in C^2$ *и* $\boldsymbol{w}^{\pm}\in L_2^{\times}\equiv L_2(\partial\Omega\times I_Y\times I_T)$. *Тогда уравнение*

$$\mp 2^{-1}\boldsymbol{v}^{\pm}+\boldsymbol{G}\boldsymbol{v}^{\pm}=\boldsymbol{w}^{\pm},\ \textit{где}\ (\boldsymbol{G}\boldsymbol{f})(x)\equiv\int_{\partial\Omega}\left[\partial_{\boldsymbol{n}}\boldsymbol{K}(r)-\eta\boldsymbol{K}(r)\right]\boldsymbol{f}(x')ds' \tag{4}$$

($x\in\partial\Omega$), *имеет единственное решение* $\boldsymbol{v}^{\pm}\in L_2^{\times}$.

Теорема 3. *Пусть* $\partial\Omega\in C^2$ *и* $\boldsymbol{w}^{\pm}\in C(\partial\Omega)$. *Тогда уравнение (4) имеет единственное решение* $\boldsymbol{v}^{\pm}\in C(\partial\Omega)$.

Следствие. *Пусть* $\partial\Omega\in C^2$ *и* $\boldsymbol{w}^{\pm}\in C(\partial\Omega)$. *Тогда задача* $\left\{P_3^{\pm}\right\}$ *однозначно разрешима и ее решение представимо в виде функции* $\boldsymbol{p}$ *с неизвестной* $\boldsymbol{v}^{\pm}\in C(\partial\Omega)$, *однозначно определяемой уравнением (4).*

Заметим, что компактность операторов $\boldsymbol{G}$, используемая при доказательстве теоремы 2, обусловлена конечностью временнóго интервала I_T, вследствие которой C_0-полугруппа $\boldsymbol{U}(\tau)$ нильпотентна.

Список литературы

1. *Мазья В.Г.* Граничные интегральные уравнения. Анализ-4 . Итоги науки и техники. Серия «Современные проблемы математики». Фундаментальные направления. Т. 27. М.: ВИНИТИ, 1988. – С. 131-228.
2. *Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л.* Методы граничных элементов. М.: Мир, 1987. – 524 с.
3. *Иванов Д.Ю.* Решение двумерных краевых задач, соответствующих начально-краевым задачам диффузии на прямом цилиндре // Дифференц. уравнения. 2010. Т. 46. № 8. – С. 1094-1103.
4. *Иванов Д.Ю.* Экономичный метод вычисления операторов, разрешающих некоторые задачи теплопроводности в прямых цидиндрах // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 9. – С. 16-32.
5. *Иванов Д.Ю.* Вычисление операторов, разрешающих задачи теплопроводности в прямых цилиндрах, с использованием полугрупповой симметрии // Известия Московского государственного технического университетата МАМИ. 2014. Т. 4. № 4(22). – С. 26-38.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ (02.00.00)

02.00.00

[1]Д.И. Дьяченко, [2]В.Т. Фомичев д.т.н.

[1]Волгоградский государственный университет, институт приоритетных технологий, кафедра судебной экспертизы и физического материаловедения, Волгоград, disined@gmail.com

[2]Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, институт транспортных, инженерных систем и техносферной безопасности, кафедра общей и прикладной химии, Волгоград, valerifomiche@yandex.ru

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ СВЕРХТОНКИХ ПОКРЫТИЙ НИКЕЛЯ ИЗ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ХОЛИН ХЛОРИДА

В работе исследовались закономерности разряда ионов никеля из ионных жидкостей различного состава на основе холин хлорида. Установлено влияние температуры и концентрации соли никеля на скорость и качество электроосажденных сверхтонких пленок металла. На основании анализа стационарных циклических вольтамперных кривых установлены потенциалы электроосаждения никелевых покрытий различной структуры, позволяющие формировать как гладкие качественные пленки, так и порошковые покрытия заданного состава и свойств.

Ключевые слова: *холин хлорид, эвтектическая смесь, ионные жидкости, электролиты для «зеленой» химии, электрохимическое осаждение, сверхтонкие пленки.*

Ионные жидкости в последнее время получили широкое использование в качестве основных компонентов электролитов благодаря наличию особых физико-химических свойств. Во многих технологических процессах ионные жидкости рассматривают как экологически безопасную и дешевую альтернативу высокотоксичным и дорогостоящим компонентам существующих электролитов, используемых в электрохимических технологиях.

Ионные жидкости на основе холин хлорида (ChCl) отличаются высокой электрохимической устойчивостью, сравнительно высокой электропроводностью, экологической безопасностью [1]. Отсутствие побочных процессов газовыделения, снижающих качество получаемых осадков, совместно с вышеперечисленными особенностями, позволяет использовать ионные жидкости в качестве электролитов для осаждения металлов и сплавов. Стоит отметить возможность холин хлорида образовывать с рядом органических и неорганических веществ устойчивые эвтектические смеси, обладающие оригинальными характеристиками, которые позволяют, например, проводить электрохимические процессы при комнатной температуре и ниже [2].

Важной особенностью электролитов на основе холин хлорида является возможность контроля роста осадка за счет варьирования ряда параметров (температуры, тока, потенциала, концентрации и др.), позволяя формировать наноструктурированные осадки заданных свойств, в частности сверхтонкие покрытия никеля, проявляющие особые магнитные характеристики, что дает возможность использовать их в качестве основы устройств со сверхвысокой плотностью записи информации.

Отсутствие данных по процессам электроосаждения сверхтонких никелевых покрытий из ионных жидкостей на основе холин хлорида выявило необходимость исследования особенностей разряда ионов, влияния электрических параметров на скорость осаждения и качество получаемых никелевых пленок.

Значительное число работ [1÷3] посвящено исследованию физических и электрохимических характеристик ионных жидкостей на основе холин хлорида, самыми распространенными из которых являются смеси ChCl – мочевина (urea), ChCl – этиленгликоль (EG), ChCl – глицерин (Gl) в молярном соотношении 1:2 [3].

С целью установления влияния различных факторов на процесс роста сверхтонких покрытий никеля в данной работе проведено исследование вышеописанных растворов при различных условиях. Компоненты смесей предварительно обезвоживали в вакууме при температуре 80±1°С. Ионные жидкости готовили путем смешения компонентов при нагреве и выдержке под вакуумом при периодическом перемешивании в течение 4 часов до образования гомогенного бесцветного раствора. После охлаждения полученные смеси стабильны при комнатной температуре, однако, в некоторых случаях требуют повторного нагрева под вакуумом до полного растворения кристаллов. Для исследования влияния концентрации на формирование сверхтонких никелевых покрытий, в устойчивые ионные жидкости добавляли хлорид никеля в диапазоне концентраций 0.01 М, 0.05 М и 0.1 М и вакуумировали растворы до полного растворения соли. С целью оценки качества осаждение никелевых покрытий проводили в потенциостатическом режиме на медных подложках с постоянной покрываемой площадью 2 см^2. Перед покрытием поверхности электродов химически полировали, промывали дистиллированной водой и высушивали.

Электрохимические измерения проводили при условии естественной конвекции электролитов при температурах 25÷75°С с помощью импульсного потенциостата ПИ-50.1.1 по трехэлектродной схеме подключения. Электродом сравнения служил квазиобратимый серебряный электрод. Рабочий электрод – спектрально чистый графитовый стержень. Качество и морфология покрытий оценивалось с участием сканирующей растровой электронной микроскопии на установке HitachiTM-1000.

Электродные процессы при катодной поляризации изучены методом циклической вольтамперометрии. Оптимальная скорость развертки потенциала 20 мВ/с. По данным авторов [3,4] область идеальной поляризуемости представленных электролитов лежит в диапазоне потенциалов -1.4 ÷ 1.6 В (отн. E_0 (Ag/Ag+)), что обусловило выбор границ циклируемости.

На рис. 1 представлены стационарные циклические вольтамперные кривые (ЦВА-кривые) исследуемых типов ионных жидкостей на основе холин хлорида при заданных концентрации соли никеля (0.05 М) и температуре 25°С. Как видно из графика в зависимости от типа ионной жидкости при заданной температуре и концентрации соли никеля меняется потенциал восстановления ионов Ni^{2+}. Так, для ионной жидкости ChCl – EG данная область потенциалов находится в пределах -0.73 ÷ -0.98 В и возрастает в ряду ChCl – Gl, ChCl – urea, достигая значений -1.06 ÷ -1.27 В.

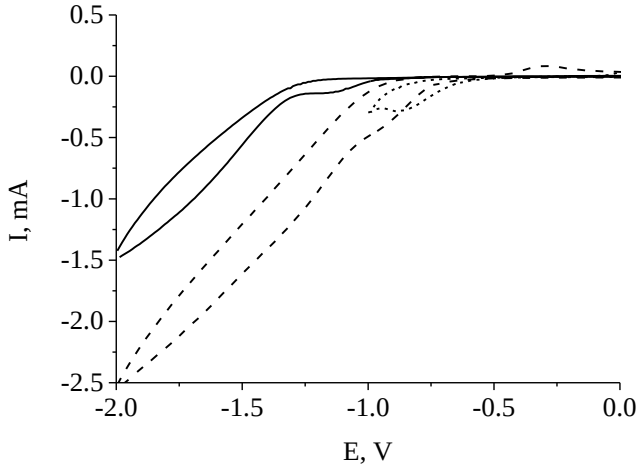


Рис. 1 - Стационарные циклические вольтамперограммы различных ионных жидкостей на основе холин хлорида при концентрации соли никеля 0.05 М отн. E_0(Ag/Ag+) при температуре 25±1°С и скорости развертки потенциала 20 мВ/с. Сплошная черта соответствует смеси с мочевиной; тире – с глицерином; короткое тире – с этиленгликолем

При переходе от ионной жидкости с этиленгликолем к смеси с глицерином наблюдается увеличение скорости формирования никелевого осадка. Для раствора ChCl – urea плато в катодной области потенциалов характеризует возникновение предельного катодного тока, который, как показали авторы [5], является функцией концентрации соли никеля в растворе при заданной температуре, что свидетельствует о диффузионном характере процесса. Предположительно, такое поведение системы можно объяснить значительным увеличением вязкости в ряду ионных жидкостей ChCl – EG, ChCl – Gl, ChCl – urea при заданной температуре [2,3].

Как следует из данных рис. 2 при заданной концентрации соли никеля (0.05 М) процесс восстановления ионов Ni^{2+} при температуре 25°С происходит в катодной области потенциалов -0.68 ÷ -0.92 В отн. E_0(Ag/Ag+). При увеличении температуры до 75°С помимо наблюдаемого сдвига потенциала первого пика в область положительных значений -0.28 ÷ -0.61 В, появляется второй пик восстановления никеля. Предположительно такое поведение связано с последовательностью восстановительных процессов из более сложных и устойчивых комплексных соединений никеля в присутствии ионной среды.

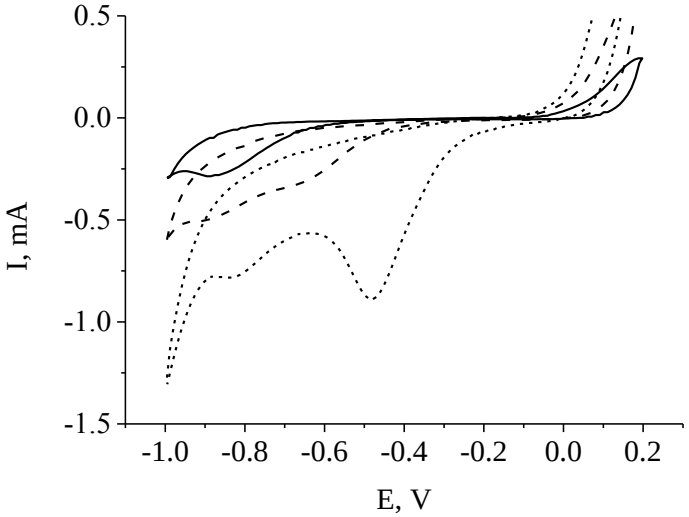


Рис. 2 - Стационарные циклические вольтамперограммы системы холин хлорид – этиленгликоль (1:2) при различных температурах отн. E_0(Ag/Ag+), скорости развертки потенциала 20 мВ/с. Концентрация соли никеля 0.05 М. Сплошная черта соответствует температуре 25°С, тире – 50°С, короткое тире – 75°С

Осадки, полученные в потенциостатическом режиме при температуре 75°С в области потенциалов восстановления, соответствующих первому пику, имеют хорошее сцепление с основой, мелкокристаллическую структуру и, как следствие, металлический блеск. Скорость формирования таких пленок составляет 15÷25 нм/мин, значительно превышая подобные значения при температуре 25°С (5÷7 нм/мин). Никелевые осадки, полученные при потенциалах второго пика, значительно сдвинутых в катодную область, имеют вид порошковых покрытий с крупным размером зерна черного цвета, достигающего значений скорости роста порядка 100 нм/мин.

Вид стационарных ЦВА-кривых холин хлорид – глицерин (1:2) при фиксированной температуре 75°С не претерпевает значительных изменений в зависимости от концентрации соли никеля (рис. 3). Наблюдается лишь незначительное изменение потенциала восстановления ионов Ni^{2+}. Значению концентрации 0.01 М соответствует пик восстановления в области -0.79 ÷ -1.02 В. С увеличением концентрации соли никеля происходит смещение потенциала в анодную область до значений -0.65 ÷ -0.87 В, однако при концентрации 0.1 М пик занимает промежуточную область значений потенциалов -0.72 ÷ -0.95 В.

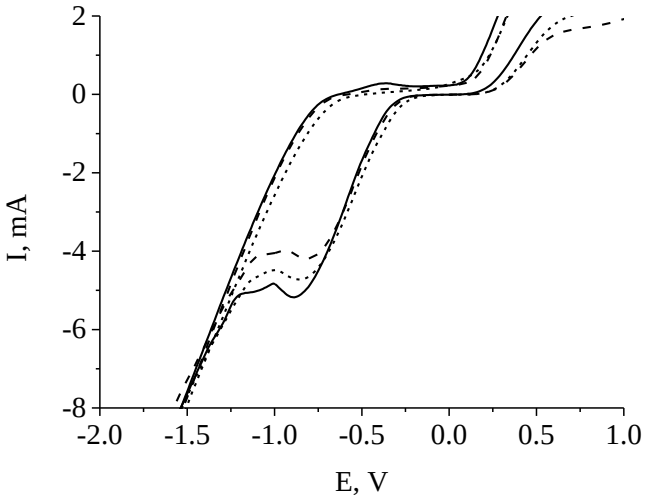


Рис. 3 - Стационарные циклические вольтамперограммы системы холин хлорид – глицерин (1:2) при различных концентрациях соли никеля отн. E_0(Ag/Ag+) при температуре 75±1°С и скорости развертки потенциала 20 мВ/с. Сплошная черта соответствует концентрации хлорида никеля 0.01 М, тире – 0.05 М, короткое тире – 0.1 М

По результатам проведенных исследований получены закономерности поведения разряда ионов Ni^{2+} из ионных жидкостей на основе холин хлорида. Установлено влияние температуры и концентрации соли никеля на процесс формирования сверхтонких пленок металла. На основании циклических вольтамперограмм были выбраны потенциалы электроосаждения никелевых покрытий различной структуры, что позволяет формировать пленки заданного состава и свойств от мелкокристаллических полупрозрачных со скоростью роста 5÷7 нм/мин до грубодисперсных порошковых, формирующихся при высокой скорости осаждения (до 100 нм/мин).

Список литературы

1. *T. Welton.* Ionic Liquids in Synthesis/ T. Welton, P. Wasserscheid, p. 380, 2002.
2. *Hiroyuki Ohno.* Electrochemical Aspects of Ionic Liquids/ Ohno Hiroyuki, p. 485, 2011.
3. *Q. Abbas.* Synthesis and characterization of choline chloride based binary mixtures/ Q. Abbas, L. Binder, Journal of the chemical society transactions, p. 12, 2010.
4. *L. Mariana.* Electrode Processes in Ionic Liquid Solvents as Mixtures of Choline Chloride With Urea, Ethylene Glycol or Malonic Acid / L. Mariana, C. Anca, A. Liana. U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 76, Iss. 3, 2014.
5. *Liana Anicai.* Studies Regarding the Nickel Electrodeposition from Choline Chloride Based Ionic Liquids/ Liana Anicai, Andreea Florea, Applications of Ionic Liquids in Science and Technology, pp. 261-286, 2011.

02.00.01

[1]А.В. Потапова к.х.н., [2]А.В. Соколова, [3]Е.В. Гусева к.х.н.

[1]Казанский кооперативный институт (филиал) Автономной некоммерческой организации высшего образования Центросоюза РФ «Российский университет кооперации», кафедра товароведения и технологии общественного питания

[2]ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Институт полимеров

[3]ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», кафедра неорганической химии

КАЛИКС[4]РЕЗОРЦИНЫ: ТРЕХМЕРНЫЕ ЛИГАНДЫ ДЛЯ КАТАЛИЗАТОРОВ БУДУЩЕГО

Одним из интенсивно развивающихся и наиболее перспективных направлений создания новых катализаторов является выбор в качестве лигандов супрамолекул. К настоящему времени в литературе накоплен значительный опыт по синтезу и изучению реакционной способности в реакциях комплексообразования органических макроциклических молекул-рецепторов (краун-эфиры, декстрины, каликсарены). Среди них выделяются каликс[4]резорцины, функционализация которых приводит к созданию структур с различными свойствами. В настоящее время среди большого числа исследований комплексов металлов с макроциклическими лигандами число работ, посвященных изучению реакционной способности и особенностям комплексообразования соединений Rh(II) и Rh(III) с фосфорфункционализированными каликс[4]резорцинами в неводных растворителях, а также влиянию солей Rh(II), Rh(III) на ход реакции и состав выделяемых продуктов, ограничено.

Ключевые слова: *каликс[4]резорцины, фосфор, родий, катализ.*

Каликс[4]резорцины. Функционализация

Каликс[4]резорцины (резорцинол-альдегидные циклотетрамеры) занимают особое место в ряду макромолекул ввиду лёгкости их синтеза, заметной растворимости и преимущественной конформационной однородности [1, 2]. Модифицированные фосфорсодержащими фрагментами каликсрезорцины в последние годы привлекает всё большее внимание возможностью создания необычных супрамолекулярных систем при исследовании закономерностей молекулярного узнавания. Кроме того, фосфорсодержащие каликсрезорцины обладают высокой комплексообразующей способностью и могут быть использованы для целей создания катализаторов [3]. Известно множество работ, посвященных применению, конструированию, синтезу, хиральным свойствам каликсрезорцинов и их функционализированным производным [1].

Потенциальный интерес для синтеза супрамолекулярных комплексных соединений представляют каликсфосфины - класс молекул, который комбинирует каталитический центр и молекулярный рецептор благодаря способности атома фосфора проявлять координационные числа от 1 до 6 и существовать в различных состояниях окисления. Тамже [2, 4] предлагается несколько способов получения фосформодифицированных каликс[4]резорцинов. Первый из них включает в себя синтез фосфорфункционализированных каликс[4]резорцинов фосфорилированием готовой каликс[4]резорциновой матрицы. Второй способ: синтез фосфорфункционализированных каликс[4]резорцинов реакцией конденсации резорцина и его производных с *пара*-фосфорилированными бензальдегидами с первоначальной модификацией, как резорцина, так и бензальдегида. Подобными способами можно получать фосфорсодержащие каликс[4]резорцины, модифицированные как по нижнему, так и по верхнему ободу молекулы.

В зависимости от фосфорсодержащих фрагментов, находящихся в каликсрезорциновой матрице, подобные макроциклы могут проявлять разные свойства, в частности, высокую

комплексообразующую способность по отношению к ионам переходных металлов. Поскольку, фосфорные соединения играют важную роль во многих биологических, мембранных и каталитических процессах, ряд авторов поставили задачу разработать подходы к комплексообразованию данных макроциклов с солями платиновых металлов.

Каликсрезорцины и комплексы на их основе с соединениями d-металлов

В работах [2,4,5] авторами были изучены реакции комплексообразования полидентатного каликс[4]резорцина с солями Rh(II, III) в этанольной среде. Исследуемый в работе каликс[4]резорцин имеет 4 фосфорильные группы по нижнему и 4 аминоэтильные группы по верхнему ободу. Экспериментально показано, что в конкурентной борьбе между фосфор- и азотсодержащими донорными центрами преимущество при комплексообразовании принадлежит фосфорному центру, как более мягкому лиганду. В работах [6] описано комплексообразование каликсрезорцинов, в том числе участие в системах типа «гость-хозяин».

Описаны комплексы трихлорида родия с каликс[4]резорцинами, функционализированными различными фосфорсодержащими фрагментами [7]. Комплексы были синтезированы в среде ацетона, этанола и в среде этанола и муравьиной кислоты.

В обзоре [8] описаны комплексы Rh, Pt, Ru, Pd и других d-элементов с третичными фосфинами, содержащими макроциклическую матрицу, такие как циклодекстрины и каликсарены. Наличие в составе фосфорсодержащего лиганда подобного объемного заместителя не создает дополнительных особенностей в реакции комплексообразования. Был синтезирован и исследован супрамолекулярный комплекс на основе каликсарена и тетракарбоксилата диродия(II) [9]. Бис-(каликс[4]арен-11,23-дикарбоксилато)диродий(II) был получен в толуоле при соотношении L: M = 2:1 с выходом 88 %. Данный комплекс был изучен с помощью рентгеноструктурного анализа, авторы работы полностью описали структуру полученного комплекса.

Необходимо отметить, что в ряде работ авторам удалось получить водорастворимые комплексы на основе каликсрезорцинов. Так в работе [10] авторами был синтезирован ряд комплексов тетракарбоксилата диродия(II) на основе замещенного каликсарена. Все полученные комплексы содержат тетракарбоксилат родия в частично-инкапсулированной форме. Еще один макромолекулярный комплекс родия, растворимый в воде, содержащий в качестве лиганда модифицированный каликсарен, был получен в работе [11].

Обособленным направлением в химии координационных соединений каликсрезорцинов стоят комплексы переходных металлов с фосфокавитандами. P(III)-фосфокавитанды могут представлять интерес как лиганды при создании сложных координационных систем. Первыми на эту возможность указали канадские исследователи [12], которым удалось синтезировать группу координационных систем на основе фенилфосфонитокавитанда и галогенсодержащих комплексов родия и платины [13]. С указанными металлами координируются все четыре фосфорных центра фосфонита. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что с галогенидами серебра и меди кавитанд образует комплексы анионного типа за счет акцептирования галогенид-аниона в полости макроцикла. Отметим также, что в полученных комплексах лиганд сохраняет полную симметричность.

Авторы работы [14] исследовали взаимодействие P(III)-фосфокавитандов с карбонилами переходных металлов, молекулы которых являются объемными структурами. Реакцию ацетилацетонатодикарбонила родия(I) с фосфокавитандами проводили при молекулярном соотношении реагентов 1:4 в диоксане или хлороформе, в интервале температур 20 - 100 °С. В этих условиях были получены тетрародиевые комплексы, которые выделены в чистом виде с выходами 53 - 81 %. Однако, в отличие от всех ранее рассмотренных процессов, при образовании тетраядерных родиевых комплексов происходит искажение молекулярного остова кавитанда.

Каталитические системы на основе комплексов Rh

Изучено гидроформилирование окт-1-ена в присутствии комплексов родия с фосфорсодержащими каликсаренами [15], отмечено влияние каликсареновой матрицы на

протекание процесса.

В работе [16] родиевые комплексы с фосфорсодержащими каликсаренами использовались в гомогенном гидроформилировании непредельных соединений, таких как олефины. Показана существенная зависимость свойств металлокомплекса (активность, селективность, стабильность) от природы лиганда, причем его влияние на соотношение и выход продуктов реакции носит весьма сложный характер и определяется не только электронным, но и стерическим факторами. Комплексы родия с каликс[4]резорцинами, модифицированные, фосфорсодержащими фрагментами исследовались в ряде каталитических процессов и показали высокую селективность. Макромолекулярный комплекс родия, содержащий в качестве лиганда модифицированный каликсарен, был получен и исследован в работе [11] как катализатор гидроформилирования в двухфазных системах.

Родиевые фосфорсодержащие комплексы использовались в качестве катализаторов полимеризации стирола, метилметакрилата и винилацетата [17]. Показано, что каталитические системы на их основе проявляют высокую активность в Вакер-окислении непредельных соединений в двухфазных системах, обеспечивают достижение количественных выходов соответствующих метилкетонов и могут быть использованы многократно без потери активности. Были также предложены новые высокоактивные каталитические системы гидрирования диоксила углерода до муравьиной кислоты в водных растворах различных оснований на основе макрокоплексов родия и рутения с полиэтиленоксидом и трифенилфосфином [18].

Также комплексы родия используют для получения оптически активных аминокислот. Акира Харада (Akira Harada) и коллеги с факультета макромолекулярных соединений университета г. Осака разработали катализатор [19], представляющий комплекс родия с белковым антителом 1G8, сочетающий в себе высокую каталитическую активность, присущую комплексам родия, и высокую селективность, свойственную ферментативному катализу. Полученный белково-металлокомплексный катализатор был применен для восстановления кратных связей серии прекурсоров аминокислот и отличался высокой селективностью в распознавании субстратов.

В работах [20] предложен метод синтеза и выделения в твердом виде комплексов Rh(II) и Rh(III) с фосфорсодержащими каликс[4]резорцинами, в том числе и с квазифосфониевыми солями, позволяющий сохранять в неизменном виде конформацию и конфигурацию каликсрезорциновой матрицы. Показано, что все изучаемые каликс[4]резорцины реагируют с металлами как тетрадентатные лиганды посредством фосфорсодержащих групп. Взаимодействие каликс[4]резорцина, модифицированного дифенилфосфиновыми фрагментами, с $Rh_2(CH_3COO)_4 \cdot 2H_2O$ или $RhCl_3 \cdot 3H_2O$ протекает по механизму нуклеофильного замещения. При взаимодействии $Rh_2(CH_3COO)_4 \cdot 2H_2O$ или $RhCl_3 \cdot 3H_2O$ с квазифосфониевыми солями на основе каликс[4]резорциновой матрицы активным рычагом в управлении ходом реакции является растворитель. Квазифосфониевые соли в ходе реакции подвергаются элиминированию с отщеплением фенилбромида и образованием стабильных супрамолекул, модифицированных фосфиновыми или аминофосфиновыми группами, которые в дальнейшем координируются к $Rh_2(CH_3COO)_4 \cdot 2H_2O$ или $RhCl_3 \cdot 3H_2O$ аналогично каликс[4]резорцину, модифицированному дифенилфосфиновыми фрагментами.

В работах [20] установлено, что комплекс Rh(III), описанный в [7], обладает каталитической активностью в реакции гомогенного дегидрирования муравьиной кислоты. С помощью экспериментальных методов и методов квантово-химического моделирования установлена постадийная схема механизма реакции.

Таким образом, использование супрамолекул в процессах комплексообразования с ионами металлов позволяет получать сложные координационные соединения с трехмерной структурой за счет различных комплексообразующих центров. Эти соединения имеют широкие перспективы практического использования в процессах катализа.

Список литературы

1. *Джайн В.К., Канайя П.Х.* Химия каликс[4]резорцинаренов / В.К. Джайн, П.Х. Канайя // Успехи химии. - 2011. - Т. 80. - № 1. - С. 77-105.
2. *Гаврилова Е.Л.* Синтез, строение, свойства органических соединений со связью P-C(sp^2) в ряду ароматических и макроциклических систем: дис. ... док. хим. наук. - Казань. 2010.-321с.
3. *Ikeda A., Shinkai S.* Novel Cavity Design Using Calix[n]arene Skeletons: Toward Molecular Recognition and Metal Binding / A. Ikeda, S. Shinkai // Chem. Rev. -1997. -V.97(5). -P.1713-1734.
4. *Наумова А.А.* Синтез каликс[4]резорцинов фосфорилированных по верхнему и нижнему ободу молекулы и изучение их комплексообразующей способности в реакциях с соединениями Pt(II), Pd (II), Rh(II), Rh(III): дис. … канд. хим. наук. - Казань, 2008. - 145 с.
5. *Guseva E.V.* Complexes of Dirhodium(II) Carboxylates with Calix[4]resorcinarenes Functionalized at the Upper and Lower Rim of the molecule with P,N-containing Fragments / Guseva E.V. [et. al.] // Russ. J. Gen. Chem. - 2008. - V. 78. - N. 12. - P. 2308–2316.
6. *Коновалов А.И.* Дизайн и ионофорные свойства ряда макроциклических лигандов на основе каликсаренов / А.И. Коновалов [и др.] // Координационная химия. - 2004. - Т. 30. - №4. - С. 243-262.
7. *Гусева Е.В.* Взаимодействие трихлорида родия с P–функционализированными каликс[4]резорцинами в различных средах / Гусева Е.В. [и др.] // ЖОХ. - 2010. - Т. 80. - Вып. 1. - С. 51-63.
8. *Shaughnessy K.H.* Hidrophilic Ligands and Their Applicatin in Aquaeous-Phase Metal-Catalyzed Reactions. / K. H. Shaughnessy // Chem. Rev. - 2009. - V.109. - P. 643-710.
9. *Kim S.* Metallic macrocycle with a 1,3-alternate calix[4]arene phosphorus ligand / S. Kim [et. al.] // Inorg. Chem. - 2004. - V. 43. - P. 2906-2913.
10. *Brodsky B.H., Bois J.D.* Entrapment of a dirhodium tetracarboxylate unit inside the aromatic bowl of a calix[4]arene: Unique catalysts for C-H amination / B.H. Brodsky, J.D. Bois // The Royal Society of Chemistry: Chem. Commun. - 2006. - P. 4715-4717.
11. *Shimizu S.* Novel Water-Soluble Calix[4]arene Ligands with Phosphane-Containing Groups for Dual Functional Metal-Complex Catalysts: The Biphasic Hydroformylation of Water-Insoluble Olefins / S. Shimizu [et. al.] // Angew. Chem. Int. Ed. - 2000. - V. 39. - P. 1256-1264.
12. *Xu W.* Transition Metal Rimmed-Calixresorcinarene Complexes / W. Xu [et. al.] // Inorg. Chem. - 1995. - V. 34. - N. 1. - P. 323-329.
13. *Maslennikova V.I.* Amidophosphites in the chemistry of calyx[4]resorcinolarene / V.I. Maslennikova [et. al.] // Phosporus, Sulfur and Silikon and Relat. Elem. - 1996. - V. 113. - N. 1-4. - P. 219-223.
14. *Нифантьев Э.Е., Масленникова В.И., Горюхина С.Е.* Функционализация PIII-фосфокавитандов / Э.Е. Нифантьев, В.И. Масленникова, С.Е. Горюхина // Российский химический журнал (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). - 2001. - Т. XLV. - № 4.
15. *Bagatin I.A.* Calix[4]arene Ligands with Phosphorus-Containing Groups Tethered at the Upper Rim / I.A. Bagatin // Inorg. Chem. - 1999. - V. 38. - P. 1585-1593.
16. *Теренина М.В.* Родиевые комплексы с фосфорсодержащими каликсаренами в гомогенном гидроформилировании непредельных соединений: дис ... канд. хим. наук.-Москва.2007.-114с.
17. *Гусева Е.В., Половняк В.К., Потапова А.В.* Влияние супрамолекулярного комплекса родия(III) с P-функционализированным каликс[4]резорцином на кинетические особенности комплексно-радикальной полимеризации метилметакрилата и винилацетата / Е.В. Гусева, В.К. Половняк, А.В. Потапова // Научно-технический вестник Поволжья. - 2011. - № 6. - С.60-67.
18. *Максимов А.Л.* Супрамолекулярные металлокомплексные каталитические системы для нефтехимического синтеза дис. … док хим. наук. - Москва. 2005. - 400 с.
19. *Yamaguchi H.* Asymmetric hydrogenation with antibody-achiral rhodium complex / H. Yamaguchi [et. al.] // Org. Biomol.Chem. - 2006. - № 4. - С. 3571-3573.
20. *Потапова А.В.* Синтез и свойства комплексов Rh(II, III) с фосфорсодержащими каликс[4]резорцинами: дис. … канд. хим. наук. - Казань, 2013. - 149 с.

02.00.00

О.В. Рябова к.т.н., Д.В. Терин к.ф.-м.н., Е.А. Савельева к.х.н., А.А. Танцерев, А.И. Финаенов д.т.н.

Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Энгельс, alexsandr.ta@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКРАШИВАНИЯ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В РАСТВОРАХ НА ОСНОВЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ШЛАМОВ ИМПУЛЬСНЫМ ТОКОМ

Составлена математическая модель методом планирования полного факторного эксперимента процесса формирования цвета оксидной пленки на сплавах алюминия при поляризации импульсным током в растворах на основе отходов гальванических производств. На основании полученных уравнений рекомендован режим окрашивания оксидной пленки в черный цвет.

Ключевые слова: *математическое моделирование, оксидирование алюминия, потенциал подъема.*

ВВЕДЕНИЕ

Электрохимически полученный оксид на алюминии и его сплавах обладает полупроводниковыми свойствами и является надежным способом защиты алюминиевых изделий от коррозии. Функциональные свойства оксида могут быть изменены при электрохимической обработке в солях различных металлов. Многочисленные исследования показали [1, 2], что отходы гальванических производств содержат в своем составе такие металлы как Zn, Ni, Cu, Fe. В связи с этим появилась возможность использования гальванических шламов (ГШ) в качества источника катионов различных металлов для электрохимического окрашивания анодной оксидной пленки (АОП) на алюминии и его сплавах. Использование в таких процессах импульсных токов позволяет не только управлять процессом окрашивания для получения заданной цветовой гаммы, но и регулировать свойства получаемых покрытий [3].

В настоящей работе, с помощью математического описания, определены оптимальные технологические параметры электрохимического окрашивания АОП на алюминиевом сплаве импульсным током в растворах на основе гальваношламов для получения коррозионностойких покрытий черного цвета.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Предварительное формирование АОП проводили на пластинах алюминиевого сплава Д16 в растворе смеси серной и фосфорной кислот при плотности тока 1 А/дм^2 в течении 1800 с для получения пористого оксида толщиной 20 мкм. Электролит окрашивания на основе ГШ готовили растворением шлама в подогретой серной кислоте с последующей фильтрацией. Процессы анодирования и электрохимического окрашивания алюминия проводили с использованием электронного потенциостата IPS–Compact. Формирование цвета осуществляли при импульсной подачи катодного тока величиной от 10 до 40 мА/см^2 и продолжительностью 1 с, затем отключали подачу тока и выдерживали паузу в течении 0,01 с. Общее время окрашивание составляло 900 с. Коэффициент поглощения окрашенной АОП определяли оптическим методом анализа с помощью анализатора. Коррозионную стойкость оценивали по ширине пассивной области анодных потенциодинамических кривых (ПДК) снятых в 3 % растворе NaCl на электронном потенциостате P8-S. Для оптимизации процесса наполнения АОП применяли метод математического планирования полного факторного эксперимента, при этом за параметры оптимизации принимали коэффициент поглощения (Т) и величину потенциала подъема ($E_{под}$) анодной ПДК. В качестве независимых переменных: x_1 – концентрация серной кислоты (г/л), x_2 – катодная плотность тока (мА/см^2), x_3 – концентрация гальваношлама (г/л).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Область определения факторов устанавливается согласно типовой рабочей схеме полного факторного эксперимента, который предусматривает одновременное варьирование всех исследуемых факторов на двух уровнях: верхнем (Max), имеющем максимальное значение рассматриваемого фактора и нижнем (Min), соответствующем минимальному значению фактора [4-8]. Интервалы изменения факторов в эксперименте представлены в таблица 1.

Математическое описание рассматриваемого процесса будем искать в виде уравнения регрессии (1):

$$y = b_0 + b_1X_l + b_2X_2 + \ldots.. + b_nX_n + b_{l2}X_1X_2 + \ldots.+ b_{(n-l)n}X_{n-1}X_n \quad (1)$$

где b_0, b_1, b_2, b_n, b_{l2}, $b_{(n-l)n}$ – коэффициенты регрессии.

В целях проверки воспроизводимости результатов эксперимента для каждой строки матрицы планирования проводили по два параллельных опыта. Расчет коэффициентов уравнений регрессии и их статистическая оценка проводилась в соответствии с данными работ [4-8]. Значимость коэффициентов уравнения регрессии определяли по критерию Стьюдента [8].

Таблица 1- Интервалы варьирования факторов в эксперименте

условие опыта	обозначение	факторы		
		X_1, г/л	X_2, мА/см^2	X_3, г/л
Нулевой уровень	$X_{i\,o}$	200	25	170
Интервал варьирования	$\Delta X_{i\,o}$	100	15	80
Верхний уровень $X_{i\,в}$ = -1	$X_{i\,в}$	300	40	250
Нижний уровень $X_{i\,н}$ = +1	$X_{i\,н}$	100	10	90

В таблице 2 приведены результаты эксперимента и матрица планирования.

Таблица 2 - Матрица планирования и результаты эксперимента

№	Кодированные значения факторов				Параметр оптимизации			Параметр оптимизации		
					***T*, %**			***$E_{под}$*, *В***		
	x_o	x_1	x_2	x_3	T_1	T_2	T_3	E_1	E_2	E_3
1	***+1***	***-1***	***-1***	***-1***	0.89	0.88	0.89	0.84	0.81	0.83
2	***+1***	***+1***	***-1***	***-1***	0.69	0.69	0.68	0.67	0.65	0.60
3	***+1***	***-1***	***+1***	***-1***	0.91	0.89	0.89	0.77	0.80	0.79
4	***+1***	***+1***	***+1***	***-1***	0.92	0.82	0.89	0.67	0.69	0.64
5	***+1***	***-1***	***-1***	***+1***	0.82	0.82	0.89	0.78	0.8	0.79
6	***+1***	***+1***	***-1***	***+1***	0.86	0.82	0.83	0.70	0.67	0.68
7	***+1***	***-1***	***+1***	***+1***	0.76	0.77	0.88	0.89	0.88	0.89
8	***+1***	***+1***	***+1***	***+1***	0.83	0.82	0.83	0.82	0.82	0.89

Проверка однородности дисперсий и расчет дисперсии воспроизводимости, показали, что модель однородна и воспроизводима. Оценка адекватности по критерию Фишера показала, что уравнение регрессии адекватно процессу.

На основании полученных расчетных значений уравнение регрессии для процесса электрохимического окрашивания АОП импульсным током в растворах на основе ГШ, можно представить в следующем кодированном виде:

$$T = 0.834 - 0.025\,X_1 + 0.019\,X_2 + 0.026\,X_1X_2 + \ldots + 0.0293\,X_1X_3 - 0.0307\,X_2X_3 \quad (2)$$

$$E_{под} = 0.765 - 0.057\,X_1 + 0.03\,X_2 + 0.035\,X_3 + 0.016\,X_1X_2 + \ldots$$

$$\ldots + 0.0196\,X_1X_3 + 0.03375\,X_2X_3 \quad (3)$$

В уравнении (2) коэффициенты b_3, b_{123} являются незначимыми и из уравнения регрессии исключаются. В уравнении (3) незначимыми является коэффициент b_{123}, однако оба уравнения адекватно описывают опытные данные. Так, исследование электролитов содержащих гальванические шламы показало, что увеличение концентрации серной кислоты в электролите окрашивания приводит к снижению извлекающей способности красящих

катионов из сухого гальваношлама, что отрицательно сказывается на цветовой гамме получаемых покрытий, а так же приводит к растравливанию поверхности алюминиевых изделий и тем самым снижает коррозионную стойкость покрытий. Коэффициенты b_2 и в уравнении (2) и в уравнении (3) имеют положительные знаки, следовательно, увеличение плотности тока приводит к получению покрытий черного цвета. При увеличении концентрации ГШ наблюдается положительная динамика в качестве и цветовой гамме получаемых покрытий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, составление математической модели методом полного факторного эксперимента позволило определить оптимальные условия и рекомендовать режимы окрашивания для получения цветных покрытий с высокой коррозионной стойкостью. Так, для получения черного цвета рекомендуется электролит состава 150 г/л ГШ + 100 г/л H_2SO_4, при $i_к$ = 25 мА/см^2, $\tau_{об}$ = 900 с ($\tau_и$ = 1 с, $\tau_п$ = 0,01 с).

Список литературы

1. *Гриневич, В.И.* Утилизация гальванических шламов в литейном производстве / В.И. Гриневич, Г.А. Костров // Инженерная экология. - 1999. - №5. - С. 53.
2. *Леонтьев, Л.И.* Гальваношламы как потенциальные источники сырья для металлургии / Л.И. Леонтьев, В.Б. Тихомиров, О.Г.Каменский // Известия вузов. – Черная Металлургия. - 1997. - № 11. - С.71.
3. *Ермолаева, Г.Б.* Нестационарные формы тока/ Г.Б. Ермолаева, Э.А. Кузнецов // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2002. - № 4. – С.62.
4. *Изотов, В.Ю.* Модель роста оксидной пленки при анодировании алюминия / В.Ю. Изотов, Ю.А. Монетин, А.П. Ковель // Теоретическая и экспериментальная химия. - 1994. - Т.30. - С. 272.
5. *Щербачев, Д.Р.* Моделирование кинетики роста барьерного анодного оксида / Д.Р. Щербачев // Электрохимия. - 1991. - Т27. - №9. - С. 1114.
6. *Лимонов, А.Г.* Моделирование образования гексагональных периодических наноструктур на поверхности оксида алюминия / А. Г. Лимонов // Математическое моделирование. - 2010. - Т22. - №8. - С. 97.
7. *Кудрявцев, Ю.Д.* Оптимизация процесса наполнения анодного оксида алюминия политетрафторэтиленом при поляризации переменным асимметричным током / Ю.Д. Кудрявцев // Журнал прикладной химии. - 2000. - Т73. - №4. - С.592.
8. *Саутин, С.Н.* Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С.Н. Саутин. — Л.: Химия, 1975. — 48 с.

02.00.01

В.В. Хасанов, Р.Д. Ульбашева

Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова,
химический факультет, кафедра неорганической и физической химии,
Нальчик, Vlad.khasanov.2017@mail.ru

СИНТЕЗ СУБМИКРОННЫХ МАГНИТНЫХ КРИСТАЛЛИТОВ НА ОСНОВЕ $BaFe_{12}O_{19}$ ИЗ B_2O_3-СОДЕРЖАЩИХ ОКСИДНЫХ СТЕКОЛ

Работа посвящена исследованию раствор-расплавного синтеза субмикронных порошков гексаферрита бария из B_2O_3-содержащих растворов-расплавов. Изучены фазовые равновесия в 7 политермических сечениях псевдотройной оксидной системы B_2O_3 – BaO – Fe_2O_3 и построена ее фазовая диаграмма состояния, выявлены границы области кристаллизации гексаферрита в искомой системе.

Ключевые слова: *гексаферрит бария, магнитные свойства*, *температура Кюри.*

Сочетание повышенных магнитных характеристик с химической устойчивостью, а также другими уникальными свойствами делает полиподрешеточные гексагональные ферриты бария и стронция перспективными материалами для получения носителей информации с высокой плотностью записи (3100 пн/мм). Большая константа магнитной анизотропии и химическая инертность делает эти порошки незаменимыми для изготовления постоянных магнитов. При использовании гексаферрита бария увеличивается разрешающая способность считывающей головки, что связано с отсутствием необходимости использования защитного слоя на носителе информации. Уникален гексаферрит бария для записи в так называемом «перпендикулярном режиме».

В настоящее время ультрадисперсный порошок $BaFe_{12}O_{19}$ используется в медицине – для лечения рака печени [1] и в качестве электромагнитного поглотителя [2]. Несмотря на попытки использования различных методов получения порошков оксиферромагнетиков (химические реакции в водных растворах, синтез в расплавах индифферентных солей, электрохимический способ синтеза и т. д.), несомненно, наиболее перспективным остается раствор-расплавный метод их синтеза с использованием стеклообразующих растворов-расплавов.

Встречающиеся в литературе раствор-расплавные методы синтеза гексаферрита бария основываются на эмпирическом подборе составов растворов-расплавов без построения фазовых диаграмм соответствующих оксидных систем, что не позволяет обосновать выбор оптимальных составов растворителей, а также режима последующей термообработки полученных стекол (расстекловывания).

Отсутствуют систематические исследования, которые могли бы позволить выявить закономерности в образовании порошков оксиферромагнетиков с определенными геометрическими и магнитными параметрами. Проблематичен синтез порошков с узким распределением по размерам и достаточно большой коэрцитивной силой. Следовательно, важно исследование новых фазовых равновесий новых составов, пригодных для синтеза магнитных кристаллитов на основе гексаферрита бария и стекол для их дальнейшей кристаллизации при термообработке.

В настоящей работе нами в качестве основного стеклообразующего оксида выбран оксид бора, а модифицирующим и регулирующим кислотность компонентом – оксид бария.

В связи с вышеизложенным целью исследования стал поиск новых стеклообразующих растворителей на основе оксида бора, применение которых позволило бы синтезировать порошки гексаферрита бария с требуемым размером зерен (< 0,3 мкм), построение *T–x* фазовых диаграмм политермических сечений соответствующих оксидных систем.

Нами изучено фазовое равновесие в псевдотройной оксидной системе B_2O_3 – BaO – Fe_2O_3 в области существования гексаферрита бария.

В двойной оксидной системе BaO – Fe_2O_3 образуется [3] три конгруэнтно плавящихся химических соединения: $Ba_2Fe_2O_5$, $BaFe_2O_4$ и $BaFe_{12}O_{19}$. Кроме того, она характеризуется наличием двух эвтектических точек: между $Ba_2Fe_2O_5$ и $BaFe_2O_4$ (1603 К и 41.2 мол. % Fe_2O_3) и между $BaFe_2O_4$ и $BaFe_{12}O_{19}$ (1643 К и 60 мол. % Fe_2O_3).

По данным [4] в системе установлена фаза $Ba_2Fe_6O_{11}$, устойчивая в области температур 1073-1423К, а выше 1423 К фаза распадается на $BaFe_2O_4$ и $BaFe_{12}O_{19}$.

Известно, что в системе BaO – BO_3 обнаружено четыре химических соединения, плавящихся конгруэнтно: $Ba_3B_2O_6$ ($T_{пл.}$ = 1656 К; BaB_2O_4 ($T_{пл.}$ = 1378 К); BaB_4O_7 ($T_{пл.}$ = 1123 К) и BaB_8O_{13} ($T_{пл.}$ = 1162 К). В системе наблюдается явление несмешиваемости, область двух не смешивающихся жидкостей простирается от 1.5 до 30 мол. % BaO. Верхняя критическая точка расслоения лежит приблизительно около температуры 1423К. По этим причинам область стеклообразования в системе сужена (83-60 мол. % BaO). В системе B_2O – Fe_2O_3 образование химических соединений не обнаружено.

В качестве растворителей для возможного синтеза порошков гексаферрита бария нами выбраны были следующие составы: BaB_4O_{13}, BaB_4O_7, BaB_4O_4, $BaO{\cdot}0.6B_2O_3$ и $Ba_3B_2O_6$. Состав $BaO{\cdot}0.6B_2O_3$ не является химическим соединением, а представляет эмпирически подобранный состав, лежащий вблизи эвтектики, образуемый $Ba_3B_2O_6$ и $BaFe_2O_4$, и плавится в интервале температур (1125-1273 К). Однако составы BaB_4O_{13} и BaB_4O_7, как изложено выше, попадают в область стеклообразования, с чем и связана невозможность изучения фазовых отношений этих расплавов с гексаферритом бария в области разбавленных растворов-расплавов. Проведенные нами предварительные пробы на ферритообразование показали, что продуктом кристаллизации в этих расплавах является α-Fe_2O_3, что доказано химическим и рентгенофазовым анализом. Это указывает на нестабильность сечений и их пересечение со стабильным разрезом $BaFe_2O_4$ – Fe_2O_3.

Нами изучены фазовые равновесия в 7 политермических сечениях псевдотройной оксидной системы B_2O_3 – BaO – Fe_2O_3. Сплавы систем изучали методами ДТА и ВПТА, магнитным (определение точки Кюри) и химическим анализом, структурные и морфологические особенности синтезированных кристаллитов изучали методами РФА и сканирующей элетронной микроскопией.

Фазовые равновесия в политермическом сечении $BaO{\cdot}0.6B_2O_3$-$2BaO{\cdot}Fe_2O_3$ изучались нами вышеперечисленными методами, и ее диаграмма плавкости представлена на рис. 1.

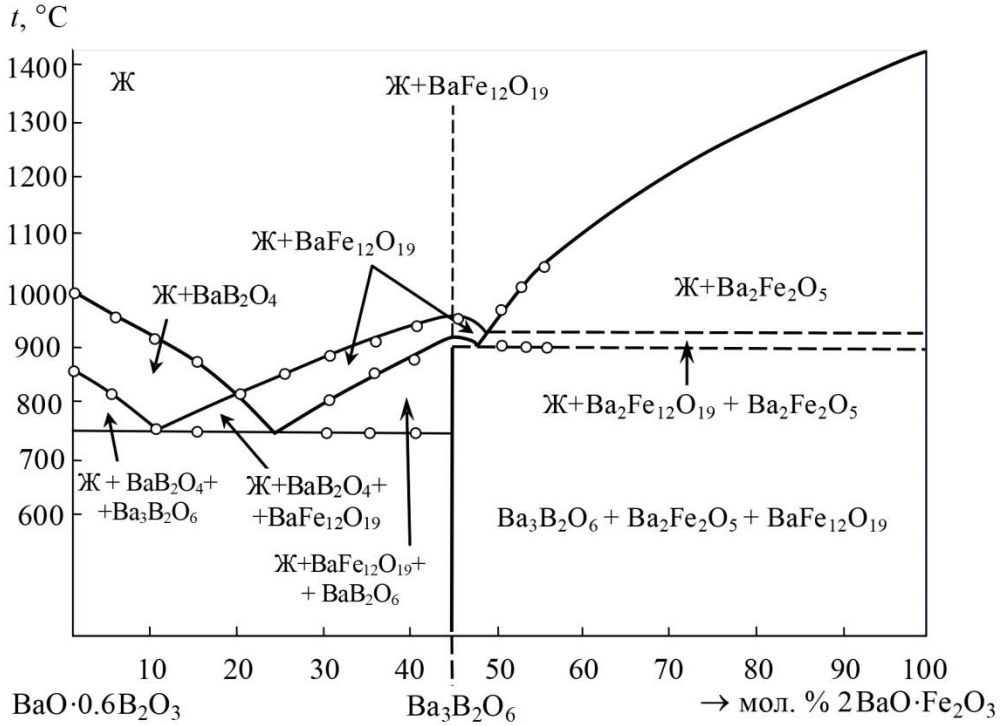


Рис. 1. Диаграмма плавкости политермического сечения $BaO{\cdot}0.6B_2O_3$ – $2BaO{\cdot}Fe_2O_3$

Из нее следует, что компоненты образуют сложную систему, являющуюся нестабильным сечением псевдотройной оксидной системы B_2O_3 – BaO –Fe_2O_3. Как и было предположено, она пересекает стабильное сечение BaB_2O_4 – $BaFe_{12}O_{19}$ при 45 мол. % $BaFe_{12}O_{19}$. Диаграмму строили, руководствуясь не только экспериментальными данными, но и общими положениями геометрической термодинамики.

Рентгенофазовый, химический и магнитный анализ подтвердили установленную диаграмму состояния, в которой обнаружена значительная область кристаллизации гексаферрита бария. Это соответствует правилу исключенных сечений, согласно которому в точках пересечения стабильного и нестабильного сечений присутствуют фазы, отвечающие составу компонентов стабильного сечения. Так, отделенные от плавня кипячением в 35%-ном растворе CH_3COOH кристаллиты были подвергнуты магнитной обработке и химическому анализу на содержание Fe и Ba. Он показал, что содержание Fe равно 60.3 %, а Ba –12.3 %, что близко к стехиометрическому гексаферриту бария (60.3 % Fe и 12.3 % Ba), точка Кюри для кристаллов оказалась равной 445 ± 4 °С (теоретически она равна 448 ± 6 °С).

Результаты рентгенографического анализа магнитной фазы также подтверждают подлинность $BaFe_{12}O_{19}$. Таким образом, данное сечение является нестабильным сечением псевдотройной системы B_2O_3 – BaO – Fe_2O_3, которую можно использовать в качестве раствора-расплава для синтеза магнитных порошков гексаферрита бария, поскольку проходящая в системе химическая реакция ведет к кристаллизации искомого гексаферрита бария.

Изученные аналогичным образом фазовые равновесия еще шести политермических сечений (а также политермические сечения $BaO{\cdot}0.6B_2O_3$ – $BaFe_{12}O_{19}$ и BaB_2O_4 – $BaFe_{12}O_{19}$ изучены нами ранее в [5]) позволили нам построить фазовую диаграмму псевдотройной системы B_2O_3 – BaO – Fe_2O_3 и провести ее окончательную триангуляцию. Во всех изученных системах найдены протяженные области кристаллизации гексаферрита бария, что позволило также выявить примерные границы областей кристаллизации порошка в искомой системе (рис. 2).

Как видно из построенной диаграммы состояния системы, при данных условиях гексаферрит бария совместим с боратами бария $Ba_3B_2O_6$, BaB_2O_4, BaB_2O_7 и BaB_8O_{13}. В поле, ограниченном составами $BaFe_{12}O_{19}$ – $Ba_3B_2O_6$ – BaB_2O_4, существует только одна фаза, содержащая Fe, – гексаферрит бария. В прилегающем фазовом треугольнике с более низким содержанием Ba, появляется 2 фаза, содержащая α-Fe_2O_3. Со стороны, богатой барием: $BaFe_{12}O_{19}$ – BaO – $Ba_3B_2O_6$ – железо также распределено по двум фазам: α-Fe_2O_3 и $BaFe_2O_4$.

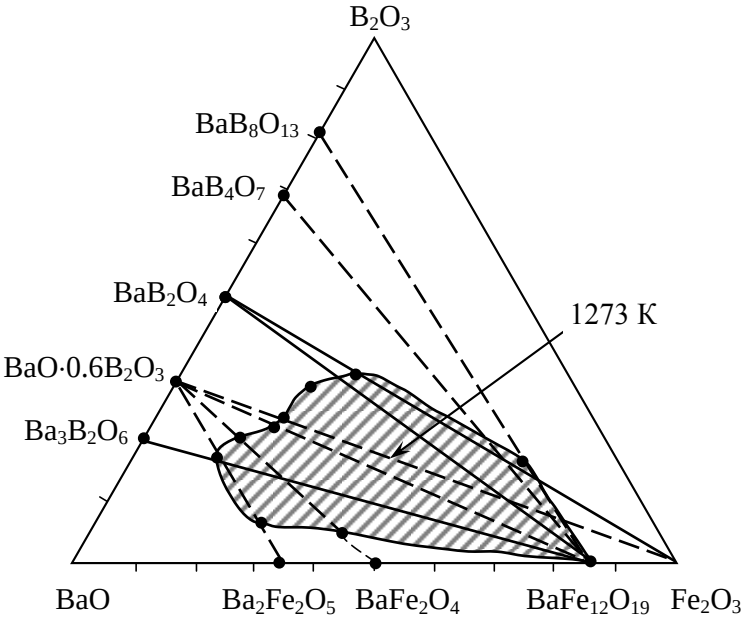


Рис. 2. Фазовая диаграмма псевдотройной оксидной системы BaO – B_2O_3 – Fe_2O_3 (схема триангуляции) при 1273 К в области существования гексаферрита бария

Сверхбыстрая (10^5-10^6 К/с) закалка подобранных составов растворов-расплавов для синтеза кристаллитов бария, между вращающимся со скоростью 1000 об/мин медными каландрами и последующий отжиг аморфного материала при 800 °С в течении 3-4 часов приводит к получению субмикронных магнитных кристаллитов со средним размером зерна 0,1-0,3 мкм. Таким образом, наноразмерный кристаллит на основе гексаферрита бария может быть получен только при закалке и термообработке оксидных стеклообразующих растворов-расплавов.

Список литературы

1. *Генералов М.И. Балохнин П.В., Таразов П.Г. и др.* // Оптимизация лечебно-диагностической тактики при онкологических заболеваниях: Материалы научно-практической конференции с международным участием 7-8 июня 2006 г. Арг. - С. 405-407.
2. *Toyoda T., Kitagawa K., Yamawahi K. etal* // J. Ceramic Society of Japan. 2004-112/ №5 – P.1455-1458.
3. *Летюк Л.М., Журавлев Г.И.* Химия и технология ферритов/ Л.: Химия. 1988. 251С.
4. *Slocceari G.* Phase equilibrium in the subsystem $BaO{\cdot}Fe_2O_3$ – $BaO{\cdot}6Fe_2O_3$//J. Amer. Ceram. Soc. 1973. V56 №9. P.489-490.
5. *Л.М. Витинг, В.В. Хасанов и др.* // Вестник МГУ. 2000, сер.2. – 41. №1 – с.37-38.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (05.02.00)

05.02.00

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

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

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ВЕТРОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ С ГИДРОПРИВОДОМ И ТРУБОПРОВОДА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СКОРОСТИ ВЕТРА И КОЛИЧЕСТВА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В статье предложено модернизировать технологический процесс циркуляции смазочно-охлаждающих средств, необходимых для работы металлообрабатывающих станков машиностроительного предприятия, путем введения ветродвигателя вместо электродвигателя с целью экономии электроэнергии. Рассмотрена работа ветронасосной установки с гидроприводом, используемой для подачи загрязненной жидкости в фильтры. Путем построения кривой потребного напора и характеристики насоса найдена рабочая точка. Исследованы различные положения этой точки при изменении скорости ветра и количества потребителей.

Ключевые слова: *технологический процесс, циркуляция смазочно-охлаждающих средств, машиностроительное предприятие, потребный напор, характеристика насоса, рабочая точка.*

Рассмотрим технологический процесс циркуляции смазочно-охлаждающих средств. Циркуляцию жидкости в этом процессе обеспечивают электродвигатели. С экономической точки зрения выгодно заменить электродвигатели на ветродвигатели. Так как ветер дует не всегда и с непостоянной скоростью, то полностью отказываться от электродвигателей нельзя. Они будут использоваться в те промежутки времени, когда скорость ветра будет недостаточна для обеспечения процесса циркуляции смазочно-охлаждающих технологических средств. Переключения системы циркуляции на потребление энергии от ветродвигателей вместо электродвигателей и наоборот будет производить система автоматического управления [1].

В целях подачи воды или загрязненной жидкости в трубопровод предлагается ветронасосная установка с гидроприводом, схема которой показана на рис. 1.

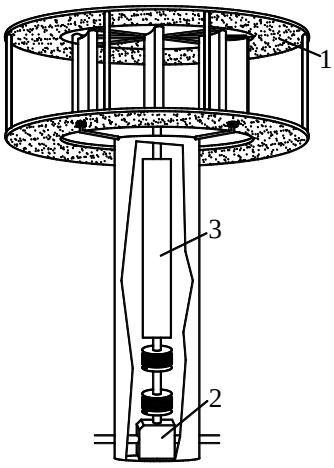


Рисунок 1 – Схема ветронасосной установки с гидроприводом:
1 – ветродвигатель; 2 – центробежный насос; 3 – гидропривод

Здесь используется центробежный насос, так как работа пластинчатого насоса на воде или загрязненной жидкости вызывает коррозию или ведет к быстрому изнашиванию рабочих поверхностей статора и пластин насоса.

Соединить напрямую вал ветродвигателя 1 с валом центробежного насоса 2 невозможно. Ветер дует с переменной скоростью и при снижении скорости ветра ниже некоторого уровня частота вращения вала насоса станет такой малой, что давление насоса станет меньше необходимой нам величины. Это связано с тем, что для получения высоких давлений с помощью центробежного насоса требуется большая частота вращения рабочего колеса [2]. Гидропривод позволяет повысить скорость вращения рабочего колеса насоса 2 (см. рис. 1) до необходимого уровня.

Рассмотрим совместную работу ветронасосной установки с гидроприводом и трубопровода. Это возможно лишь в режиме обеспечения подачи жидкости в трубопровод ветронасосной установкой.

Построим кривую потребного напора трубопровода и характеристику центробежного насоса и найдём рабочую точку А (см. рис. 2).

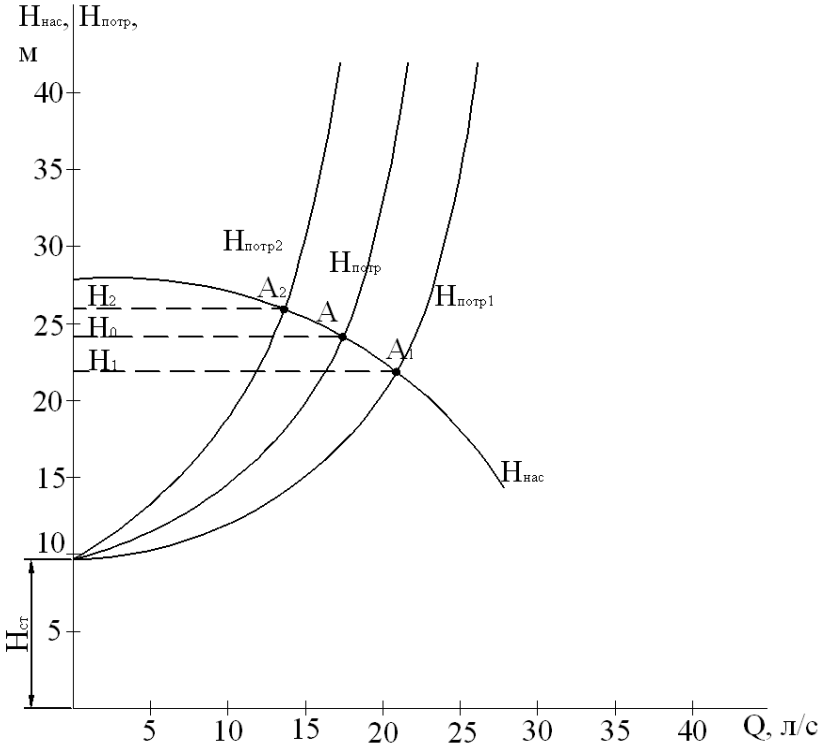


Рисунок 2 – Графическое нахождение рабочей точки при изменении числа потребителей в случае использования ветронасосной установки с гидроприводом.

Пусть в течение некоторого промежутка времени скорость ветра постоянна. При увеличении числа потребителей кривая потребного напора примет вид $H_{потр1}$ а при уменьшении числа потребителей $H_{потр2}$ [3]. При увеличении числа потребителей рабочая точка из положения А переместится в положение A_1 и напор упадёт до уровня H_1. Из рисунка видно, что это падение напора составляет не более 10% от значения H_0. При уменьшении числа потребителей рабочая точка из положения А переместится в положение A_2 и напор повысится до уровня H_2. Но это падение напора также составляет не более 10% от значения H_0.

Пусть в течение некоторого промежутка времени количество потребителей не изменяется. При изменении скорости ветра изменяется и скорость вращения ротора гидромотора.

Частота вращения ротора гидромотора вычисляется по формуле [3]:

$$n_г = (V_{он}/V_{ог})\eta_о n_н, \quad (1)$$

где $V_{он}$ - рабочий объём насоса, $n_н$ - частота вращения ротора насоса, $V_{ог}$ -рабочий объём гидромотора, $\eta_о$ - объёмный КПД гидропривода, $n_г$ - частота вращения ротора гидромотора.

Можно показать, что момент $M_н$, который необходимо приложить к ротору насоса для достижения давления $P_{нас}$, и возникающий при этом момент $M_г$ на валу гидромотора определяются по формулам[4] :

$$M_н = \frac{1}{\eta_н}\left(\frac{V_{он}}{2\pi} P_{нас} - \frac{AP_{нас}^2}{\mu\omega} \right), \quad (2)$$

$$M_г = M_н \frac{\eta_{тр}\eta_н\eta_г V_{ог}}{V_{он}} + \frac{P_{нас}^2 \eta_{тр}\eta_г V_{ог}}{\mu\omega V_{он}}\left(A + A_г \frac{\eta_{тр}}{\eta_о} \right), \quad (3)$$

где $P_{нас}$ – перепад давлений в насосе, $\eta_н$ – КПД насоса, μ – динамическая вязкость жидкости, ω – угловая скорость ротора насоса ($\omega = 2\pi n_н$), A – постоянная, зависящая от конструкции насоса, $\eta_г$ – КПД гидромотора, $\eta_{тр}$- гидравлический КПД гидропривода, $A_г$ – постоянная, зависящая от конструкции гидромотора, $\eta_о$ - объемный КПД гидропривода.

Из формул (1), (2) и (3) видно, что при уменьшении скорости ветра частота вращения ротора гидромотора $n_г$ уменьшается за счет уменьшения момента $M_н$ (т. к. для сохранения $M_г$ при уменьшении $M_н$ - необходимо уменьшать $V_{он}$ согласно формуле (3) в силу малости второго слагаемого) и за счет уменьшения частоты $n_н$.

Следовательно, при падении скорости ветра уменьшается скорость вращения ротора гидромотора гидропривода 3 (см. рис. 1).

Построим вновь кривую потребного напора трубопровода и характеристику насоса и определим рабочую точку А (см. рис. 3).

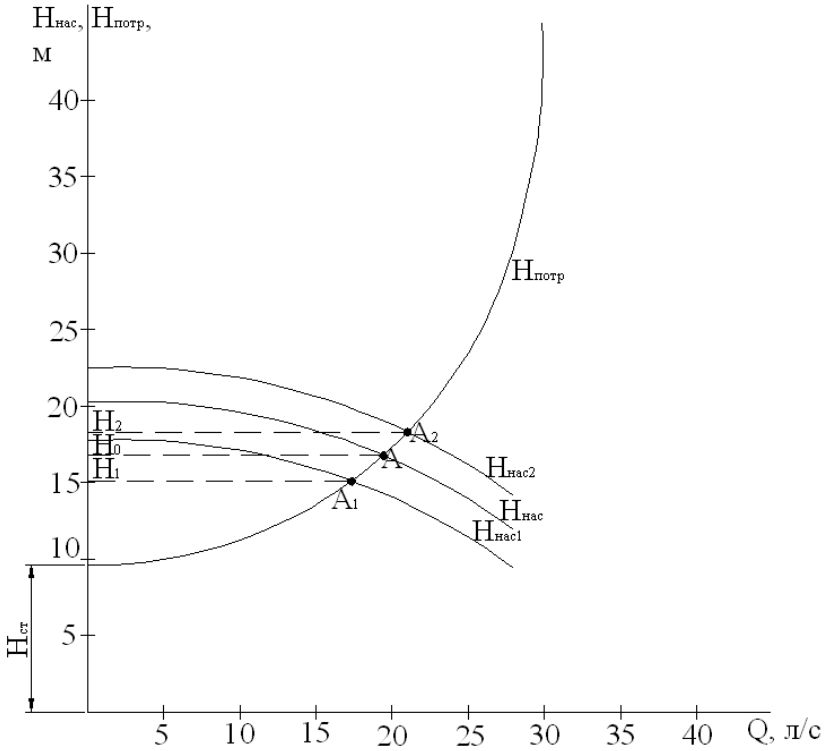


Рисунок 3 - Графическое нахождение рабочей точки при изменении скорости ветра в случае использования ветронасосной установки с гидроприводом

При уменьшении скорости ветра характеристика центробежного насоса 2, изображённого на рис. 1 примет вид $H_{нас1}$ и рабочая точка переместится влево из положения А в положение A_1 .При этом напор упадёт до уровня H_1. При увеличении скорости ветра характеристика центробежного насоса примет вид $H_{нас2}$ и рабочая точка переместится вправо из положения А в положение A_2. При этом напор повысится до уровня H_2. Но эти изменения напора составляют не более 10% от значения H_0.

Мы показали, что при использовании ветронасосной установки с гидроприводом и центробежным насосом изменение количества потребителей и изменение скорости ветра вызывает несущественное изменение напора. В данном случае это достигается за счёт малой крутизны характеристики центробежного насоса и, следовательно, необходимости в установке переливного клапана нет.

При анализе влияния изменения скорости ветра и количества потребителей на совместную работу ветронасосной установки с гидроприводом и трубопровода использовались работы [14, 31, 48].

Список литературы

1. Ерофеев, А.А. Теория автоматического управления / Ерофеев А. А. – СПб.: Политехника, 2001. – 302 с.

2. Башта Т.М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика / Башта Т. М. – М.: Машиностроение, 1972. – 320 с.

3. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта [и др.]. – М. : Машиностроение, 1982. – 423 с.

4. Фардеев А.Р. Устойчивость работы автоматической системы подачи жидкости, используемой в технологическом процессе циркуляции и регенерации смазочно-охлаждающих средств с применением ветронасосных установок // Социально-экономические и технические системы: Исследование, проектирование, оптимизация http://elibrary.ru/item.asp?id=15620647 – 2010. – №1. – С. 18-25.

05.02.00

В.В. Харьков

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
факультет пищевой инженерии, кафедра оборудования пищевых производств,
Казань, v.v.kharkov@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛО– И МАССООБМЕНА ПРИ КОНЦЕНТРИРОВАНИИ СОКОВ В ВИХРЕВОЙ КАМЕРЕ

Предлагается методика математического моделирования тепло– и массообмена в вихревой камере для концентрирования соков. Модель основана на динамике испаряющихся капель жидкости в закрученном потоке газа. На примере яблочного сока исследовано влияние кратности рециркуляции жидкости в вихревой камере на степень концентрирования конечного продукта.

Ключевые слова: *вихревая камера, моделирование, испаряющаяся капля, концентрирование, сок.*

В настоящее время закрученное движение газа и жидкости привлекают все более пристальный интерес исследователей. Это обусловлено тем, что многие технические приложения в энергетическом, теплообменном и технологическом оборудовании нефтеперерабатывающей, химической, аэрокосмической, пищевой и других промышленностях — все базируются на основных закономерностях закрученных потоков. В технических устройствах закрутка потока, т.е. придание потоку вращательного движения с помощью различных закручивающих устройств, способствует масштабному воздействию на все параметры поля течения, а, следовательно, и интенсификации процессов тепло– и массообмена.

Двухфазные закрученные газожидкостные потоки несмотря на широкое распространение до сих пор остаются недостаточно изученными.

Актуальной задачей при разработке перспективных вихревых устройств является детальное изучение гидроаэродинамической структуры вращающихся потоков, осложненной тепло– и массообменом для выбора оптимальных вариантов геометрии контура камеры и оптимальных рабочих режимов. В работе [1] выполнено исследование механизма образования взвешенного вращающегося капельного слоя в вихревой камере для концентрирования фруктовых и овощных соков с учетом закономерностей гидро– и аэродинамики закрученного двухфазного течения.

Целью данной работы является моделирование тепломассообмена в вихревой камере для научного обоснования эффективности и надежности ее работы.

Расчет аппарата вихревого типа при концентрировании продукта с известными свойствами основывается на материальном и тепловом балансах и на условии, что необходимое время испарения, обусловленное кинетикой процесса, должно обеспечиваться конструкцией камеры, определяемой гидродинамическими закономерностями в аппарате. Достаточным условием окончания процесса концентрирования является достижение требуемого конечного содержания сухих веществ в продукте.

В расчете принято определенное правило относительно обозначений компонентов систем. При описании системы «паровоздушная смесь–сок» составляющие обозначены через «газ (Г)» и «жидкость (Ж)». В свою очередь, параметры паровоздушной смеси для обозначения сухого воздуха выделяются надстрочным индексом «′», а водяного пара «″».

Основными элементами исследуемой вихревой камеры являются (рис.1): рабочая цилиндрический емкость с тангенциально–лопаточным завихрителем потока греющего газа, система распределения газа и трубчатый кольцевой ороситель, узел окончательного разделения жидкости и газа, охлаждающая рубашка [2].

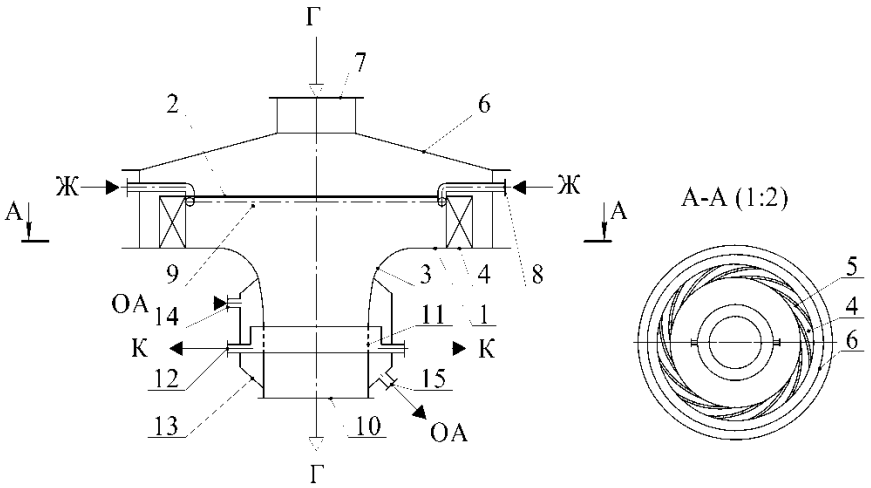


Рис. 1 — Схема вихревой камеры для концентрирования соков

Ж — исходный сок; Г — греющий газ; ОА — охлаждающий агент; К — концентрат; 1 — корпус; 2 — крышка; 3 — днище; 4 — тангенциальный завихритель; 5 — лопасти завихрителя; 6 — газораспределительное устройство; 7 — патрубок ввода греющего газа; 8 — патрубок ввода исходного сока; 9 — кольцевой распределитель жидкости; 10 — патрубок выхода газа; 11 — щелевой отсекатель; 12 — сливные карманы; 13 — охлаждающая рубашка; 14, 15 — технологические патрубки ввода и вывода охлаждающего агента

Концентрирование проводится в условиях интенсивного перемешивания обеих фаз в односекционной вихревой камере, так что наилучшим образом реальной гидроаэродинамической обстановке в ней отвечает модель идеального перемешивания, т. е. будем считать концентрацию водяного пара и температуру газа постоянной по поперечному сечению аппарата.

В камеру входит (рис. 2) L_{m_1} кг продукта влагосодержанием X_1 и энтальпией $i_ж$, G_m кг сухой части воздуха энтальпией i_1' и $G_m X_1$ кг водяного пара энтальпией i_1''. Масса сухой части воздуха G_m при прохождении через камеру не изменяется.

Из камеры удаляется L_{m_2} кг продукта влагосодержанием X_2 и энтальпией $i_ж$, G_m кг сухой части воздуха энтальпией i_2' и $G_m X_2$ кг водяного пара энтальпией i_2''.

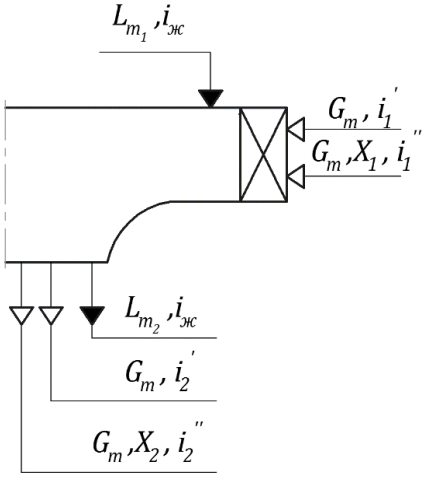


Рис. 2 — Расчетная схема потоков в вихревой камере

1 — на входе; 2 — на выходе

Материальный баланс вихревой камеры запишется как

$$G_m + G_m X_1 + L_{m_1} = G_m + G_m X_2 + L_{m_2}, \quad (1)$$

и после простых преобразований имеем

$$G_m X_1 - G_m X_2 = L_{m_2} - L_{m_1}. \quad (2)$$

Соотношение массовых расходов по жидкости на входе и выходе из аппарата через массу капель можно оценить по формуле:

$$\frac{L_{m_2}}{L_{m_1}} = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 \frac{\rho_{ж_2}}{\rho_{ж_1}}, \quad (3)$$

где a — диаметр капли; $\rho_ж$ — плотность жидкости.

Введем обозначение для отношения диаметров капли до и после концентрирования

$$\delta = \frac{a_2}{a_1}. \quad (4)$$

Перепишем выражение (3) относительно L_{m_1} с учетом (4)

$$L_{m_2} = L_{m_1}\delta^3\, \rho_{ж_2}/\rho_{ж_1}. \quad (5)$$

С учетом полученного уравнения (5) зависимость для конечного влагосодержания газовой фазы X_2 из баланса (2) можно выразить как

$$X_2 = X_1 + \frac{L_{m_1}}{G_m}\left(1 - \frac{\rho_{ж_2}}{\rho_{ж_1}}\delta^3\right). \quad (6)$$

Обозначим отношение массовых расходов на входе в рабочую камеру через Λ

$$\Lambda = \frac{L_{m_1}}{G_m + G_m X_1} = \frac{L_{m_1}}{G_m}\frac{1}{1 + X_1}, \quad (7)$$

откуда

$$\frac{L_{m_1}}{G_m} = \Lambda(1 + X_1). \quad (8)$$

Таким образом влагосодержание паровоздушной среды в камере определяется зависимостью

$$X_2 = X_1 + \Lambda(1 + X_1)\left(1 - \frac{\rho_{ж_2}}{\rho_{ж_1}}\delta^3\right). \quad (9)$$

Одним из основных показателей производительности конвекционного аппарата для концентрирования является количество испаренной влаги:

$$W = L_{m_2} - L_{m_1} = G_m(X_2 - X_1). \quad (10)$$

Расход воздуха на процесс

$$G_m = \frac{W}{X_2 - X_1}. \quad (11)$$

Расход теплоносителя в кг на испарения 1 кг жидкости

$$l = \frac{G_m}{W}. \quad (12)$$

Для упрощения рассматриваем аппарат без потерь подводимого тепла, т.е. где тепло в рабочей камере расходуется непосредственно на испарение влаги. Тепловой баланс конвективной камеры с закрученным потоком теплоносителя (рис. 2) можно записать в виде:

$$G_m i_1' + G_m X_1 i_1'' + L_{m_1} i_ж = G_m i_2' + G_m X_2 i_2'' + L_{m_2} i_ж, \quad (13)$$

разделив на G_m, и после перегруппировки членов получим

$$(i_1' - i_2') + X_1 i_1'' - X_2 i_2'' = \frac{L_{m_2} - L_{m_1}}{G_m} i_ж. \quad (14)$$

После подстановки (5), (8) и (9) в уравнение (14) и группировки по одинаковым членам имеем

$$(i_1' - i_2') + X_1(i_1'' - i_2'') = \Lambda(1 + X_1)\left(1 - \delta^3\frac{\rho_{ж_2}}{\rho_{ж_1}}\right)(i_2'' - i_ж). \quad (15)$$

В уравнении теплового баланса оперирование энтальпией объясняется тем, что процесс термического удаления влаги обычно близок к процессу при постоянном давлении, а в изобарном процессе количество тепла равно количеству энтальпии. Выразим разность энтальпий по формулам

$$i_1 - i_2 = \overline{c_p}\ (t_1 - t_2) \quad (16)$$

причем для фазового перехода

$$i_2'' - i_ж = r^* - \overline{c_p} t^* \quad (17)$$

где r — удельная теплота парообразования; $\overline{c_p}$ — средняя теплоемкость, рассчитывается при

температуре $(t - t_s)/2$.

Подставляя (16) и (17) в соотношение (15) и после преобразований, получим выражение для вычисления температуры паровоздушной среды в аппарате

$$t_2 = \frac{t_1\left(\overline{c_p}' + X_1\overline{c_p}''\right) - \Lambda(1 + X_1)(1 - \delta^3\frac{\rho_{ж2}}{\rho_{ж1}})(r^* - \overline{c_p}t^*)}{\Lambda(1 + X_1)\left(1 - \delta^3\frac{\rho_{ж2}}{\rho_{ж1}}\right)\overline{c_p} + \overline{c_p}' + X_1\overline{c_p}''}. \quad (18)$$

При работе вихревой камеры без рециркуляции жидкости вся жидкая фаза с начальной концентрацией сухих веществ однократно взаимодействует с греющим газом и выводится из камеры с конечной концентрацией.

При работе камеры с рециркуляцией жидкости (рис. 3), прошедшая через рабочую зону камеры жидкость попадает в циркуляционный контур, и, смешиваясь со свежей исходной жидкостью, вновь поступает в аппарат. По рециркуляционной схеме содержание сухих веществ в поступающей жидкости c_0, выше, чем без рециркуляции c_1. При помощи рециркуляции, можно интенсифицировать процесс концентрирования в камере и увеличить конечную концентрацию сухих веществ.

Кратность циркуляции жидкой фазы определяется выражением

$$К_ж = \frac{L_{m_ц}}{L_{m_1}}, \quad (19)$$

где $L_{m_ц}$ — массовый расход циркуляционной жидкости.

Уравнение материального баланса непрерывного процесса для всего контура циркуляции, охватывающего всю камеру имеет вид:

$$L_{m_1}c_1 + L_{m_ц}c_2 = L_{m_0}c_0, \quad (20)$$

где L_{m_0} и c_0 — массовый расход жидкости и массовая концентрация сухих веществ на входе в камеру с учетом рецикла.

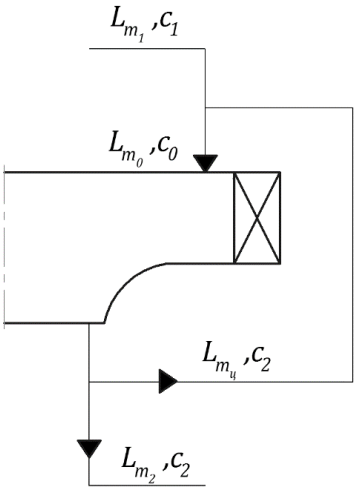


Рис. 3 — Расчетная схема вихревой камеры с контуром рециркуляции

Массовый расход жидкости с учетом нагрузки по циркуляционному контуру определяется как

$$L_{m_0} = L_{m_1} + L_{m_1}К_ж = L_{m_1}(1 + К_ж). \quad (21)$$

С учетом выражений (19) и (21) из уравнения материального баланса (20) можно определить концентрацию сухих веществ на входе в камеру, работающую по рециркуляционной схеме

$$c_0 = \frac{c_1 + К_ж c_2}{1 + К_ж}. \quad (22)$$

Критерием степени концентрирования является коэффициент концентрирования, рассчитываемый исходя из абсолютной массовой концентрации сухих веществ в концентрированном соке и в исходном соке

$$e = \frac{c_2}{c_1}. \tag{23}$$

Коэффициент концентрирования также можно записать как

$$e = \frac{L_{m_1}}{L_{m_2}} = \frac{a_1^3}{a_2^3}\frac{\rho_{ж_1}}{\rho_{ж_2}}. \tag{24}$$

Приравнивание выражений (23) и (24) и учитывание циркуляции ($c_1 = c_0$) позволяет выразить зависимость для определения конечного диаметра капли, соответствующему конечной концентрации сухих веществ, и, следовательно, требуемой степени концентрирования

$$a_2 = a_1\left(\frac{\rho_{ж_1}}{\rho_{ж_2}}\frac{c_0}{c_2}\right)^{1/3}. \tag{25}$$

Долю растворимых сухих веществ плодоовощных соков, изначально составляющую от 5 до 20% концентрированием можно увеличить до 40–75%. В промышленности для оптовой торговли и в качестве сырья для производства соков и практически любых готовых сокосодержащих продуктов производятся так называемые «соки неполного концентрирования» с содержанием сухих веществ 50% и «соки полного концентрирования» — 60 и 70%. Причем концентрированный продукт с концентрацией сухих веществ 70% отличается повышенной химической и микробиологической стабильностью.

Для примера, на рисунке 4 показаны кривые, соответствующие массовой доли растворимых сухих веществ яблочного сока прямого отжима на входе в рабочую зону камеры при степенях концентрирования 50, 60 и 70% в зависимости от кратности циркуляции жидкости, полученные из выражения (22). При отсутствии внешней циркуляции сока $c_0 = c_1 = 9{,}5\%$. Полученные значения c_0 необходимы для расчета требуемого конечного диаметра капли по формуле (25) и, как следствие, окончания процесса концентрирования.

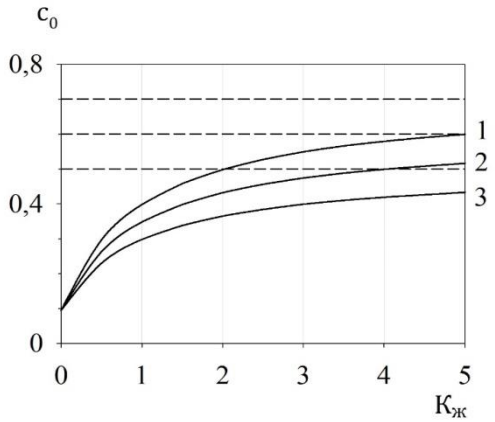


Рис. 4 — Зависимость начальной концентрации сухих веществ сока от кратности циркуляции при c_2: 1 — 70%, 2 — 60%, 3 — 50%

Движение капли в неподвижной цилиндрической системе координат в вихревой камере описывалось системой уравнений [3]:

$$\begin{cases} \dfrac{dV_r}{d\tau} = \dfrac{V_\varphi^2}{r} + \dfrac{3}{4}\dfrac{\rho_г}{\rho_ж}c_a\dfrac{V_{отн}}{a}(W_r - V_r);\ \dfrac{dr}{d\tau} = V_r \\ \dfrac{dV_\varphi}{d\tau} = -\dfrac{V_r V_\varphi}{r} + \dfrac{3}{4}\dfrac{\rho_г}{\rho_ж}c_a\dfrac{V_{отн}}{a}\left(W_\varphi - V_\varphi\right);\ \dfrac{d\varphi}{d\tau} = \dfrac{V_\varphi}{r}, \\ \dfrac{dV_z}{d\tau} = g + \dfrac{3}{4}\dfrac{\rho_г}{\rho_ж}c_a\dfrac{V_{отн}}{a}(W_z - V_z);\ \dfrac{dz}{d\tau} = V_z \end{cases} \tag{26}$$

где r, φ, z — цилиндрические координаты; V_r, V_φ, V_z — компоненты вектора абсолютной скорости капли; W_r, W_φ, W_z — компоненты вектора скорости газа; c_a — коэффициент лобового сопротивления капли; τ — время; $V_{отн} = \sqrt{(W_r - V_r)^2 + \left(W_\varphi - V_\varphi\right)^2 + (W_z - V_z)^2}$ —

относительная скорость капли.

В случаях, когда сопротивление массопередаче оказывает газовая фаза, система дифференциальных уравнений (26) может быть использована для описания динамики одиночной испаряющейся капли, но при анализе движении следует учитывать, что диаметр капли уменьшается со временем согласно уравнению массоотдачи:

$$dm_к = \beta_y F_к (y_s - y) d\tau, \quad (27)$$

где $m_к$ — масса капли; $F_к$ — площадь поверхности капли, y_s — равновесная концентрация водяного пара у поверхности капли; y —концентрация водяного пара в газе на бесконечно большом расстоянии от капли.

Для включения выражения (27) в систему уравнений (26) предварительно требуется выразить его через зависимость для изменения диаметра капли

$$\frac{da}{d\tau} = -2\frac{\beta_y}{\rho_ж}(y_s - y). \quad (28)$$

Все физические свойства паровоздушной смеси, обтекающей каплю, следует определять при осредненных величинах:

– при средней концентрации пара в диффузионном пограничном слое:

$$y_{ср} = \frac{y + y_s}{2}, \quad (29)$$

– при средней температуре в тепловом пограничном слое у капли:

$$t_{ср} = \frac{t + t_s}{2}; \quad (30)$$

где t, t_s— температура пара воды газовой смеси вне пограничного слоя и на поверхности капли соответственно.

Считаем, что температура жидкости внутри капли везде одинакова и в каждый момент времени определяется мгновенным значением радиуса. Также полагаем, что тепло, переданное от паровоздушной смеси к жидкости, не расходуется на нагрев последней, и полностью затрачивается на испарение с ее поверхности. На последней, являющейся межфазной поверхностью, термодинамическое равновесие устанавливается намного быстрее, чем в объеме, и характеризуется равенством скорости теплоотдачи явлением конвекции к поверхности жидкой фазы и скорости массоотдачи от поверхности

$$\beta_y r_s (y_s - y) = \alpha(t - t_s), \quad (31)$$

где β_y — коэффициент массоотдачи; α — коэффициент теплоотдачи.

Выражение (31) используется для расчета температуры поверхности испаряющихся капель t_s, а поскольку она не может быть выражена в явном виде, то для ее нахождения в расчетах используется метод деления отрезка на две части.

В случае движения капель небольшого размера процессы переноса тепла и массы в сплошной фазе рассматривают квазистационарными, полагая, что время релаксации, т.е. время, в течение которого устанавливается стационарное распределение полей концентрации и температур в пограничном слое, пренебрежимо мало по сравнению с полным временем процесса испарения. Кинетику тепло– и массообмена можно выразить по уравнению Фресслинга через соответствующие им соотношение безразмерных параметров: критерия Нуссельта Nu и критерия Шервуда Sh

$$\mathrm{Nu} = 2 + b\mathrm{Re}^{1/2}\mathrm{Pr}^{1/3}, \quad \mathrm{Sh} = 2 + b\mathrm{Re}^{1/2}\mathrm{Sc}^{1/3}. \quad (32)$$

где b — ветровой множитель, показывающий насколько относительное движение сплошной среды ускоряет процессы испарения и теплоотдачи, согласно опытам Ранца и Маршалла по испарению капель воды [4] b = 0,6; $\mathrm{Nu} = \alpha a/\lambda_г$, $\mathrm{Sh} = \beta_у a/D_г$ — определяемые критерии Нуссельта и Шервуда; $\mathrm{Pr} = c_p\mu_г/\lambda_г$, $\mathrm{Sc} = \nu_г/D_г$, $\mathrm{Re} = \mathrm{a}V_{отн}/\nu_г$ — определяющие числа Прандтля, Шмидта и Рейнольдса соответственно; $\lambda_г$, $\mu_г$, $\nu_г$ — теплопроводность, динамическая и кинематическая вязкости газа соответственно; $D_г$ — коэффициент молекулярной диффузии газа.

Физические параметры, входящие в критериальные уравнения такие как теплопроводность, вязкость, теплоемкость, коэффициент диффузии определяются при средней температуре $t_{\text{ср}}$; теплота парообразования и концентрация насыщенного водяного пара вблизи поверхности капли y_s рассчитывались при температуре на поверхности капли t_s.

В исследовании [5] доказано, что затраты теплоты на испарение свободной и связанной влаги из плодоовощных соков по сравнению с табличными значениями теплоты парообразования чистой воды с ее открытой поверхности увеличиваются менее чем на 2%, т.е. при процессе концентрирования соков уменьшение удельного содержания свободной воды происходит наряду с уменьшением содержания связанной, и влиянием последней можно пренебречь. Поэтому при расчете установки для концентрирования соков используется аппроксимация справочных данных температурной зависимости теплоты парообразования чистой воды в следующем виде:

$$r_s = 2430(1 - \frac{t_s}{374})^{0,31}. \quad (33)$$

На основании уравнений Клапейрона и Дальтона равновесная мольная доля пара вблизи поверхности капли Y^* равняется отношению упругости пара воды на поверхности капли p_s к общему парциальному давлению паровоздушной смеси P:

$$Y^* = \frac{p_s}{P}, \quad (34)$$

где Y^* в моль/моль, p_s и P в мм.рт.ст.

Для нахождения упругости насыщенного пара воды p_s в состоянии равновесия, т.е. при условии равенства химических потенциалов, температуры и давления для обеих фаз, применяется простая модификация уравнения Клапейрона — эмпирическое трехпараметрическое уравнение Антуана:

$$\ln p_s = A - \frac{B}{(t_s + 273.15) + C}, \quad (35)$$

где A, B, C — справочные константы, полученные путем аппроксимации экспериментальных данных для паров чистого компонента, для водяного пара [6]:

$$\ln p_s = 18,3 - \frac{3816,44}{T_s - 46.13}. \quad (36)$$

Средняя теплоемкость газа рассчитывается по правилу аддитивности по массе, а средняя плотность — по правилу аддитивности по объему. Для определения теплоемкости при постоянном давлении для компонентов греющего газа используется аппроксимированная зависимость справочных данных в виде:

$$c_p' = b_1' e^{b_2' t_{\text{ср}}}, c_p'' = b_1'' e^{b_2'' t_{\text{ср}}}, \quad (37)$$

где коэффициенты для сухого воздуха $b_1' = 1040$, $b_2' = 0.113 \cdot 10^{-3}$; для водяного пара $b_1'' = 1840$, $b_2'' = 0.259 \cdot 10^{-3}$ [7].

Для вычисления динамической вязкости и теплопроводности паровоздушной смеси при атмосферном давлении применяется формула Уилки [8], которая не содержит численных эмпирических констант, и требуют только молекулярные массы и коэффициенты соответствующих физических величин индивидуальных компонентов, которые рассчитываются по закону Сазерленда. Для определения коэффициента конвективной диффузии в бинарной газовой смеси используется эмпирическая корреляционная зависимость по методу Фуллера, Шлеттера и Гиддингса [9].

В итоге, полученная математическая модель позволяет описывать поведение движения испаряющейся капли в закрученном потоке газа и пригодна для дальнейшего численного исследования в широком диапазоне расчетных параметров и режимов работы вихревой камеры для определения оптимальных значений.

Список литературы

1. *Харьков, В.В.* Особенности создания взвешенного капельного слоя в вихревой камере для концентрирования соков / В.В. Харьков, А.Н. Николаев // Теплообмен и гидродинамика в закрученных потоках: материалы пятой международной конференции, 19–22 октября 2015 г., г. Казань / Министерство образования и науки РФ, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Российская академия наук, Национальный комитет по тепло– и массообмену РАН, Академия наук РТ, ООО «Наука-Сервис-Центр». — Санкт-Петербург: Свое издательство, 2015. — С. 76—77.

2. Вихревая камера для концентрирования жидких пищевых продуктов в закрученном газовом потоке: пат. 156401 Рос. Федерация: МПК51 B01D 1/14 / В.В. Харьков, А.Н. Николаев; заявл. и патентообладатель В.В. Харьков, А.Н. Николаев. — № 2015105533/05; заявл. 18.02.2015; опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31. — 2 с.

3. *Харьков, В.В.* Разработка и исследование аппарата вихревого типа для концентрирования фруктовых соков / В.В. Харьков, А.Н. Николаев // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — Т. 17. — № 14. — С. 445—448.

4. *Ranz, W.E.* Evaporation from Drops. Part II / W. E. Ranz, W. R. Marshall // Chem. Eng. Progr. — 1952. — Vol. 48. — № 4. — P. 173—180.

5. *Снежкин, Ю.Ф.* Измерение затрат теплоты на испарение в процессе концентрирования яблочного сока / Ю.Ф. Снежкин, Е.В. Гусарова, Н.В. Дмитренко, Л.В. Декуша, Л.И. Воробьев // Научные работы Одесской национальной академии пищевых технологий. — 2015. — Т. 2. — № 47. — С. 26—29.

6. *Рид, Р.* Свойства газов и жидкостей / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд; перевод с англ. под ред. Б.И. Соколова. — Л.: Химия, 1982. — 592 с.

7. *Никольский, Б.П.* Справочник химика. В 3 т. Т. 1. Общие сведения. Строение вещества. Свойства важнейших веществ. Лабораторная техника / Б.П. Никольский. — М.–Л.: Химия, 1966. — 1072 с.

8. *Wilke, C.R.* A Viscosity Equation for Gas Mixtures / C.R. Wilke // The Journal of Chemical Physics. — 1950. — Vol. 18. — № 4. — P. 517—519.

9. *Fuller, E.N.* A New Method for Prediction of Binary Gas-Phase Diffusion Coefficients / E.N. Fuller, P.D. Schettler, J.C. Giddings // Ind. Eng. Chem. — 1966. — Vol. 58. — № 5. — P. 18—27.

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

05.11.13

А.А. Кузнецов

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

КОМПЛЕКСИРОВАННЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ИЗНОСА И ТЕМПЕРАТУРЫ ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В статье рассмотрены принципы построения волоконно-оптических датчиков износа и температуры (ВОДИТ) трущихся поверхностей на основе брэгговских структур (БС) различного типа. В отличие от существующих разработанные ВОДИТ являются комплексированными и способны одновременно измерять температуру по сдвигу центральной длины волны лазерного излучения, отраженного БС, и величину износа – по изменению ее длины. При разрешении интеррогатора по длине волны в 2 пм разрешающая способность ВОДИТ по температуре составит 0,2 °С. Погрешность измерения величины износа определяется стабильностью амплитудных параметров лазерного излучения и составляет доли микрометров.

Ключевые слова: *трущиеся поверхности, комплексированные волоконно-оптические датчики, брэгговские структуры, износ, температура.*

Введение. Уменьшение длины изделия вследствие износа возникает в случае фрикционного контакта деталей, например, в электродвигателях такими узлами могут выступать щетки, в автомобилях – тормозные колодки и т.д. Определение величины износа в этих случаях является необходимым для безопасной эксплуатации оборудования. Проведенный анализ показал, что на практике существуют лишь раздельные методы определения износа и температуры [1]. В данной работе также показано, что, основываясь на принципах структурной минимизации сенсорных сетей [2], комплексированным можно считать ВОД на торец волокна которого, расположенный в изделии, нанесен переизлучающий материал – фосфор. При этом приемная аппаратура устройства способна различать спектральные (температура) и амплитудные (износ) изменения в отклике с датчика. В результате проведенных исследований был получен патент [3], в котором сложный и экологически опасный люминофорный датчик заменен на ВОДИТ на основе БС – классической волоконной брэгговской решетки (ВБР). Метод съема информации основан на зондировании датчика полигармоническим зондирующим излучением с обработкой информации по огибающим разностных частот между его компонентами [4-8]. Цель данной работы рассмотреть возможность применения в разработанном ВОДИТ фазированных БС [9] типа ВБР с фазовым π-сдвигом и интерферометра Фабри-Перо (ИФП) на основе двух ВБР.

Спектральные характеристики ВБР с фазовым π-сдвигом и ИФП на базе двух ВБР. Предложенный метод основывается на широко известной зависимости центральной длины волны ВРБ λ_{FBG} от температуры и редко используемой связью длины ВРБ L с ее откликом [1].

Зависимость центральной длины волны отражения ВРБ от температуры:

$$\lambda_{FBG} = 2n_{eff}\Lambda \times \left[\frac{1}{\Lambda}\frac{\partial\Lambda}{\partial T} + \frac{1}{n}\frac{\partial n}{\partial T}\right]\Delta T, \quad (1)$$

где n_{eff} – эффективный показатель преломления, Λ – период ВРБ, ΔT – изменение температуры. Типовое значение смещения длины волны ~ 0,01 нм/°С.

Профиль спектра отражения ВРБ в зависимости от длины ВРБ L и расстройки δ:

$$R = \frac{\sinh^2\left[\kappa L\sqrt{1-(\delta/\kappa)^2}\right]}{\cosh^2\left[\kappa L\sqrt{1-(\delta/\kappa)^2}\right]-(\delta/\kappa)^2}, \quad (2)$$

где κ – коэффициент связи падающей и отраженной волны, (δ/κ) – относительная расстройка, которая для ВРБ с периодом Λ определяется как: $\delta = \Omega - (\pi/\Lambda)$, где $\Omega = 2\pi n_{eff}/\lambda$.

Огибающую спектра ВБР с фазовым π-сдвигом по пропусканию можно определить, как:

$$T(\lambda) = \gamma^4 / \left(\Delta\beta^2 \begin{bmatrix} \Delta\beta^2\cosh^2(\gamma L) + \gamma^2\sinh^2(\gamma L) - \\ -2\kappa^2\cosh(\gamma L) + \kappa^4 \end{bmatrix}\right), \quad (3)$$

где γ, $\Delta\beta$ – волновые амплитудные и фазовые параметры решетки, в которых учитываются общая длина решетки L и длины отрезков решетки l и l' до и после месторасположения фазового сдвига $\Delta\varphi$, равного в нашем случае π.

При исследованиях эффективный показатель преломления n_{eff} основной моды был выбран 1,5. Период решетки был выбран таким образом, чтобы для невозмущенной сердцевины резонансная длина волны Брэгга λ_{FBG} соответствовала 1500 нм. Начальная длина решетки L была выбрана равной 20 мм, $l = l'$=10 мм. При износе ВБР до получения одной унитарной решетки без фазового сдвига волновое соотношение на длине волны Брэгга соответствовало $k_{FBG}L = 0.38$.

Огибающую спектра ИФП на базе двух ВБР по отражению можно определить, как:

$$R(\lambda) = \left[(\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2})^2 + 4\sqrt{R_1R_2}sin^2(\tfrac{\varphi}{2})\right] / \left[(1 - \sqrt{R_1R_2})^2 + 4\sqrt{R_1R_2}sin^2(\tfrac{\varphi}{2})\right], \quad (4)$$

где $R_{1,2}$ – коэффициент отражения соответственно первой и второй ВБР; $\varphi = 4\pi n\Delta l/\lambda$; Δl – расстояние между ВБР; λ – длина волны.

Отметим, что температурные соотношения (1) сохраняются для всех видов БС, спектральные характеристики которых отражены в (2)-(4), что показано в [8]. Учтем также, что они сохраняются и при изменении общей длины БС L. Изменение фактора $k_{FBG}L$ при изменении общей длины БС L приводит лишь к уширению спектра БС, а изменение Δl, l и l' – к изменению амплитуды окон прозрачности и отражения соответственно в ВБР с фазовым π-сдвигом и ИФП на базе двух ВБР.

Спектральные характеристики БС и измерительные характеристики ВОДИТ. На рис. 1,*а* представлена начальная спектральная характеристика по отражению ВБР с фазовым π-сдвигом при условном «нулевом» износе трущейся поверхности, в которую она встроена. На рис. 1,*б* показана спектральная характеристика по отражению ИФП на базе двух ВБР на границе износа одного из плеч интерферометра.

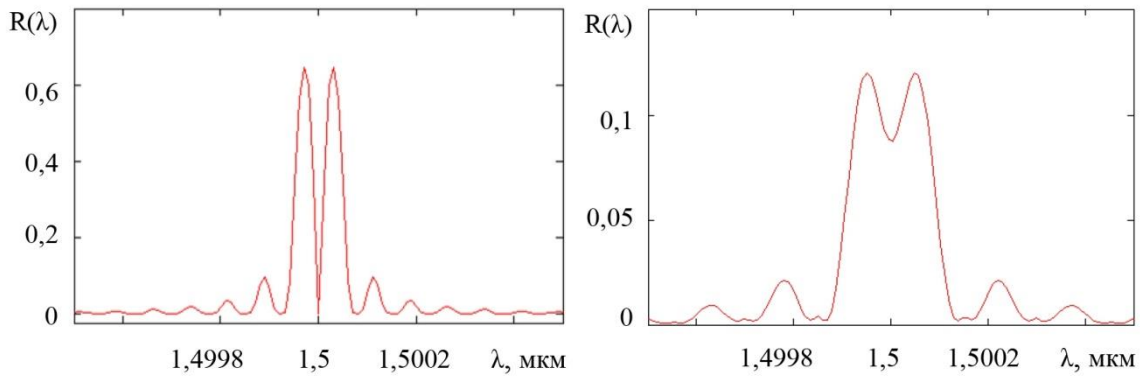


Рис. 1 – Спектральные характеристики БС:
а – ВБР с фазовым π-сдвигом при нулевом износе, *L*=20 мм;
б – ИФП на базе двух ВБР при практически полном износе одного из плеч инфтерферометра *L*=11 мм

Спектральные характеристики приведенных БС близки друг другу и отличаются шириной окон прозрачности и отражения. Характерные величины для ИФП составляют 0,05 нм, для фазированной ВБР – 5 пм.

При износе зоны между решетками в ИФП и зоны фазового сдвига в ВБР спектральные характеристики БС приобретают форму одинарной классической ВБР. Дальнейший износ БС выражается в уменьшении коэффициента отражения и увеличении ширины решетки [1]. На рис. 2,*а* показана характеристика уменьшения коэффициента пропускания окна прозрачности ВБР с фазовым π-сдвигом при одностороннем износе решетки от полной длины. На рис. 2,*б* представлены зависимости изменения коэффициента отражения (*R*) и ширины спектра (*r*) (по уровню 3 дБ) при изменении длины одинарной ВБР, оставшейся после износа зоны фазового сдвига. Полученные расчетным путем характеристики были подтверждены экспериментально на установке, представленной в [1].

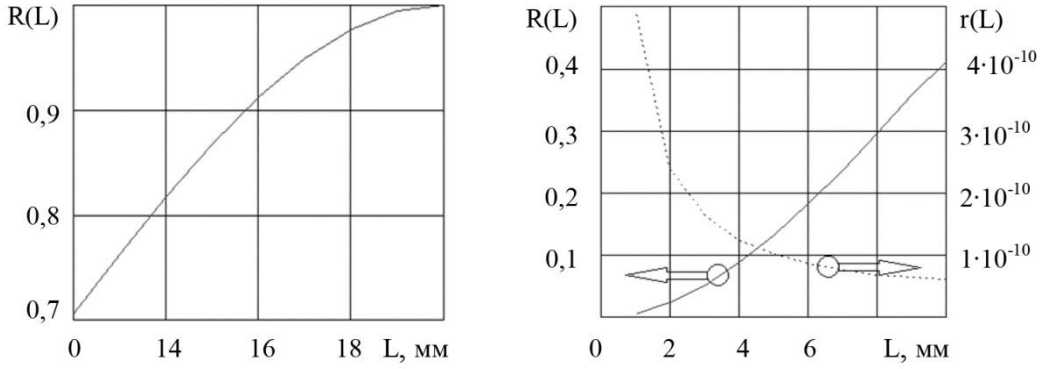


Рис. 2 – Изменение параметров спектральных характеристик БС:
а – коэффициент пропускания ВБР с фазовым π-сдвигом при износе;
б – коэффициента отражения (*R*) и ширина спектра (*r*) ИФП

Оптическое волокно в акриловом покрытии работоспособно до температур в +150°С, с полиимидным – до +300°С. Нижняя граница диапазона рабочих температур обозначена, но не ограничена, значением в минус 60°С. Поскольку температура определяется по сдвигу брэгговской длины волны БС, разрешающая способность и погрешность измерения ВОДИТ по температуре определяется параметрами используемого интеррогатора. При разрешении интеррогатора по длине волны в 2 пм разрешающая способность ВОДИТ по температуре из (1) составит 0,2°С.

Измерение величины износа может быть осуществлено либо по амплитудным характеристикам отраженного от БС лазерного излучения, либо по спектральным характеристикам, для чего необходимо определить уширение спектра БС на определенной зафиксированной величине. В первом случае погрешность измерения будет определяться величиной младшего разряда АЦП в системе регистрации. Во втором случае – эта величина будет определяться погрешностью интеррогатора. В обоих случаях достижимо измерение величины износа в десятые доли микрон.

При этом для зондирования БС используются полигармонические излучения, структура которых должна быть адаптивна с учетом изменения форм спектральных характеристик БС на различных стадиях износа.

Заключение. В работе описан комплексированный ВОДИТ трущейся поверхности, в основе работы которого лежит мультипликативный отклик встроенных в нее ВРБ с фазовым π-сдвигом или ИФП на базе двух ВРБ по спектральным и амплитудным характеристикам отраженного от указанных БС лазерного излучения на изменение ее износа и температуры. В основе метода сбора информации с ВОДИТ лежат адаптивные методы полигармонического зондирования БС. Разрешающая способность ВОДИТ по температуре составляет 0,2 °С, а погрешность измерения величины износа ±0,1 микрометра.

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РФ в рамках госзадания КНИТУ-КАИ (программа «Радиофотоника», З.1962.2014/К).

Список литературы

1. *Морозов О.Г., Нуреев И.И., Сахабутдинов А.Ж. и др.* Волоконно-оптические датчики износа и температуры трущихся поверхностей // Фотон-экспресс. 2015. № 6 (126). С. 210-211.
2. *Куревин В.В., Морозов О.Г., Просвирин В.П. и др.* Структурная минимизация волоконно-оптических сенсорных сетей экологического мониторинга // Инфокоммуникационные технологии. 2009. Т. 7. № 3. С. 46-52.
3. *Морозов О.Г., Нуреев И.И., Сахабутдинов А.Ж. и др.* Устройство для измерения величины износа и температуры изделия при трении // Патент РФ № 2557577. 2015. Бюл. № 21. С. 210-211.
4. *Морозов О.Г., Айбатов Д.Л., Садеев Т.С.* Синтез двухчастотного излучения и его применения в волоконно-оптических системах распределенных и мультиплексированных измерений // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2010. Т. 13. № 3. С. 84-91.
5. *Морозов О.Г., Айбатов Д.Л., Просвирин В.П. и др.* Амплитудно-фазовые методы формирования зондирующих излучений для систем анализа волоконно-оптических структур // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. № 3. С. 119-124.
6. *Morozov O.G., Aibatov D.L.* Two-frequency scanning of FBG with arbitrary reflection spectrum // Proc. of SPIE. 2007. V. 6605. P. 660506.
7. *Морозов О.Г., Насыбуллин А.Р., Веденькин Д.А. и др.* Двухчастотный метод определения параметров резонансных датчиков СВЧ-диапазона // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. № 1 (20). С. 76-86.
8. *Куприянов В.Г., Морозов О.Г., Нуреев И.И. и др.* Маломодовое зондирование датчиков на основе волоконных решеток Брэгга // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 322-325.
9. *Алюшина С.Г., Денисенко П.Е., Морозов О.Г. и др.* Волоконные решетки брэгга с фазированной структурой в распределенных информационно-измерительных системах // Нелинейный мир. 2011. Т. 9. № 8. С. 522-528.

05.11.00

Г.Р. Таирова, Ю.Б. Томус

Альметьевский государственный нефтяной институт, факультет энергетики и автоматики, кафедра автоматизации и информационных технологий, Альметьевск, tgr.gvv@gmail.com

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ СЫРОЙ НЕФТИ АНАЛИЗОМ ПРОБ, ВЛАГОМЕТРИЕЙ И ПЛОТНОСТНЫМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ

В статье представлена сравнительная оценка погрешностей определения влагосодержания сырой нефти в результате анализа проб сырой нефти, полученных автопробоотборником, данных влагометрии и плотностных измерений сырой нефти и ее компонентов.

Ключевые слова: *отбор пробы, сырая нефть, погрешности, автопробоотборник.*

На сегодняшний день многие нефтяные компании все больше внимания начинают уделять точному учету количества и качества добываемых ими нефтепродуктов. Создаются документы внутреннего и государственного ранга, обязывающие уделять еще больше внимания проблеме автоматического отбора проб сырой нефти из трубопроводов автоматическими пробоотборниками с целью определения массовых долей воды, хлористых солей, механических примесей и других параметров. В соответствии с международным стандартом ИСО 3171-88 «Нефтепродукты жидкие. Автоматический отбор проб из трубопроводов» для получения достоверных проб сырой нефти необходимо выполнять следующее: пробы, отобранные из трубопровода, должны иметь такой же состав, как и усредненный состав нефти по всему поперечному сечению трубопровода в месте и в момент отбора этих проб; представительность пробы должна сохраняться в течении всего периода откачки нефти; проба должна оставаться представительной при хранении и транспортировке нефти; при разделении пробы на порции представительность должна сохраняться [1]. Чтоб выполнялось первое условие нужно, чтоб соблюдалось условие изокинетичности в месте отбора проб по площади поперечного сечения трубопровода. Вторым условием, является, пропорциональность частоты отбора проб расходу нефти в трубопроводе, где достоверность возрастает пропорционально квадратному корню частоты отбора проб. Для выполнения третьего условия, принимаются меры от утечки легких фракций из сырой нефти. Четвертое условие – это разделение каждой пробы на ряд порций, которые будут гарантировать представительность каждой пробы. Основным документом при рассмотрении вопроса о автоматическом отборе проб сырой нефти из трубопроводов является ГОСТ 2517-85 «Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб», в котором заложены состав оборудования для отбора проб и сама методика отбора. Независимо от способа отбора пробы нужно обеспечить изокинетичность потоков в месте отбора и основном трубопроводе, отсутствие изменений направления движения потока перед пробоотбором. Ещё один из немаловажных факторов, это производимый отбор пробы, и чем дальше он от устья скважины, тем выше вероятность непредсказуемости содержания компонентов в потоке на данный момент. Важно и время отбора проб, т.к. наилучшие результаты будут получаться, если пробы будут отбираться через равные объемы перекачиваемой жидкости. Также собранная с особой тщательностью объединенная проба, должна обеспечивать сохранность включенных в нее компонентов при хранении и транспортировке. Рассмотрим существующие на сегодняшний день автоматические пробоотборники.

1. Автоматический пробоотборник серии «Мавик». Состоит из зонда-пробоотборного, крана-манипулятора, дозатора, привода, баллона, блока программного управления. Пробоотборный зонд установлен непосредственно в трубопроводе и представляет собой стержень с вертикальным глухим пазом вставленным в трубку с вертикальной прорезью. Стержень приводом вращается относительно трубки. Забор пробы происходит при

совмещении паза и прорези. При дальнейшем вращении приводом стержня и поводка крана-манипулятора проба через каналы крана-манипулятора передаётся в дозатор пробоотборника и далее из дозатора в баллон. За раз отбирается 10 см3. Баллон вмещает 3000 см3 объединённой пробы. Имеет электрический привод. Отбор проб осуществляется по программе, задаваемой с блока программного управления, через определённые интервалы времени. В данной схеме пробоотбора просматривается много пунктов не соответствующих основным принципам пробоотбора. Основной недостаток в том, что в зоне забора пробы образуется глухой паз и происходит изменение направления потока, т.е. не выполняется условие изокинетичности потока, постоянная кинематика, не должны изменяться скорость, ускорение и направление.

2. Автоматический пробоотборник серии «Стандарт». В частности на байпасной линии, которую отбор жидкости производится щелевым пробозаборником, установлен диспергатор с заборной трубкой и задвижка. Заборная трубка, в свою очередь, образует следующий контур - от заборной трубки к крану-манипулятору и далее обратно в байпасную линию. К этому к этому же контуру отсоединён вентиль с баллоном для ручного отбора проб. Отбор проб в автоматическом режиме происходит при положении крана-манипулятора обеспечивающего соединение обводного контура с камерой дозатора. При последующем соединении дозатора с баллоном происходит слив пробы в баллон. За раз пробоотборник способен отбирать от 2 до 20 см3. Баллон вмещает 3000 см3. Пробоотборник имеет электрический привод. Может отбирать пробы в двух режимах: режиме «время» и в режиме «объём». Данные пробоотборники значительно превосходят по показателям пробоотборники серии «Мавик», так как в них отбор пробы происходит как бы на третьей линии (первая - основной трубопровод, вторая – байпасная линия). Как обеспечить во всех трех линиях изокинетичность, однородность потока и пропорциональное соответствие не понятно. Ошибки образующие при отборе проб из байпасной линии накладываются на ошибки образующиеся при заборе части потока из основного трубопровода.

3. Автоматический пробоотборник АПЭ-М2. Состоит из основных частей: пробоотборного устройства, гидроцилиндра, пневмодросселя, бачка, резервуара, ножного насоса, кранов. Пробоотборное устройство отбирает рабочую жидкость (масло АМГ-10) из надпоршневого пространства гидроцилиндра в резервуар, при этом в подпоршневом пространстве, при открытых кранах и пневмодросселе происходит накопление пробы отбираемого продукта. По окончании отбора пробы рабочая жидкость вытесняется из резервуара в надпоршневое пространство гидроцилиндра сжатым воздухом, подающимся через штуцер ножным пневмонасосом, а отобранная жидкость из подпоршневого пространства вытесняется в бачок. Для получения лучшей представительности пробы с помощью задвижки создается перепад давления, необходимый для движения жидкости по линии отбора проб. Объёме точечной пробы от 4 до 10 см3. Объём объединённой пробы 3000 см3 при этом в пробоотборнике может храниться две объединённые пробы без слива. Может отбирать пробы в двух режимах: режиме «время» и в режиме «объём». Данный пробоотборник имеет те же недостатки как пробоотборники серии «Стандарт» т.к. отбор проб производится на той же «третьей линии». Отличительная особенность в том, что объединённая проба в пробоотборнике хранится под тем же давлением, что и в магистрали. Рассмотрев различные варианты пробоотборных систем как отечественного производства можно сказать, что отечественная промышленность значительно отстала в данном вопросе. Для получения представительной объединенной пробы нефти необходимо выполнить требования действующего ГОСТ 2517-85, где погрешность отбора не учитывается [2]. В связи с тем, что объединенная проба составляется из суммы точечных проб, которые отбираются пробоотборником за определенный промежуток времени перекачки нефти, возникает погрешность отбора проб за счет дискретности отбора точечных проб. На самом деле, погрешность отбора проб нефти за счет дискретного отбора точечных проб, зависит от статистических характеристик процесса изменения во времени влагосодержания нефти за период измерений количества нефти и частоты отбора проб. Составляющая погрешности

влагосодержания по результату анализа заданного числа точечных проб, получаемых автоматическим пробоотборником, определяется соотношением:

$$\Delta c = \overline{W}_m - \overline{W}_n \qquad (1)$$

где $\overline{W}_p$ - среднее значение влагосодержания нефти, измеренное влагомером и принято за действительное среднее значение влагосодержания нефти за отчетный период % об.доли; $\overline{W}_m$ - среднее значение влагосодержания объединенной пробы нефти, которое определяется по заданному числу точечных проб нефти (m), отобранных автопробоотборником за отчетный период, % об.доли. Среднее же значение влагосодержания нефти $\overline{W}_n$ можно определить по формуле:

$$\overline{W}_n = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i}{n} \qquad (2)$$

где W_i - среднее значение случайной функции влагосодержания $W(t)$ в каждой точке n, измеренное влагомером за интервал времени $0-t$.

Среднее значение влагосодержания объединенной пробы нефти W_m можно определить, если наложить все точки за отчетный период на график случайной функции $W(t)$. По этому графику находят влагосодержание каждой точке m (точечная проба) и находят среднее значение влагосодержания нефти V_n:

$$\overline{W}_m = \frac{\sum_{j=1}^{m} W_j}{m} \qquad (3)$$

где W_j - значение содержания воды в нефти в каждой точке m случайной функции $W(t)$,%.

В итоге, составляющая погрешности отбора проб нефти за счет дискретного отбора точечных проб, высчитывается по формуле (1), и зависит только от характера случайного процесса изменения содержания воды в нефти и от числа n отобранных точечных проб. Так как случайная функция $W(t)$ характеризуется процессами изменения погрешности влагомера, здесь важно отметить отсутствие влияния погрешностей влагомера на систематическую погрешность отбора проб Δc. Погрешность влагомера представим:

$$\Delta_{BM} = \theta + \varepsilon \qquad (4)$$

где θ - систематическая составляющая погрешности измерений влагомера; ε - случайная составляющая погрешности измерений влагомера.

Представим среднеt значения влагосодержания нефти $\overline{W}_n$:

$$\overline{W}_n = \overline{W}_{no} + \frac{\sum_{i=1}^{n} \theta_{B(i)}}{n} + \frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{B(i)}}{n} \qquad (5)$$

где $\overline{W}_{no}$ - среднее значение влагосодержания нефти без учета погрешности влагомера, % об.доли; $\theta_{B(i)}$- систематическая составляющая погрешности влагомера, % об.доли; $\varepsilon_{B(i)}$ - случайная составляющая погрешности влагомера, % об.доли.

Таким образом, систематическая составляющая погрешности отбора проб нефти за счет дискретного отбора точечных проб, которая вычисляется по формуле (1), зависит только от характера случайного процесса изменения влагосодержания нефти и от числа m отобранных точечных проб. Ещё одним методом определения влагосодержания нефти по плотности компонентов водонефтяной смеси является нормативный документ ISO 10790 «Измерение расхода текучей среды в закрытых каналах. Руководство по выбору, установке и использованию измерительных приборов Кориолиса» [3]. Суть метода заключается в измерении плотности сырой нефти и вычислении влагосодержания по известным значениям плотности обезвоженной нефти и воды. Метод определения влагосодержания по плотности хорош тем, что позволяет непосредственно определять массовую долю воды в нефти. Согласно ISO 10790, массовую долю воды в нефти определяют по формуле:

$$W_{MB} = \frac{100 \cdot \rho_B(\rho_{CH} - \rho_H)}{\rho_{CH}(\rho_B - \rho_H)} \qquad (6)$$

где W_{MB} - массовая доля воды в сырой нефти, %; ρ_{CH} - плотность сырой нефти, кг/м^3; ρ_H - плотность обезвоженной нефти, кг/м^3; ρ_B - плотность пластовой воды, кг/м^3.

Чтобы использовать формулу (6), необходимо плотности привести к одинаковым условиям, а именно к температуре измерения плотности сырой нефти. Плотность обезвоженной нефти приводят к условиям измерения плотности сырой нефти по формуле [4]:

$$\rho_H = \frac{\rho_{H.ИЗМ}}{CTL_{15}} \cdot CTL \qquad (7)$$

где $\rho_{H.ИЗМ}$ - плотность обезвоженной нефти, измеренная при температуре $t_{H.ИЗМ}$, кг/м^3; CTL_{15} - поправочный коэффициент учитывающий влияние температуры на плотность нефти, определенный для температуры измерения плотности обезвоженной нефти, вычисляемой по формуле:

$$CTL_{15} = \exp - \beta_{15} \cdot (t_{H.ИЗМ} - 15) \cdot 1 + 0{,}8 \cdot \beta_{15} \cdot (t_{H.ИЗМ} - 15) \qquad (8)$$

$$\beta_{15} = \frac{613{,}9723}{\rho^2 15} \qquad (9)$$

где ρ_{15} - плотность обезвоженной нефти, приведенная к 15 ^{0}С, определяют по таблицам МИ 3276; $t_{H.ИЗМ}$ - температура измерения плотности обезвоженной нефти, ^{0}С; CTL – поправочный коэффициент, учитывающий влияние температуры на плотность нефти, определенный для температуры измерения плотности сырой нефти, вычисляемый по формуле:

$$CTL = \exp - \beta_{15} \cdot t_{H.ИЗМ} - 15 \cdot 1 + 0{,}8 \cdot \beta_{15} \cdot t_{H.ИЗМ} - 15 \qquad (10)$$

где $t_{H.ИЗМ}$ - температура измерения плотности сырой нефти, ^{0}С.

Плотность пластовой воды приводят к условиям измерения плотности сырой нефти по формуле:

$$\rho_B = \rho_{B.ИЗМ} \cdot 1 + \beta_B \cdot t_{B.ИЗМ} - t_{CH.ИЗМ} \qquad (11)$$

где $\rho_{B.ИЗМ}$ - плотность воды, измеренная при температуре $t_{B.ИЗМ}$, кг/м^3; β_B - коэффициент объемного расширения воды, 1/^{0}С; $t_{B.ИЗМ}$ - температура измерения плотности пластовой воды, ^{0}С; $t_{CH.ИЗМ}$ - температура измерения плотности сырой нефти, ^{0}С.

Для определения плотности сырой нефти используют несколько способов измерений: по поточному плотномеру, по каналу измерения плотности массомера, в лаборатории. Поточный плотномер дорог, канал измерений плотности массомера не поверяется, его нельзя использовать для измерений. Для измерений плотности сырой нефти в лаборатории необходимо разработать и аттестовать методику измерений. На рисунке 1 представлены зависимости абсолютной погрешности определения массовой доли воды в сырой нефти от значения массовой доли воды. Были рассмотрены три случая: в первом задавались погрешности измерений плотности Δp_{CH}=1 кг/м^3, $\Delta p_H = \Delta p_B$=0,5 кг/м^3, во втором случае Δp_{CH}=2 кг/м^3, Δp_H=4 кг/м^3, Δp_B=1 кг/м^3, в третьем - Δp_{CH}=1 кг/м^3, Δp_H=1 кг/м^3, Δp_B= 1 кг/м^3, плотность обезвоженной нефти принимали равной 880 кг/м.

Для выявления влияния на общую погрешность определения влагосодержания данным методом величины плотности были построены графики общей погрешности для разных плотностей обезвоженной нефти. Для расчета этих зависимостей ($\Delta W_{MB1}(1)$, $\Delta W_{MB2}(2)$, $\Delta W_{MB3}(3)$) применялась абсолютная погрешность измерений плотности сырой нефти, равная 1,0 кг/м^3, и абсолютные погрешности измерений плотности обезвоженной нефти и плотности пластовой воды - 0,5 кг/м^3. Зависимости построены для трех плотностей обезвоженной нефти: 850, 900 и 950 кг/м^3, в связи с тем что на разных месторождениях эта плотность может быть различной и может сказаться на погрешности исследуемого метода. Расчетные

зависимости представлены на рисунке 2. График показывает, что до значения плотности обезвоженной нефти, равного 900 кг/м3, погрешность определения влагосодержания остается приемлемой. При плотности обезвоженной нефти 950 кг/м3 использование метода измерений влагосодержания по плотности приводит к такой погрешности, что результат измерений практически теряет смысл.

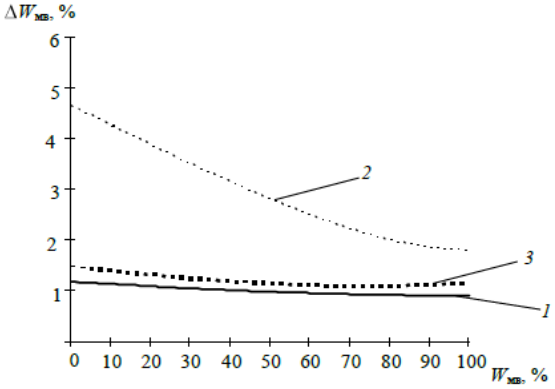


Рисунок 1. Абсолютные погрешности определения массовой доли воды в нефти $\Delta W_{MB1}(1)$, $\Delta W_{MB2}(2)$, $\Delta W_{MB3}(3)$, при различных погрешностях измерений плотностей сырой нефти, нефти и воды.

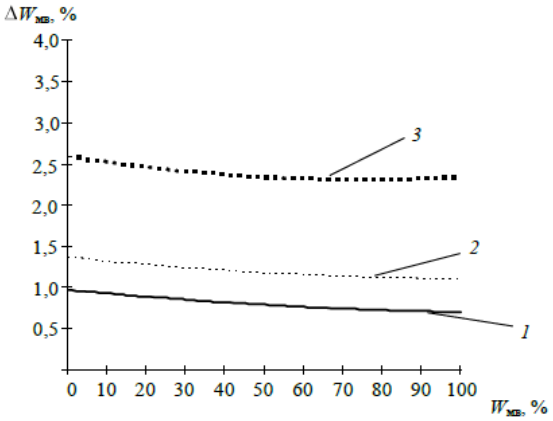


Рисунок 2. Абсолютные погрешности определения массовой доли воды в нефти $\Delta W_{MB1}(1)$, $\Delta W_{MB2}(2)$, $\Delta W_{MB3}(3)$, при плотности обезвоженной нефти 850, 900 и 950 кг/м^3, соответственно.

В заключении можно сделать следующие выводы:

1. Результаты исследования погрешности отбора проб нефти автоматическими пробоотборниками могут превышать допускаемые погрешности лабораторных методов измерения влагосодержания нефти.

2. Метод измерения влагосодержания по плотности нефти можно применять в оперативном учете нефти при условии стабильных значений плотности нефти и пластовой воды.

3. С целью уменьшения погрешности измерений массы нетто нефти необходимо измерять влагосодержание нефти поточными влагомерами.

Список литературы

1.*ИСО 3171:1988.* Нефтяные жидкости. Автоматический отбор проб из трубопровода.

2.*Т.Г Силкина, М.С. Немиров, Р.Р. Нурмухаметов*. Совершенствование методов отбора проб сырой нефти из трубопровода. – Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 4/2010. С. 10-11.

3.*ГОСТ 2517-85.* Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб.

4. *М.С. Немиров, Т.Г. Силкина, Р.Р. Газизов, Р.Р. Ибрагимов.* Теоретические и экспериментальные оценки метрологических характеристик метода измерения влагосодержания нефти по плотности компонентов водонефтяной смеси. Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 4/2010. С. 12-15.

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

05.13.18

[1]И.А. Акимов д.т.н., [2]А.И. Акимов к.т.н., [1]Е.О. Каракулина

[1]Оренбургский государственный педагогический университет,
физико-математический факультет, кафедра математического анализа и методики преподавания математики, Оренбург, akimov_ia@mail.ru
[2]Московский технологический институт «ВТУ», филиал в г. Оренбурге, кафедра Информатики и автоматизации, г. Оренбург, akimoff11@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ПЕРВОМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА НЕКОТОРЫХ ТИПОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСТАНОВКАХ ШОЛЬЦА

В данной работе представлены результаты изучения теплопередачи в многослойных изделиях прямоугольной формы на этапе предварительного разогрева, т.е. до начала процесса полимеризации.

Ключевые слова: *композиционные материалы, многослойные конструкции, полимеризация, термические сопротивления, условия сопряжения, установка Шольца, фазовый переход.*

Введение. Композиционные материалы (КМ) достаточно широко востребованы в деятельности человека. Растут и требования к их прочностным характеристикам, долговечности и возможности их использования в экстремальных условиях эксплуатации. Особенно такие требования ставятся в авиационной промышленности, космической технике, медицине.

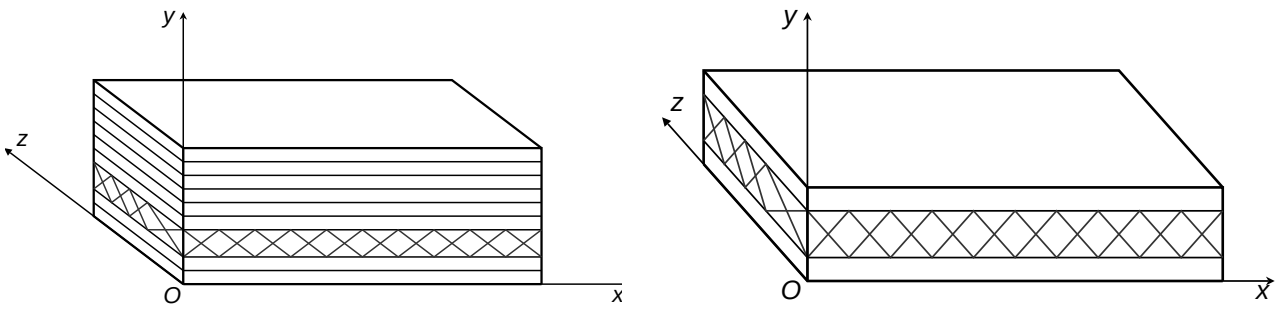
Одним из путей усовершенствования производства КМ является соблюдение определенных технических и технологических требований, учета выделения тепла при полимеризации, исключения опасных остаточных термонапряжений и деформаций.

Учет тепловыделения при полимеризации особенно актуально тогда, когда КМ изготовляются в специальных установках, где режим температуры и давления задается заранее, без учета выделения тепла и полимеризации, что вызывает изменения температурного режима производства и появления при остывании остаточных термонапряжений и деформаций.

Для устранения указанных недостатков требуются математические модели и расчеты на их основе реальных температурных процессов, которые происходят в многослойных изделиях внутри установки.

В данной работе рассматривается математическая модель первого этапа производства КМ в установках Шольца.

Изделие (обшивка пола вертолета) состоит из девяти слоев, причем крайние слои составлены из шести и двух слоев стеклоткани (т.е. исходные сырья изготавливаются в специальных установках отдельно). Средний слой состоит из сотового материала, который служит для изоляции от шума и температуры. Он изготовлен из материалов с низким коэффициентом теплопроводности. В результате, не смотря на большие тепловые потоки, они не доходят до рабочих отсеков (рисунок 1а).



а) б)

Рис.1. Схема расположения: а) девяти слоев; б) трех слоев

Цель работы. Разработка и исследование математической модели процесса теплопередачи на первом этапе производства КМ в установках Шольца.

Температура $U(x,t)$ изменяется в установках Шольца одинаково по всему объему и распределение температуры в каждом слое изделия изотропно. Поэтому достаточно рассмотреть распределение температуры со стороны двуслойной стеклоткани, т.к. температура со стороны шестислойной стеклоткани запаздывает до сотого слоя и граница полимеризации тоже будет идти быстрее со стороны двухслойной стеклоткани к сотовому слою. По направлениям y и z распределение температуры в каждом слое идентичны с направлением по оси Ox. Поэтому распределение температуры обозначим через $U(x,t)$.

Постановка и решение задачи. При сделанных выше предположениях и учитывая, что задача теплопередачи в многослойных стеклотканях с пропитанными связующими и с условиями сопряжениями приведены в работе [1], рассмотрим только систему, состоящую из трех слоев: стеклоткань, сотовый материал, стеклоткань (рисунок 1б).

Рассмотрим систему уравнений.

$$c_1\gamma_1 \frac{\partial U_1(x,t)}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 U_1(x,t)}{\partial x^2} + F_1(x,t),\ 0 < x < l_1,\ t > 0 \tag{1}$$

$$c_2\gamma_2 \frac{\partial U_2(x,t)}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 U_2(x,t)}{\partial x^2} + F_2(x,t),\ l_1 < x < l_2,\ t > 0 \tag{2}$$

$$c_3\gamma_3 \frac{\partial U_3(x,t)}{\partial t} = \lambda_3 \frac{\partial^2 U_3(x,t)}{\partial x^2} + F_3(x,t),\ l_2 < x < l,\ t > 0 \tag{3}$$

при краевых условиях

$$U_1(x,0) = U_2(x,0) = U_3(x,0) = f(x); \tag{4}$$

$$U_1(0,t) = \psi_1(t),\ U_3(l,t) = \psi_3(t); \tag{5}$$

$$U_1(l_1,t) = U_2(l_1,t);\ \lambda_1 \frac{\partial U_1(l_1,t)}{\partial x} - \lambda_2 \frac{\partial U_2(l_1,t)}{\partial x} = \varphi_1(t); \tag{6}$$

$$U_2(l_2,t) = U_3(l_2,t);\ \lambda_2 \frac{\partial U_2(l_2,t)}{\partial x} - \lambda_3 \frac{\partial U_3(l_2,t)}{\partial x} = \varphi_2(t); \tag{7}$$

где c_1, c_2, c_3, γ_1, γ_2, γ_3, λ_1, λ_2, λ_3 – теплоемкость, плотность и теплопроводность соответствующих слоев.

Используем для решения дифференциальных уравнений конечные интегральные преобразование с функцией Грина [2].

$$\overline{U_{1G}} = \int_0^{l_1} U_1(x,t) G_1(\mu_n, x) dx = \{U_1(\mu_n,t)\}_G; \tag{8}$$

$$\overline{U_{2G}} = \int_{l_1}^{l_2} U_2(x,t) G_2(\mu_n, x) dx = \{U_2(\mu_n,t)\}_G; \tag{9}$$

$$\overline{U_{3G}} = \int_{l_2}^{l} U_3(x,t) G_3(\mu_n, x) dx = \{U_3(\mu_n, t)\}_G, \tag{10}$$

где функции Грина, учитывающие условия (4)-(7), соответственно определяются выражениями

$$G_1(\mu_n, x) = A(\mu_n) \cdot \sin\left(\frac{\mu_n}{a_1} x\right), G_2(\mu_n, x) = B(\mu_n) \cdot \sin\left[\frac{\mu_n}{a_2}(l_2 - x)\right] + C(\mu_n) \cos\left[\frac{\mu_n}{a_2}(l_2 - x)\right],$$

$$G_3(\mu_n, x) = \sin\left[\frac{\mu_n}{a_3}(l - x)\right],$$

где

$$A(\mu_n) = \left\{B(\mu_n) \cdot \sin\left[\frac{\mu_n}{a_2}(l_2 - l_1)\right] + C(\mu_n) \cos\left[\frac{\mu_n}{a_2}(l_2 - l_1)\right]\right\}, B(\mu_n) = \frac{a_2}{a_3} \cdot \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \cos\left[\frac{\mu_n}{a_3}(l - l_2)\right],$$

$$C(\mu_n) = \sin\left[\frac{\mu_n}{a_3}(l - l_2)\right],$$

где $a_j = \dfrac{\lambda_j}{c_j \gamma_j}$ – температуропроводность слоев; μ_n – корни характеристического уравнения

$$1 - \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \cdot \frac{a_2}{a_3} \operatorname{ctg}\left[\frac{\mu_n}{a_2}(l_2 - l_1)\right] \operatorname{ctg}\left[\frac{\mu_n}{a_3}(l - l_2)\right] = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot \frac{a_2}{a_1} \operatorname{ctg}\left(\frac{\mu_n}{a_1} l_1\right) \cdot \left\{\operatorname{ctg}\left[\frac{\mu_n}{a_2}(l_2 - l_1)\right] + \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \cdot \frac{a_2}{a_3} \operatorname{ctg}\left[\frac{\mu_n}{a_3}(l - l_2)\right]\right\}. \tag{11}$$

Формулы обращения для преобразований (8)-(10) имеют вид

$$U_k(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \xi^2 \left[\sum_{j=1}^{3} c_j \gamma_j \cdot \{U_j(\mu_n, t)\}_G\right] G_k(\mu_n, x) \ (k = 1,2,3), \tag{12}$$

причем суммирование ведется по всем положительным корням η_n, определяемым уравнением (11). Величина x вычисляются из выражения $\xi^2 = \dfrac{1}{c_j \gamma_j \sum_{j=1}^{3} \varphi_j(\mu_n)}$.

Здесь $\varphi_1(\mu_n) = A^2(\mu_n)\left[\dfrac{l_1}{2} - \dfrac{a_1}{4\mu_n} \cdot \sin\left(2\dfrac{\mu_n}{a_1} l_1\right)\right]$;

$$\varphi_2(\mu_n) = \left[B^2(\mu_n) + C^2(\mu_n)\right] \cdot \frac{l_2 - l_1}{2} + B(\mu_n) \cdot C(\mu_n) \frac{a_2}{\mu_n} \sin^2\left(2\frac{\mu_n}{a_2}(l_2 - l_1)\right) + \frac{a_2}{4\mu_n}\left[C^2(\mu_n) - B^2(\mu_n)\right] \sin\left(2\frac{\mu_n}{a_2}(l_2 - l_1)\right);$$

$$\varphi_3(\mu_n) = \frac{l - l_2}{2} - \frac{a_3}{4\mu_n} \sin\left(2\frac{\mu_n}{a_3}(l - l_2)\right).$$

Применяя к уравнениям (1)-(3) конечные интегральные преобразования с функцией Грина, получим

$$c_1 \gamma_1 \frac{dU_{1G}}{dt} + \mu^2 c_1 \gamma_1 \overline{U_{1G}} = \left[\lambda_1 \frac{\partial U_1}{\partial x} G_1\right]_0^{l_1} - \left[\lambda_1 U_1 G_1'\right]_0^{l_1} + \{F_1\}_G; \tag{13}$$

$$c_2 \gamma_2 \frac{dU_{2G}}{dt} + \mu^2 c_2 \gamma_2 \overline{U_{2G}} = \left[\lambda_2 \frac{\partial U_2}{\partial x} G_2\right]_{l_1}^{l_2} - \left[\lambda_2 U_2 G_2'\right]_{l_1}^{l_2} + \{F_2\}_G; \tag{14}$$

$$c_3 \gamma_3 \frac{dU_{3G}}{dt} + \mu^2 c_3 \gamma_3 \overline{U_{3G}} = \left[\lambda_3 \frac{\partial U_3}{\partial x} G_3\right]_{l_2}^{l} - \left[\lambda_3 U_3 G_3'\right]_{l_2}^{l} + \{F_3\}_G; \tag{15}$$

где $\{F_k(\mu_n,t)\}_G = \int_{m_1}^{m_2} F_k(x,t)G_k dx \ (k=1,2,3)$.

Для $k=1$: $m_1=0$, $m_2=l_1$; для $k=2$: $m_1=l_1$, $m_2=l_2$; для $k=3$: $m_1=l_2$, $m_2=l$.

Если обозначить $U_G = U_{1G}+U_{2G}+U_{3G}$ и сложить уравнения (13)-(15), то получим

$$\frac{dU_G}{dt}+\mu^2 U_G = \sum_{i=1}^{3}\{F_i\}_G + \left[\lambda_1\frac{\partial U_1}{\partial x}G_1-\lambda_2\frac{\partial U_2}{\partial x}G_2\right]_{x=l_1} + \left[\lambda_2\frac{\partial U_2}{\partial x}G_2-\lambda_3\frac{\partial U_3}{\partial x}G_3\right]_{x=l_2} +$$

$$+\left[\lambda_2 U_2 G_2' - \lambda_1 U_1 G_1'\right]_{x=l_1} + \left[\lambda_3 U_3 G_3' - \lambda_2 U_2 G_2'\right]_{x=l_2} - \left[\lambda_1\frac{\partial U_1}{\partial x}G_1\right]_{x=0} + \left[\lambda_1 U_1 G'\right]_{x=0} + \left[\lambda_3\frac{\partial U_3}{\partial x}G_3\right]_{x=l} - \left[\lambda_3 U_3 G_3'\right]_{x=l}. \quad (16)$$

С учетом условий (5)-(7) и введенных выше обозначений можно показать, что

$$\left[\lambda_1\frac{\partial U_1}{\partial x}G_1-\lambda_2\frac{\partial U_2}{\partial x}G_2\right]_{x=l_1} = A(\mu_n)\sin\left(\frac{\mu_n}{a}l_1\right)\cdot\varphi_1(t);\ \left[\lambda_2\frac{\partial U_2}{\partial x}G_2-\lambda_3\frac{\partial U_3}{\partial x}G_3\right]_{x=l_2} = C(\mu_n)\cdot\varphi_2(t);$$

$$\left[\lambda_1 U_1 G_1'\right]_{x=0} = \lambda_2 A(\mu_n)\frac{\mu_n}{a_1}\psi_1(t);\ \left[\lambda_3 U_3 G_3'\right]_{x=l} = -\lambda_3\frac{\mu_n}{a_3}\psi_2(t),$$

а остальные скобки ровны нулю. Поэтому уравнение (16) перепишется так

$$\frac{dU_G}{dt}+\mu^2 U_G = \sum_{i=1}^{3}\{F_i\}_G + A(\mu_n)\sin\left(\frac{\mu_n}{a}l_1\right)\cdot\varphi_1(t) + C(\mu_n)\cdot\varphi_2(t) + A(\mu_n)\frac{\mu_n}{a_1}\psi_1 + \lambda_3\frac{\mu_n}{a_3}\psi_3(t). \quad (17)$$

Обозначим правую часть уравнения (17) через $D(t)$, будем иметь

$$\frac{dU_G}{dt}+\mu^2 U_G = D(t) \quad (18)$$

Решением полученного уравнения является $U_G = \exp(-\mu_n^2 t)\cdot\left\{M + \int_0^t D(\tau)\exp(\mu_n^2\tau)d\tau\right\}$.

Постоянная интегрирования находится из начальных условий (4)

$$M = \{U(\mu_n,0)\}_G = c_1\gamma_1\int_0^{l_1} f(x)G_1 dx + c_2\gamma_2\int_{l_1}^{l_2} f(x)G_2 dx + c_3\gamma_3\int_{l_2}^{l} f(x)G_3 dx.$$

Окончательное решение задачи найдем, осуществив обратное преобразование U_G по соотношению (12), т.е. $U_k(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty}\xi^2\cdot U_G\cdot G_k$.

Основные результаты и выводы.

1. Разработана математическая модель для изучения изменения температуры в девятислойном изделии, когда температуропроводность не у всех слоев одинакова.
2. Приведен аналитический метод решения трехслойной задачи с различными коэффициентами теплопроводности методом конечных интегральных преобразований.
3. Результаты расчетов позволяют оценить распределение температуры в зависимости от времени в каждом слое изделия на этапе его предварительного разогрева до начала полимеризации.

Список литературы

1. *Акимов, И.А.* Исследование теплопередачи многослойных цилиндрических изделиях на первом этапе производства композиционных материалов / И.А. Акимов, А.И. Акимов, Е.О. Каракулина // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 2. – С. 68-72.
2. *Михелев, А.А.* Температурное поле материала в процессе выпечки / А.А. Михелев // ИФЖ. – 1958. – Т. 1. – № 11. – С. 53–61.

05.13.18

И.А. Акимов, В.В. Тугов

Оренбургский государственный педагогический университет, физико-математический факультет, кафедра математического анализа и методики преподавания математики, Оренбург, akimov_ia@mail.ru
Оренбургский государственный университет, аэрокосмический институт, кафедра управления и информатики в технических системах, Оренбург, sau@unpk.osu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВИАКОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложена методика контроля надежности изделия из композиционных материалов, основанная на определении источников процесса деградации в технологическом процессе. Для определения источников процесса деградации использовался многофакторный анализ параметров технологического процесса для выявления степени отклонения. Выявлено влияние погрешностей на эксплуатационные характеристики изделий из композиционных материалов.

Ключевые слова: *источники процесса деградации, надежность, композиционные материалы, отказ.*

В настоящее время в промышленности широко используются композиционные материалы и изделия из них, так как они имеют существенные преимущества по сравнению с традиционно используемыми металлами и сплавами обладая уникальными упругими и прочностными свойствами, а также долговечностью работы. Особенно этот вопрос актуален для авиаконструкций, так как они работают в экстремальных условиях – повышенных и пониженных температур, высокой радиации, больших электромагнитных полях, высоких нагрузках и др. Использование таких материалов в авиаконструкциях позволяет минимизировать вес изготавливаемого изделия, повысить удельную прочность, увеличить ресурс и срок службы [1,2].

В современных условиях перед промышленными предприятиями встают вопросы связанные с обеспечением постоянно возрастающих требований к надежности материалам для авиаконструкций. Основными характеристиками надежности изделий являются вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, средняя наработка на отказ и др. [3,4,5]. Контроль надежности изделий из композиционных материалов проводится с использованием многофакторного анализа параметров технологического процесса их изготовления. В основе его лежат положения теории вероятностей и математической статистики.

Проведение анализа технологического процесса (ТП) и предварительных исследований по оценки влияния погрешности ТП на эксплуатационные характеристики композиционных материалов имеют цель выявить возможные источники процесса деградации (ИПД) – материальные носители в структуре изделий. Таким образом, необходимо разработать методику для определения ИПД в технологическом процессе, которые влияют на надежность и долговечность изделий из композиционных материалов в процессе их эксплуатации.

Сущность исследования заключается в следующем, общий деградационный процесс, развивающийся в изделии и проводящий к его отказу, декомпозируют на более мелкие потенциально возможные деградационные процессы случайной выборкой. В результате каждый полученный процесс однозначно связывают с соответствующим материальным носителем в структуре изделий – ИПД.

ИПД характеризуется случайной величиной, под которой понимается наработка на отказ, т.е. время развития деградации. Обозначим через $F_i(t)$ функцию распределения наработки изделия до отказа, а через T_i среднее время наработки на отказ. Если по результатам

контроля в изделии однозначно устанавливается наличие ИПД, то оценку вероятности безотказной работы P_i проводят по следующему выражению:

$$P_i = \frac{n_i}{n+M_i+m_i}, \quad (1)$$

где n_i – количество определенных ИПД i-го вида; n – количество изделий подвергшихся контролю; M_i – суммарное количество ИПД i-вида в m_i изделиях; m_i – количество изделий подвергшихся контролю, каждое из которых содержит больше одного ИПД i-вида.

Функция F_i, с учетом того, что при изготовлении изделия учитывается конкретный набор ИПД, представляет собой распределение минимума случайных величин

$$F_i = 1 - \prod_{j-1}[1 - F_j(t)], \quad (2)$$

при этом по полиномиальному закону распределены вероятности P_j соответствующих наборов.

Безусловная функция распределения наработки изделий до отказа определяется по формуле полной вероятности $F(t) = \sum P_i F_i(t)$. Если провести упрощающие преобразования с учетом вида полиномиальных вероятностей, то эта функция получит следующий вид

$$F(t) = 1 - \prod_{i=1}^{N+1}[1 - P_i F_i(t)], \quad (3)$$

где $F_{N+1}(t)$– распределение времени до наступления отказа из-за процесса «идеального старения», развивающегося в каждом изделии (P_{N+1}), со средним значением T_{max}.

Если известна функция распределения наработки изделия до отказа из-за «идеального старения» $F_{N+1}(t)$, то $F(t) \approx 1 - e^{-MF_0(t)} + e^{-MF_{N+1}(t)}$, где M – среднее число ИПД, которые возникают в изделии во время производства и определяется как: $M = \sum_{i=1}^{N} P_i$; $F_0(t) = \sum_{i=1}^{N} \frac{P_i}{M} F_i(t)$,

где $F_0(t)$ – распределение совокупности времен развития процессов деградации до отказа по всем ИПД, каждый из которых учитывается с вероятностью, равной его доле в общем количестве ИПД, потенциально возможных в условиях данного конкретного производства.

Оценки вероятностей P_i не должны превышать 0,2-0,3.

Параметр M и функция $F_0(t)$ не зависят от способа классификации ИПД.

По результатам контроля параметров технологического процесса могут быть оценены значения параметров распределения наработки до отказа изделий M и $F_0(t)$, это способствует разработке методов косвенного контроля надежности изделий в ходе их изготовления по результатам входного контроля, пооперационного технологического контроля и контроля информативных параметров готовых изделий.

Экспериментальные исследования проводились на базе Кумертауского авиационного производственного объединения при изготовлении лонжеронов лопастей вертолетов из композиционных материалов. По экспериментальным и статистическим данным составлена таблица 1 номенклатуры ИПД и вероятность появления i-го ИПД.

Таблица 1 - Номенклатура ИПД и вероятность появления i-го ИПД

№	Наименование ИПД	Характер процесса	T_i, ч	p_i	$p_i/\sum p_i$
1	Растяжение лонжерона по длине	Потеря функциональных характеристик	100	0,005	0,089
2	Межслоевой сдвиг	Сдвиг центровочных грузов	300	0,015	0,268
3	Непроклей, расслоение между листами	Уменьшение прочности лонжерона	1000	0,001	0,018
4	Ударная вязкость	Хрупкость и деформация	1200	0,012	0,214
5	Трещины на материале	Поломка	1600	0,004	0,071
6	Крутка лонжерона	Вибрация	1700	0,008	0,0143
7	Наплывы связующего на внешней поверхности лонжерона	Уменьшение функциональных характеристик	1950	0,006	0,107
8	Побеление от механических воздействий	Ухудшение прочностных свойств	2400	0,005	0,089

Проведем контроль надежности лонжерона лопасти по двум показателям: «интенсивность отказов» и «средняя наработка на отказ».

Для определения первого показателя строим ступенчатую эмпирическую функцию распределения $\overline{F_0(t)}$ по данным таблицы 1 и проводим ее аппроксимацию гладкой функцией $F_0(t)$.

В рассматриваемой задаче приемлемой является линейная аппроксимация (см. рис.1), т.е. $F_0(t)=t/T_{MAX}=t/3000$.

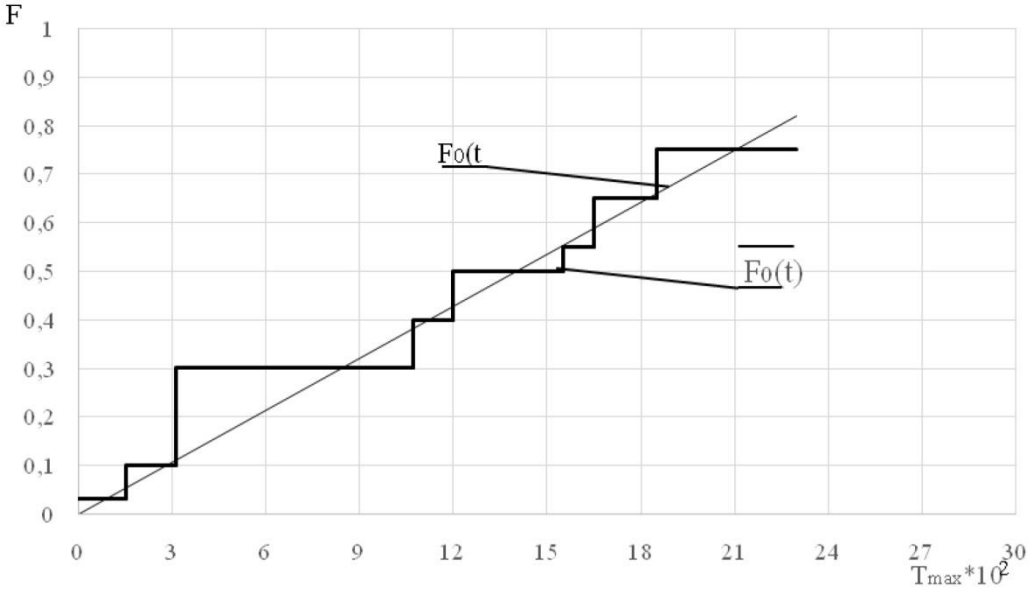


Рис. 1 – График функции распределения наработки изделия до отказа

F(100)≈0,033; F(1200)≈0,4; F(1950)≈0,644;

F(300)≈0,099; F(1600)≈0,528; F(2400)≈0,792.

F(1000)≈0,33; F(1700)≈0,561;

Определяем функцию распределения. Поскольку среднее число ИПД в одном изделии мало ($M=\sum p_i=0.056$) используется формула

$F(t)=1-e^{-MF_0(t)}$ при $t \le T_{MAX}$

$F(t)=1-e^{-0.056\,t/3000}=1-e^{-0.0000186\,t}$ при $t \le 3000$ ч.

Определим оценку интенсивности отказов $\lambda=0.0000186=1.86*10^{-5}$ч$^{-1}$и сравнивая с пороговым значением $\lambda_{пр}$.

Поскольку $\lambda>\lambda_{пр}$ ($1.86*10^{-5}$ч$^{-1}$.>$1,75*10^{-5}$ч$^{-1}$.),т.е.интенсивность отказов по выбранным ИПД больше порогового, то следует уменьшить, в первую очередь, частоты появления выделенных ИПД, что даёт возможность корректировать параметры функции распределения $F_0(t)$ и обеспечивать требуемых значений показателей надёжности.

Для определения второго показателя надежности лонжерона, рассчитаем пороговое значение среднего числа ИПД по формуле $M_{пр}=(T_р/T_0К)-1$, $M_{пр}=(3000/2129*1,34)-1=0,052$. Определим фактическое среднее число ИПД. $M=\sum P_i=0,056$ и сравниваем с пороговым, т.к. $M>M_{пр}$, то ледует уменьшить появление ИПД.

Проведенные исследования показывают, что погрешности изготовления значительно влияют на эксплуатационные характеристики изделия. Поэтому необходимо уменьшать возможные источники появления ИПД и различных скрытых дефектов. Для этого необходимо разрабатывать автоматизированные системы контроля надежности изделий по параметрам проведения технологического контроля. Также, входе проведенного исследования разработана методика контроля надежности изделия и выявлены аналитическими и графическими методами основные источники деградации на реальном производстве.

Список литературы

1. *Акимов И.А., Тюков Н.И., Акимов А.И.* Методология проектирования и автоматизации теплофизических процессов. – Уфа: Изд-во Башкирск. ун-та, 2001. – 144 с.
2. *Трофимов П.А.* Математическое моделирование взаимосвязанных нестационарных процессов тепломассообмена в многослойных конструкциях. Автореферат. – СПб: Изд-во Политех. ун-та, 2013.– 17 с.
3. *Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д.* Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ. – М.: Изд-во «Наука», 1965. – 524 с.
4. *Острейковский В.А.* Теория надежности: Учеб. для вузов. -М.: Высш. шк., 2003.- 463 с.
5. *Акимов И.А., Абдулхаликова Л.Х.* Математическое моделирование в технике: Учебно-методическое пособие. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2010. – 124 с.

05.13.00

[1]Г.Г. Галустов, [2]В.И. Марчук

[1]Институт радиотехнических систем и управления Южного Федерального университета, g.galustov@ya.ru

[2]ФГБОУВО «Донской государственный технический университет», marchuk@sssu.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ БИНОМИАЛЬНЫХ МОМЕНТНЫХ ФУНКЦИЙ

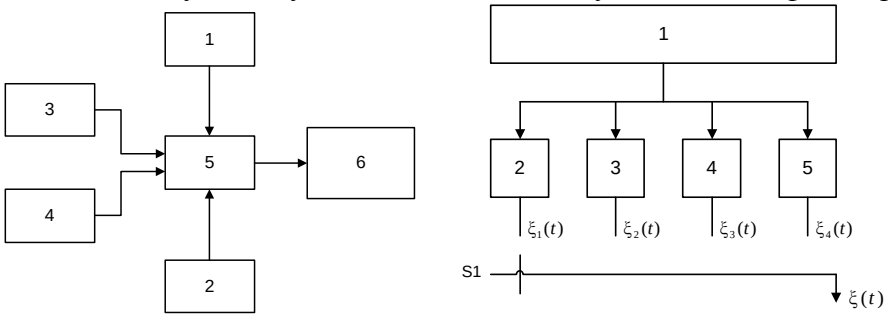
Рассмотрены вопросы анализа эффективности работы классификатора случайных и псевдослучайных процессов с использованием в качестве признаков систем биномиальных моментных функций. Показано, что использование в качестве признаков характеристик сигналов, учитывающих моменты распределения высших порядков, позволяет построить решающее правило в соответствии с принципом адаптивного байесовского подхода, а большая трудоемкость вычисления степенных моментов высоких порядков нивелирована использованием в качестве векторов признаков систем биномиальных моментных функций.

Ключевые слова: *биномиальные моментные функции, статистические характеристики, энергетическая полоса помехи, дисперсия оценки.*

При решении задачи классификации сигналов основным вопросом является выбор информативной системы признаков, позволяющей с учетом эффективного решающего правила получать классификацию заданного множества классов сигналов с высокой достоверностью. В настоящее время опубликовано достаточно большое число работ, в которых тем или иным способом синтезируется информативная система признаков [1]. Другой путь, часто используемый на практике, – это формирование систем признаков (векторов признаков) в процессе поступления обучающих реализаций сигналов. Но в этом случае оценки векторов признаков будут иметь малые дисперсии при наличии обучающих реализаций большой длительности, при этом, как показано в [2], использование в качестве признаков характеристик сигналов, учитывающих моменты распределения высших порядков, позволяет построить решающее правило в соответствии с принципом адаптивного байесова подхода. В силу большой трудоемкости вычисления степенных моментов высоких порядков, на практике обычно не используют степенные моменты выше четвертого порядка. В данной ситуации представляет интерес использование в качестве векторов признаков систем биномиальных моментных функций.

Целью настоящей статьи является анализ работы классификатора, в котором в качестве вектора признаков использованы коэффициенты разложения сигналов по системам биномиальных моментных функций.

Структурная схема экспериментальной установки для анализа работы классификатора в различных режимах представлена на рисунке 1а, где: 1 – милливольтметр квадратичный В3-48; 2 – осциллограф С1-99; 3 – источник окрашенного шума; 4 – генератор гармонических колебаний ГЗ-109; 5 – согласующий усилитель; 6 – исследуемый классификатор сигналов.



а) б)

Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

Милливольтметр 1 и осциллограф 2 экспериментальной установки предназначены для выставления и контроля заданного отношения сигнал-шум на входе согласующего усилителя 5, работающего в линейном режиме и имеющего регулируемый коэффициент усиления, с целью получения на входе классификатора сигналов с постоянным эффективным значением при изменении отношения сигнал-шум.

Для проверки разрешающей способности классификатора в режиме классификации случайных процессов был применен специальный источник «окрашенного» шума 4. Причем энергетические параметры процессов на его выходе были выбраны таким образом, чтобы выявить работоспособность алгоритма в наихудшем для классификатора режиме.

Структурная схема источника шума представлена на рисунке 1б, где: 1 – генератор равномерно распределенного шума; 2,3,4,5 – активные фильтры низких частот $Ф_1$, $Ф_2$,$Ф_3$, $Ф_4$ соответственно.

Параметры фильтров 2,3,4,5 выбраны такими, чтобы обеспечить одинаковые математические ожидания $m_\xi = 0$ и дисперсии $\sigma_\xi^2 = 2{,}2$ В при нормальной плотности распределения процессов $\xi_1(t), \xi_2(t), \xi_3(t), \xi_4(t)$ на их выходах. При этом нормированные корреляционные функции процессов на выходах фильтров $Ф_1$, $Ф_2$,$Ф_3$, $Ф_4$ имели вид, показанный на рисунке 2.

Варьируя комбинацией процессов $\xi_1(t), \xi_2(t), \xi_3(t), \xi_4(t)$ и гармоническим колебанием с выхода генератора Г3-109 можно формировать на входе классификатора зашумленный сигнал с заданным отношением сигнал-шум с различной «окраской» шума.

В основе анализируемого классификатора сигналов лежит операция вычисления оценок математических ожиданий [2,3] стохастически биномиально преобразованных случайных сигналов $x(t)$, или, сокращенно, оценок биномиальных моментов:

$$m_{n,k} = P(k,n) = \int_0^1 W(x)P(k/x,n)dx, \ \sum_{k=0}^{n} m_{k,n} = 1, \ n = 1,2,3..., \tag{1}$$

$$P(k/x,n) = C_k^n x^k (1-x)^{n-k}, \ \sum_{k=0}^{n} P(k/x,n) = 1, \tag{2}$$

где $W(x)$ – плотность распределения сигнала $x(t)$; $P(k/x,n)$ – весовая функция, реализуемая с помощью функциональных вероятностных $(k; f_1, f_2, ..., f_n; 1)$ – полюсников [3], под которыми понимается устройство с k -входами и $(f_1, f_2, ..., f_n)$ выходами, каждый из которых может быть возбужден (т.е. на выходе появится 1) с вероятностью (2), функционально зависящей от входного сигнала $x(t)$.

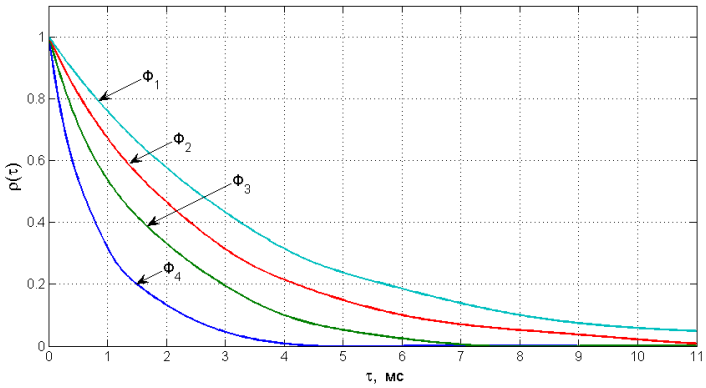


Рис. 2. Нормированные корреляционные функции процессов на выходах фильтров $Ф_1$, $Ф_2$, $Ф_3$, $Ф_4$

При проведении экспериментальных исследований в классификаторе был установлен режим трехмерной обработки сигналов, при этом в качестве векторов признаков пользовались трехмерные корреляционные биномиальные моменты вида:

$$m_{n,k} = \int_0^1\int_0^1\int_0^1 W(x_1, x_2, x_3)\prod_{k=0}^{n=7}(n,k)x_1^k(1-x_1)^{n-k} \times \prod_{k=0}^{n=7}(n,k)x_2^k(1-x_2)^{n-k}\prod_{k=0}^{n=10}(n,k)x_3^k(1-x_3)^{n-k}\,dx_1dx_2dx_3 \quad (3)$$

В блоке принятия решений, работающем на основе использования критерия минимума расстояния, решение принималось по минимуму суммы абсолютных разностей в соответствии с выражением [4]

$$L = L_{\min}; x_i(t) \in A_j\ (i = 1,2,3,...;\ j = 1,2,3...6)$$
$$L_{\min} = \frac{1}{2}\min\sum_{k=0}^{n}\left|m_{n,k}^P - m_{n,k}^0\right| \quad (4)$$

где $m_{n,k}^0$ – математические ожидания биномиальных моментов, определяемых на этапе обучения; $m_{n,k}^P$ – биномиальные моменты классифицируемых реализаций сигналов.

Вначале приведем результаты экспериментальных исследований классификатора в режиме распознавания случайных процессов. В режиме обучения на вход классификатора последовательно подавались случайные процессы $\xi_1(t), \xi_2(t), \xi_3(t), \xi_4(t)$ с выхода источника шумов. При этом в памяти классификатора формировались оценки математических ожиданий биномиальных моментов для каждого из процессов. В режиме распознавания на вход классификатора подавались по 20 реализаций процессов $\xi_1(t), \xi_2(t), \xi_3(t)$, и $\xi_4(t)$, не участвовавших в процессе обучения. В решающем блоке классификатора решение о принадлежности предъявленной реализации принималось в соответствии с выражением (4). Оценки вероятностей распознавания процессов сведены в таблицу 1. При этом необходимо отметить, что число анализируемых отсчетных значений каждой из реализаций $N = 1000$, а частота дискретизации $F_0 = 2\cdot10^3$ Гц выбраны такими, что «прямая» классификация процессов с использованием в качестве признаков корреляционных моментов практически возможна только между процессами $\xi_1(t)$ и $\xi_4(t)$. Тогда как при использовании в качестве признаков систем биномиальных моментов вероятность правильной классификации всех четырех процессов осуществлялось с вероятностью не ниже $P = 0{,}75$. Однако следует отметить, что оценки вероятностей правильной (ложной) классификации получены по 20 контрольным реализациям каждого из процессов $\xi_1(t), \xi_2(t), \xi_3(t)$, и $\xi_4(t)$, поэтому оценку $P = 0$ следует понимать как отсутствие ошибки при этих 20-ти контрольных реализаций. При увеличении количества контрольных реализаций (например, до 100) или использовании другой серии из 20-ти контрольных реализаций эта оценка вероятности может быть незначительно отличной от нуля.

Таблица 1.

обучение / распозн.	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4
ξ_1	$P = 0{,}8$	$P = 0{,}25$	$P = 0$	$P = 0$
ξ_2	$P = 0{,}2$	$P = 0{,}75$	$P = 0$	$P = 0$
ξ_3	$P = 0$	$P = 0$	$P = 0{,}75$	$P = 0{,}15$
ξ_4	$P = 0$	$P = 0$	$P = 0{,}25$	$P = 0{,}85$

В заключении можно сделать следующие выводы.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования далеко не исчерпывают возможностей классификатора на базе биномиальные моментных функций и требуются дальнейшие исследования по оптимизации мерности систем биномиальных моментов применительно к конкретному набору сигналов, подлежащих классификации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №15-07-99685\15.

Список литературы

1. *Галустов Г.Г.* Оценка погрешностей вычисления статистических характеристик, при использовании метода стохастического кодирования случайных процессов // Материалы X конференции «Научный прогресс на рубеже тысячелетий». Прага, 2014. С. 80-86.
2. *Галустов Г.Г., Краснобаев Д.А., Поцыкайло А.А.* О построении статистических систем распознавания по кластеризованным выборкам // Материалы конференции «Современные исследовательские и образовательные технологии». Таганрог, 2010. С. 45-50.
3. А.с. 1198537 (СССР). Измеритель моментов // Мирвода В.С., Гондарев В.П. Опубл. 15.12.1985, Бюл. 46.
4. *Омельченко В.А.* Распознавание сигналов по спектру в условиях априорной неопределенности. Харьков: ХПИ, 1979. 100 с.

05.13.00

В.В. Корзин, П.П. Гладких

Волжский политехнический институт
филиал Волгоградского Государственного Технического Университета,
автомеханический факультет, кафедра автоматики, электроники и вычислительной техники,
Волжский, woody.grow@yandex.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ СТРУИ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В данной работе рассматривается математическая модель динамического воздействия осесимметричной струи на поверхность изделия. Теоретически рассчитывается и экспериментально подтверждается сила воздействия струи.

Ключевые слова: *математическое моделирование, осесимметричная струя, динамическое воздействие.*

В настоящее время промышленное производство не может существовать без различных систем автоматического управления основанных на пневмоавтоматике. Электрические системы обладают существенным быстродействием и малыми потерями мощности при передаче сигналов информации. Но они имеют ряд существенных недостатков, как например, необходимость осуществлять большие затраты для пожаробезопасности и взрывобезопасности, и, как следствие, возрастание стоимости в 3-4 раза, а также подвержены сильному влиянию электромагнитных и радиационных полей [1,2,3]. Пневмосистемы обладают некоторыми существенными преимуществами, по сравнению с электрическими, а именно: нечувствительностью к электромагнитным и радиационным полям, высокой надежностью систем управления, простотой обслуживания, гибкостью программирования и возможностью быстрой замены программы, возможностью работать в широком диапазоне температур, невысокой стоимостью и долговечностью [4].

Пневмосистемы могут решать большинство задач в различных отраслях производства, и управлять множеством производственных процессов, как например в машиностроении, медицине, пищевой и нефтяной промышленности [5,6,7].

Одним из перспективных направлений использования элементов струйной автоматики следует считать их применение в робото-технических комплексах и локальных системах гибкого автоматизированного производства.

На сегодняшний день перспективной является задача совмещения различных функций роботов, в частности, разработка промышленных захватов, которые могут совмещать одновременно осязание, удержание и транспортирование продукции (изделия). Эта задача может быть решена путём применения устройств использующих свойства несущей воздушной прослойки между изделием и соплом. Данный класс устройств называется струйными захватами [8]. Принцип действия захвата основан на эффекте падения давления, которое непосредственно существует в зазоре между двумя поверхностями (соплом и изделием) при истечении воздуха в этот зазор. Эффект объясняется влиянием инерционных сил на весь поток воздуха, который протекает вблизи отверстия сопла и возникает при определённом сочетании параметров воздуха, таких как давление питания, расход, плотность струи, в системе изделие – сопло [9]. Для понимания действия и дальнейшего изучения струйного промышленного захвата, опишем динамическое воздействие струи на поверхность изделия.

При представлении распределения скоростного напора в затопленной турбулентной струе используем следующие теоретические положения, а именно формулу и теорию Г. Райхардта [10].

$$U_x^2 = U_m^2 \exp\left(-\frac{0.5r^2}{b_s}\right), \qquad (1.1)$$

где U_x – осредненная скорость потока; U_m – осредненная скорость на оси струи; r – поперечная координата струи; b_s – характерная толщина, пропорциональная длине струи x.

Найденный Райхардтом в результате экспериментальных исследований коэффициент пропорциональности для осесимметричной струи составляет - 0,072; для плоской - 0,095.

Не учитывая весьма малую поперечную составляющую для осредненной скорости потока в осесимметричной струе, получим:

$$U = U_m \exp\left(-\frac{48{,}2r^2}{x^2}\right), \quad (1.2)$$

где: x – длина струи.

Для определения осевой скорости U_m, воспользуемся законом сохранения полного количества движения секундной массы газа в струе. При этом считаем, что статическое давление в струе равно окружающему давлению.

$$\int\int pU^2 ds = pU_0^2 s_0, \quad (1.3)$$

где: s – площадь поперечного сечения струи; s_0– эффективная площадь выпускного отверстия сопла; U_0 – скорость выходящего из сопла потока газа; p – плотность газа.

Интегрируя в цилиндрической системе координат, получим выражение:

$$\int_0^{2\pi}\int_0^{\infty} prU_m^2 \exp\left(\frac{96{,}4r^2}{-h^2}\right) dr d\theta = 2\pi p \frac{h^2 U_m^2}{-2*96.4} \exp\left(\frac{96{,}4r^2}{-h^2}\right) = \frac{\pi p h^2}{96.4} U_m, \quad (1.4)$$

где: h - высота воздушной прослойки.

Из (1.3) и (1.4) выражаем:

$$U_m^2 = \frac{96.4 U_0^2 s_0}{\pi h^2}, \quad (1.5)$$

С учетом уравнения Бернулли (1.5) получим:

$$U_m^2 = \frac{96.4*2p_k s_0}{\pi p h^2}, \quad (1.6)$$

где: p_k – давление питания.

Полагая, что поток при нормальном столкновении с поверхностью изделия теряет составляющую скорости по оси струи, получим из закона сохранения импульса, записанного для проекции скоростей на ось OX, следующее выражение:

$$fД = \int_0^{2\pi}\int_0^{r_*} pr \frac{96.4*2p_k s_0}{\pi p h^2} \exp\left(\frac{96{,}4r^2}{-h^2}\right) dr d\theta = 2p_k s_0 (1 - \exp\left(\frac{96{,}4r_*^2}{-h^2}\right)), \quad (1.7)$$

где: $fД$ – сила динамического воздействия осесимметричной струи;

r_*- граница поверхности грани изделия в полярных координатах, возможно принятие следующего упрощения $r=r_*$.

С учетом коэффициента расхода η для круглого соплового отверстия диаметром d_0 получим:

$$fД = 0.5 p_k d_0^2 \eta (1 - \exp\left(\frac{96.4 r_*^2}{-h^2}\right), \quad (1.8)$$

где: d_0 – диаметр кругового сопла; η – коэффициент расхода кругового сопла.

Исходя из формулы (1.8) теоретически изучим силу динамического воздействия осесимметричной струи при следующем давлении питания: 1000 Па, 5000 Па, 10000 Па, 15000 Па. Для этого примем следующие допущения:

d_0 – диаметр кругового сопла = 3мм = 0,003м;

p_k – давление питания = 1000 Па, 5000 Па, 10000 Па, 15000 Па;

η – коэффициент расхода кругового сопла = 0,3;

r^* - граница поверхности грани изделия в полярных координатах, исходя из допущения что r^*=r (поперечная координата струи) = 0,05мм = $50*10^{-6}$м;

h – высота воздушной прослойки = 1мм = 0,001м.

Подставим принятые допущения в формулу (1.8):

При давлении в 1000 Па:

$$fД = 0.5 * 1000 * 0.003^2 * 0.3 * \left(1 - exp\frac{96.4*(50*10^{-2})^2}{-0.001^2}\right) = 0.0005H;$$

При давлении в 5000 Па:

$$fД = 0.5 * 5000 * 0.003^2 * 0.3 * \left(1 - exp\frac{96.4*(50*10^{-2})^2}{-0.001^2}\right) = 0.0013H;$$

При давлении в 10000 Па:

$$fД = 0.5 * 10000 * 0.003^2 * 0.3 * \left(1 - exp\frac{96.4*(50*10^{-2})^2}{-0.001^2}\right) = 0.0027H;$$

При давлении в 15000 Па:

$$fД = 0.5 * 15000 * 0.003^2 * 0.3 * \left(1 - exp\frac{96.4*(50*10^{-2})^2}{-0.001^2}\right) = 0.0041H.$$

Построим график теоретической зависимости силы динамического воздействия от давления питания:

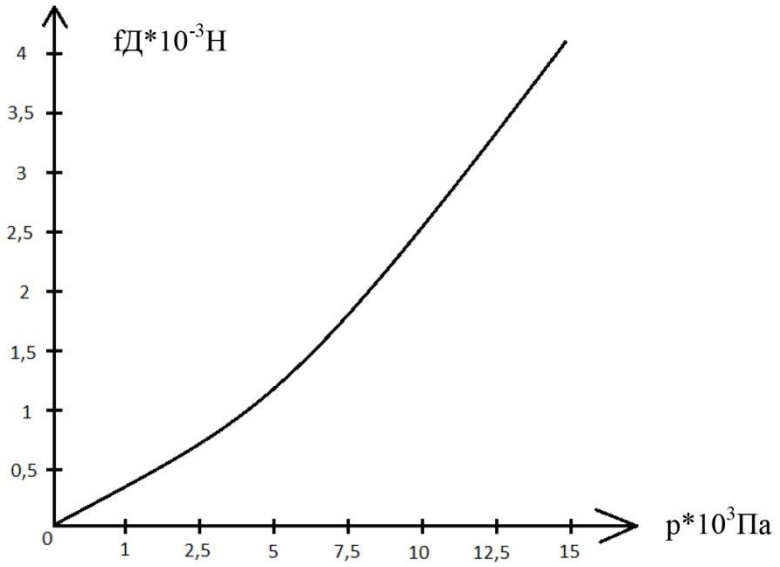


Рис. 1. Теоретический график

Затем экспериментально изучим силу динамического воздействия осесимметричной струи при тех же давлениях, для этого соберем следующую установку:

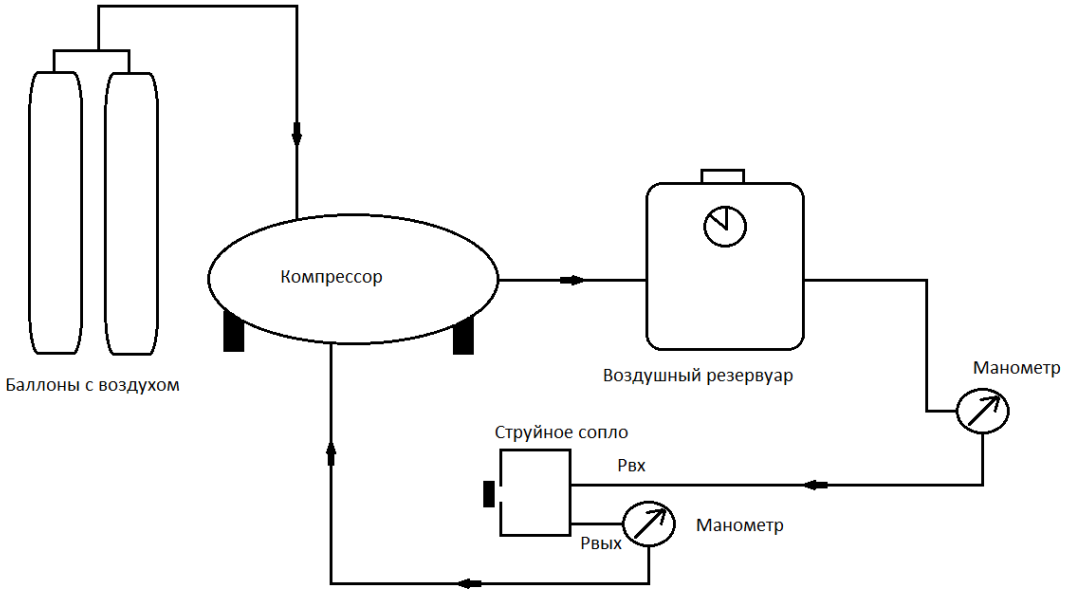


Рис. 2. Принципиальная схема установки

В результате проведенного эксперимента, удалось поднять предметы следующей массой, при заданном давлении питания:

При 1000 Па – 50 мг=0,00005 кг; При 5000 Па – 128 мг=0,000128 кг;

При 10000 Па – 270 мг=0,00027 кг; При 15000 Па – 410 мг=0,00041 кг.

Используя второй закон Ньютона:

$$F = ma, \quad (1.9)$$

F – сила;

m – масса;

a – ускорение свободного падения, примем 9.8м/с^2.

Рассчитаем силу, исходя из формулы (1.9):

При 1000 Па– 0,00005 кг=0,00049 Н; При 5000 Па– 0,000128 кг=0,00125 Н;

При 10000 Па– 0,00027 кг=0,0026 Н; При 15000 Па– 0,00041 кг=0,004 Н.

Построим график экспериментальной зависимости силы динамического воздействия от давления питания:

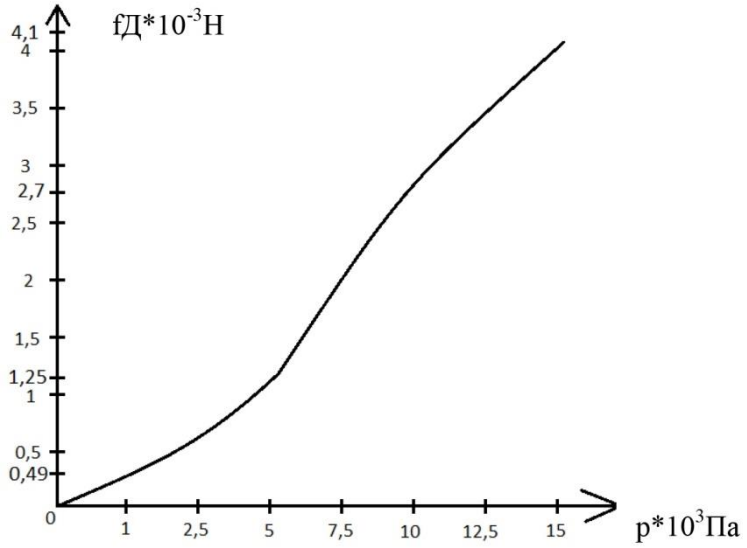


Рис. 3. Экспериментальный график

Наложим график экспериментальной зависимости (рис. 3) на график теоретической зависимости (рис. 1):

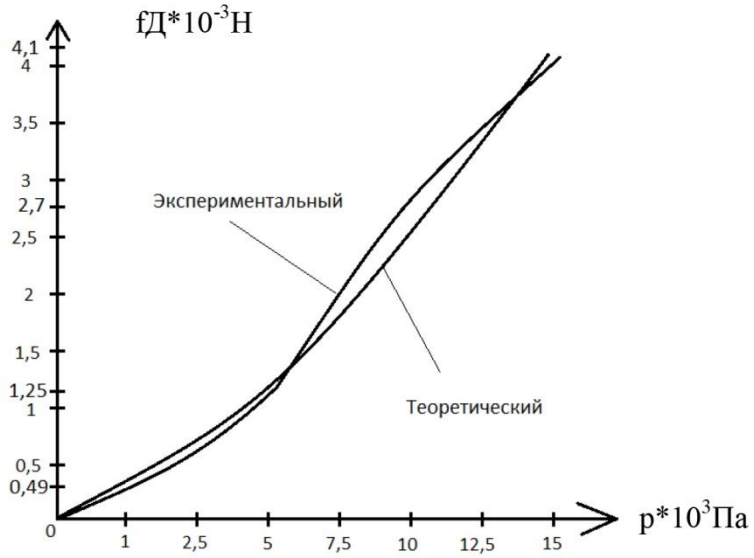


Рис 4. Экспериментально-теоретический график

Исходя из полученного графика (рис. 4), можно сказать, что математическая модель динамического воздействия струи на поверхность изделия совпадает с экспериментальными данными.

Список литературы

1. *Дылев В.И., Шаров Л.С.* Применение струйных датчиков в комплексах оборудования с промышленными роботами // Вестник машиностроения. – 1978. – N6. – С. 17-19.
2. *Алекса А.К., Доценко С.А., Захаров В.Г.* Струйная система управления азотоходом // Пневмоавтоматика. XIY Всесоюзное совещание – М.: Наука, 1982. – С. 160-161.
3. *Кудрявцев А.И., Ложкин О.В., Пятидворный А.П., Чаплыгин Э.И., Щербаков В.И.* Пневматические устройства и системы в машиностроении // Машиностроение, 1981. – С. 408.
4. *Попов Е.П.* Робототехника и гибкие производственные системы. –М.: Найка. Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1987. – С. 192.
5. *Ибрагимов И.А., Фарзане Н.Г., Илясов Л.В.* Элементы системы пневмоавтоматики. – М.: Высшая школа, 1984. – С. 544.
6. *Алферов В.В., Владимиров В.С., Новиков Б.К., Строгалев В.П.* Струйная автоматика в системах управления. – М.: Машиностроение, 1975. –С. 368.
7. *Залманзон Л.А.* Теория аэрогидродинамических систем автоматического управления. –М.: Наука, 1977. –С. 416.
8. *Битюков В.К., Елфимов С.А., Чертов Е.Д.* Устройства, реализующие функции технического осязания. // Автоматизация и современные технологии. – 1998. – N11. –С. 5-8.
9. *Чертов Е.Д., Елфимов С.А.* Струйные захваты на базе несущей воздушной прослойки с элементами технического осязания. Модернизация существующего и разработка новых видов оборудования для пищевой промышленности: сборник научных трудов. Выпуск 5. / Воронеж. Гос. технол. акад. Воронеж, 1995. –С. 68-69.
10. *Reichardt H.*, Gesetzmassigkeiten der frein Turbulenz. VDIForschungsheft, 414, 1951. –S. 116-132.

05.13.01

Г.И. Лавров к.т.н., И.Г. Лавров к.т.н.

ФБГОУ ВО Тюменский государственный нефтегазовый университет,
г. Тюмень, lavrov@tsogu.ru

К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ ФЛЮИДНЫХ КОНТАКТОВ ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Разработаны алгоритмы, позволяющие автоматизировать построение поверхностей флюидных контактов для трехмерных цифровых геологических моделей. Составлена программа для определения положения отметок водонефтяного контакта в скважинах. Программа апробирована при построении геологической модели трех пластов с фондом скважин более 1000.

Ключевые слова: *трехмерное моделирование, водонефтяной контакт, алгоритм.*

В настоящее время проектирование разработки месторождений нефти и газа осуществляется с использованием трехмерных цифровых моделей (3D моделей). Построение 3D моделей входит в такие технологические процессы, как обоснование бурения скважин, составление проектно-технической документации разработки месторождений углеводородов, оценка экономической эффективности проводимых геолого-технологических мероприятий [1]. 3D модели используются при решении следующих задач:

- подсчете запасов углеводородов,
- планировании (проектировании) скважин,
- оценке неопределенности и рисков,
- подготовке основы для гидродинамического моделирования.

Одной из задач при построении трехмерной геологической модели является создание флюидной модели, которое обычно проводится в три этапа. На первом этапе проводится определение положения отбивок контактов в скважинах. На втором анализируются характер изменения контактов по площади, обособленность или гидродинамическая связность пластов по разрезу, природа и местоположение границ, определяющих скачкообразное изменение контактов и принимаются принципиальные решения о строении флюидного контакта. Определяются возможные поправки в инклинометрию скважин. На третьем этапе по определенным отметкам с учетом введенных поправок в инклинометрию скважин и принятых принципиальных решений для моделируемых пластов осуществляется построение поверхностей флюидных контактов [2].

Автоматизация первого этапа создания флюидной модели обеспечивается с помощью разработанного нами алгоритма определения положения отметок водонефтяного контакта (ВНК) в скважинах с использованием загруженных в проект результатов интерпретации геофизических исследований скважин (РИГИС).

В первой части алгоритма отметки определяются следующим образом: для скважин, расположенных в чистонефтяной зоне (ЧНЗ), положение ВНК определяется на подошве нижнего пропластка. Для скважин в водонефтяной зоне (ВНЗ) ВНК устанавливается по центру между подошвой нефтенасыщенного и кровлей водонасыщенного коллектора. [3] На основе разработанного алгоритма составлена программа на языке программирования Delphi [4].

В результате работы программы формируется текстовый файл с названиями скважин и отметками ВНК в них. Полученный файл с отметками можно использовать в программе трехмерного геологического моделирования (например, RMS компании ROXAR) для построения поверхности ВНК.

Дополнительно для анализа строения пласта в результате работы программы формируются следующие текстовые файлы: список скважин, которые находятся в ЧНЗ залежей, список скважин в ВНЗ, интервал возможных корректировок отметок ВНК скважин из ВНЗ пласта.

Далее, для наиболее простого случая – горизонтального по всей площади участка моделирования флюидного контакта с принятым уровнем $ВНК_{ср}$, разработана вторая часть алгоритма, в которой отметки ВНК в скважинах корректируются таким образом, чтобы они располагались наиболее близко к принятому уровню $ВНК_{ср}$ и одновременно с этим не противоречили РИГИС.

Однако, достаточно часто встречаются залежи нефти с наклонным по площади ВНК. Это, как правило, связано с существенными различиями фильтрационно-емкостных свойств или гидродинамическим напором [2]. Другим распространенным случаем является слабовогнутый к центру залежи ВНК или коррелированность поверхности ВНК со структурной картой кровли пласта. Этот вариант строения характерен для молодых недосформировавшихся залежей, где ВНК не выровнялся.

Для таких залежей, в отличие от случая с горизонтальным флюидным контактом с уровнем $ВНК_{ср}$, для каждой скважины можно определить свою отбивку контакта в соответствии с трендовой картой наклона ВНК ($ВНК_{тр}$) и устанавливать отметку ВНК максимально близко к этому значению.

Для этого случая вторая часть алгоритма изменения положения отметок ВНК в скважинах была доработана (рис 1). При реализации второй части алгоритма используется информация файлов, созданных автоматически в его первой части.

Поверхность, которая построена по отметкам ВНК, определенным на основе РИГИС скважин, часто имеет локальные области с большими углами наклона. Это связано с погрешностями, ошибками при измерении инклинометрии скважин, влиянием разработки соседних скважин на характер насыщения коллекторов в районе бурения новых скважин и прочими факторами.

Для изменения положения отметок ВНК в местах больших углов наклона поверхности ВНК была разработана третья часть алгоритма с целью автоматизации выявления скважин, из-за которых возникают большие углы наклона ВНК, с целью последующего их анализа [5]. Реализация этого алгоритма позволяет сформировать таблицу с возможными изменениями абсолютных отметок ВНК в скважинах путем введения поправок в инклинометрию либо изменения характера насыщения коллекторов.

При введении поправок в инклинометрию и изменении характера насыщения коллекторов необходим детальный анализ на предмет отхода скважины от вертикали (чем больше отход, тем более вероятны погрешности в замерах инклинометрии), возможных неточностей интерпретации геофизических исследований скважин, принятых ранее уровней ВНК в моделируемых залежах. В то же время использование предложенных таблиц дает возможность концентрировать внимание на областях, в которых наиболее вероятны ошибки, а значит и сократить время на корректировку отметок в скважинах и построение поверхности ВНК.

Если после проведения анализа и внесения предложенных изменений в отметки ВНК в скважинах на карте продолжают оставаться области с большими углами наклона ВНК, работа программы по третьей части алгоритма может быть повторена с загрузкой новой карты углов наклона ВНК с соответствующей ей таблицей абсолютных отметок ВНК в скважинах.

Построенная на основе полученных отметок поверхность является оценочной и может использоваться для анализа положения уровней ВНК в залежах, структуры пласта, последующих корректировок отметок ВНК в скважинах на основе результатов испытания скважин, проведенных промысловых геофизических исследований, определения необходимости внесения дополнительных поправок в инклинометрию скважин и т.д.

Разработанная программа прошла апробацию на моделях нескольких пластов с фондом скважин более 1000. Автоматизация построения флюидных контактов залежей снижает трудоемкость построения модели насыщения в трехмерных геологических моделях с большим фондом скважин и сокращает время на построение геологической модели.

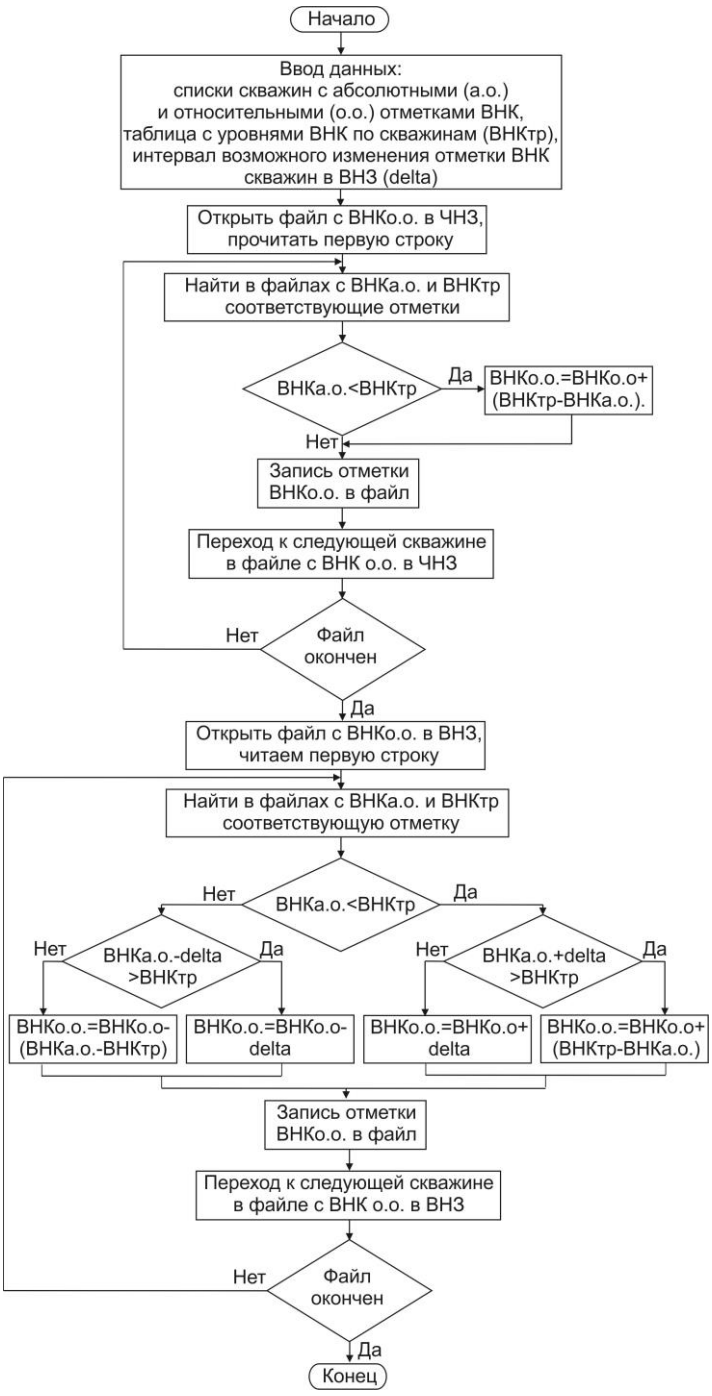


Рис 1. Блок-схема алгоритма определения положения отметок водонефтяного контакта в скважинах

Список литературы

1. *Грачев С.И., Стрекалов А.В.* Опыт в решении задач моделирования и оптимизации разработки месторождений нефти и газа // Вестник ЦКР Роснедра. 2012. №2. – 56-62 с.
2. *Закревский К.Е.* Геологическое 3D моделирование. – М.: ООО "ИПЦ "Маска", 2009. -376 с.
3. *Лавров Г.И., Лавров И.Г.* Автоматизация определения уровня технологических параметров в скважине для трехмерных цифровых геологических моделей // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №1. – 104-108.
4. *Культин Н.Б.* Delphi в задачах и примерах. 3-е изд., перераб. и доп. – СПб: BHV, 2012. – 288 с.
5. *Лавров Г.И., Лавров И.Г.* Автоматизация построения поверхности водо-нефтяного контакта залежей для трехмерных цифровых геологических моделей // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. №1. – 111-113.

05.13.18

Д.В. Макаров, Р.И. Паровик

ФГБОУ ВПО «КамГУ им. Витуса Беринга»,
г. Петропавловск-Камчатский, danil-makarov-pk@ya.ru, romanparovik@gmail.com

ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДУБОВСКОГО ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ КРИЗИСОВ

В работе предложена математическая модель, которая обобщает известную модель Дубовского, используемую для прогнозирования экономических кризисов. Это обобщение заключается в учете эффекта памяти, который часто возникает в экономической системе. С помощью численных методов, получено решение обобщенной модели, согласно которому были построены фазовые траектории.

Ключевые слова: *циклы Кондратьева, экономический кризис, модель Дубовского, оператор дробной производной Герасимова-Капуто, эффект памяти, фрактальная размерность.*

Введение. Важность математического моделирования экономических процессов неоспорима. Это обусловлено тем, что математическое описание экономических систем дает количественное и качественное представление о экономических показателях с целью их дальнейшего прогнозирования в следующие промежутки времени, а также рекомендации для принятия правильного управленческого решения [1]. Для нас наибольший интерес представляет исследование экономических кризисов, так как именно они определяют экономическое благосостояние граждан и степень социального напряжения в стране. Еще в 20-е годы прошлого века советский экономист Н.Д. Кондратьев выделил во временных экономических рядах долгосрочные периодические колебания (волны) с длительностью 50-55 лет [2]. Далее другие исследователи в последствие аналогично выявили волны другой длительности, например, волны базовых инвестиций [3] и т.д. Наиболее полное математическое описание моделирования циклов Кондратьева было проведено, на наш взгляд, в работах С.В. Дубовского [4-6]. В настоящей работе была предложена математическая модель, которая обобщает известную модель Дубовского в случае учета эффектов памяти в экономической системе и является логическим продолжением работы [7]. Эффекты памяти описываются с помощью теории дробного исчисления, а именно производных дробного порядка [8]. Такие модели можно найти в работах зарубежных авторов [9-13], а также в работах отечественных авторов [14-16].

Постановка задачи. Обобщенная модель циклов Кондратьева может быть представлена в виде:

$$\begin{cases} \partial_{0t}^{\alpha} x(\tau) = -\lambda n x(t)\big(x(t)-1\big)\big(y(t)-y^{*}\big), \\ \partial_{0t}^{\beta} y(\tau) = n(1-n)\, y^{2}(t)\big(x(t)-x^{*}\big) + f(t), \\ x(0)=a,\ y(0)=b. \end{cases} \tag{1}$$

где $\partial_{0t}^{\alpha} x(\tau) = \dfrac{1}{\Gamma(1-\alpha)}\displaystyle\int_0^t \dfrac{\dot{x}(\tau)\,d\tau}{(t-\tau)^{\alpha}}$ и $\partial_{0t}^{\beta} y(\tau) = \dfrac{1}{\Gamma(1-\beta)}\displaystyle\int_0^t \dfrac{\dot{y}(\tau)\,d\tau}{(t-\tau)^{\beta}}$ - производные дробных порядков $0<\alpha,\beta<1$ в смысле Герасимова-Капуто; Г (x) - гамма-функция Эйлера; $x(t)$ - эффективность новых технологий; $y(t)$ - эффективность фондоотдачи; x^{*} и y^{*} - равновесное стационарное решение системы (1); n - норма накопления; λ - коэффициент, который определяется из статистики временного ряда; $f(t)$ - внешнее воздействие на экономическую систему; $t\in[0,T]$- временная координата, T - время моделирования процесса; a и b - начальные условия, заданные константы.

Заметим, что нелинейная система (1) в случае значений параметров $\alpha = \beta = 1$ и $f(t) = 0$ переходит в модель Дубовского [4]. Поэтому очевидно, что решение системы (1) будет обобщать решение модели Дубовского. Решение нелинейной системы (1) будем искать с помощью численных методов – конечно разностных схем. Разобьем временной отрезок $[0,T]$ на N равных частей, с шагом τ. Аппроксимацию дробных производных в уравнении (1) проводим согласно работе [17]. Тогда система (1) запишется в конечно-разностной постановке в виде:

$$\begin{cases} x_0 = a, y_0 = b, \\ x_1 = x_0\left(1 - \dfrac{\lambda n}{A}(x_0 - 1)(y_0 - y^*)\right), y_1 = y_0\left(1 + \dfrac{n(1-n)}{B} y_0 (x_0 - x^*)\right), j = 0, \\ x_2 = x_1\left(1 - \dfrac{\lambda n}{A}(x_1 - 1)(y_1 - y^*)\right), y_2 = y_1\left(1 + \dfrac{n(1-n)}{B} y_1 (x_1 - x^*)\right), j = 1, \\ x_{j+1} = x_j\left(1 - \dfrac{\lambda n}{A}(x_j - 1)(y_j - y^*)\right) - \sum\limits_{k=1}^{j-1} p_k (x_{j-k+1} - x_{j-k}), \\ y_{j+1} = y_j\left(1 + \dfrac{n(1-n)}{B} y_j (x_j - x^*)\right) - \sum\limits_{k=1}^{j-1} q_k (x_{j-k+1} - x_{j-k}) + f_j, j = 2,\ldots,N-1, \end{cases} \quad (2)$$

Здесь $A = \dfrac{\tau^{-\alpha}}{\Gamma(2-\alpha)}, B = \dfrac{\tau^{-\beta}}{\Gamma(2-\beta)}, p_k = (1+k)^{1-\alpha} - k^{1-\alpha}, q_k = (1+k)^{1-\beta} - k^{1-\beta}$.

Решение (2) в случае, когда $\alpha = \beta = 1$ и $f_j = 0$ переходит в решение для модели Дубовского [4]. Исследуем решение (2) в зависимости от различных значений дробных параметров α и β, а также построим фазовые траектории. В этой работе мы не останавливаемся на вопросах устойчивости или сходимости явной конечно разностной схемы (2).

Результаты моделирования. Параметры моделирования возьмем из работы [4]: $x^* = 1.3, y^* = 0.5, n = 0.2, \lambda = 2.25, x(0) = 1.35, y(0) = 0.5, T = 50.1$.

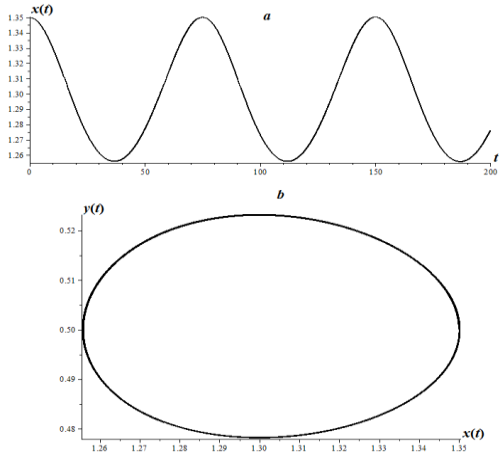


Рис. 1. Расчетная кривая *a* и фазовая траектория *b* в случае $\alpha = \beta = 1$ и $f(t) = 0$

На рис.1 приведен случай, который соответствует случаю из работы [4] при моделировании цикла Кондратьева с периодом $T = 50.1$. Так же можно увидеть, что фазовая траектория (рис. 1*b*) имеет эллипсоидную замкнутую форму, равновесное состояние системы называется центром. Амплитуда колебаний в этом случае постоянна (рис. 1*a*). На рис. 2 приведен случай, когда $f(t) = 0$, $\alpha = 0.8$ и $\beta = 1$, а остальные параметры остаются без изменения.

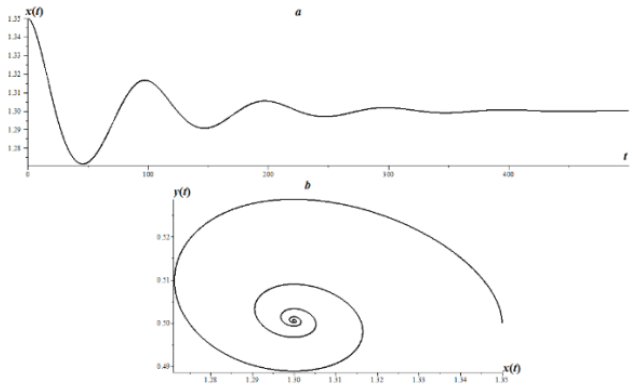


Рис. 2. Расчетная кривая *a* и фазовая траектория *b* в случае $\alpha = 0.8, \beta = 1$ и $f(t) = 0$

Из рис. 2*a* видно, что процесс колебаний является затухающим, а фазовая траектория рис. 2*b* является незамкнутой, положение равновесия системы называется устойчивым фокусом. В этом случае циклов не существует, однако, если ввести в рассмотрение функцию внешнего воздействия $f(t) = \delta\cos(\omega t)$, которую можно интерпретировать как инвестиционные циклы, то приходим к следующему результату (рис. 3).

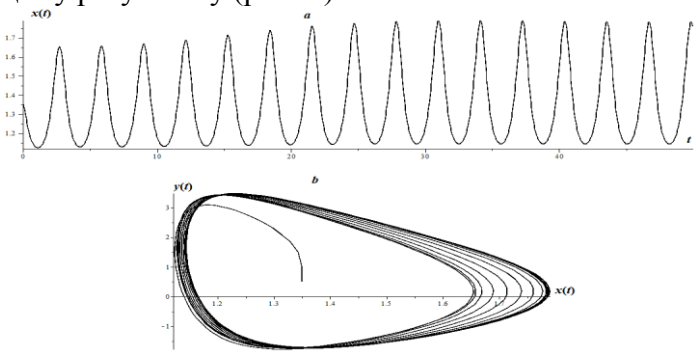


Рис. 3. Расчетная кривая *a* и фазовая траектория *b* в случае $\alpha = 0.8, \beta = 0.6$ и $f(t) = \delta\cos(\omega t), \delta = 0.5, \omega = 2$

На рис. 3*a* видно, сначала амплитуда колебаний возрастает, а потом выходит на постоянный режим, это видно на фазовой траектории рис.3*b*, которая со временем выходит на постоянный режим или предельный цикл, который можно использовать в исследовании циклов Кондратьева.

Заключение. В работе предложена обобщенная модель Дубовского, которая учитывает эффекты памяти в экономической системе. Получено численное решение такой модели и построены фазовые траектории. Показано, что введение производных дробного порядка приводит к затухающим процессам, однако если в системе существует внешнее периодическое воздействие, то система выходит на предельный цикл, который можно интерпретировать как цикл Кондратьева.

Список литературы

1. *Паровик Р.И.* Моделирование выбора руководством высшего учебного заведения оптимального решения, согласованного с управляющими решениями его филиалов // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2013. №1(6). С. 5-11.

2. *Кондратьев Н.Д., Опарин Д,Н.* Большие циклы конъюнктуры. М.: Институт экономики, 1928. 287 с.

3. *Mensch. G.* Stalemate in Technology. Innovations Overcome the Depression Cambrg. Ballinger Pub Co. 1979. 241 p.

4. *Дубовский С.В.* Объект моделирования – цикл Кондратьева // Математическое моделирование.1995. Т.7. №6. С. 65-74.

5. *Дубовский С.В.* Моделирование циклов Кондратьева и прогнозирование кризисов. В кн. Кондратьевские волны. Аспекты и перспективы / под. ред. Акаева А.А. Волгоград: Учитель, 2012. 179-188.

6. *Дубовский С.В.* Прогнозирование катастроф (на примере циклов Н.Д. Кондратьева) // Общественные науки и современность. 1993. № 5. С. 82–91.
7. *Макаров Д.В.* Экономико-математическое моделирование инновационных систем // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2014. №1(8). 66-70.
8. *Нахушев А.М.* Дробное исчисление и его применение. М.: Физматлит, 2003. 272 с.
9. *Boleantu M.* Fractional dynamical systems and applications in economy // Differential Geometry - Dynamical Systems. Vol.10. 2008. pp. 62-70.
10. *Yiding Y., Lei H., Guanchun L.* Modeling and application of new nonlinear fractional financial model // Journal of Applied Mathematics. 2013
11. *Tejado I., Duarte V., Nuno V.* Fractional Calculus in Economic Growth Modeling. The Portuguese case. Conference: 2014 International Conference on Fractional Differentiation and its Applications (FDA'14).
12. *Mendes R.V.* A fractional calculus interpretation of the fractional volatility model // Nonlinear Dyn. 2008.
13. *Zhenhua H., Xiaokang T.* A new discrete economic model involving generalized fractal derivative // Advances in Difference Equations. 2015. V. 65. DOI 10.1186/s13662-015-0416-8.
14. *Шпилько Я.Е., Соломко А.А., Паровик Р.И.* Параметризация уравнения Самуэльсона в модели Эванса об установлении равновесно цены на рынке одного товара // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2012. №2(5). 33-36.
15. *Самута В.В., Стрелова В.А., Паровик Р.И.* Нелокальная модель неоклассического экономического роста Солоу // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2012. №2(5). 37-41.
16. *Нахушева З.А.* Об одной односекторной макроэкономической модели долгосрочного прогнозирования // Доклады АМАН. 2012. Т. 14. №1. 124-127.
17. *Паровик Р.И.* Математическое моделирование линейных эредитарных осцилляторов. Петропавловск-Камчатский: КамГУ имени Витуса Беринга, 2015. 178 с.

05.13.01

Р.А. Марков, В.В. Бухтояров к.т.н., А.М. Попов д.ф.-м.н., Н.А. Бухтоярова

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М.Ф. Решетнева
markovspec@yandex.ru, vladber@list.ru vm_popov@sibsau.ru

ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В работе анализируются классификации атак компьютерных сетей, принципы построения нейронных сетей, решения задачи классификации атак. На основании анализа проведено исследование по выявлению инцидентов информационной безопасности с помощью технологии нейронных сетей на тестовом наборе данных. Проведен сравнительный анализ эффективности рассматриваемого подхода с альтернативными методами выявления инцидентов информационной безопасности в компьютерных сетях.

Ключевые слова: информационная безопасность, нейронные сети, классификация сетевых атак.

Системы обнаружения вторжений представляют собой программные или аппаратно-программные решения, которые автоматизируют процесс анализа контроля событий в компьютерной сети (КС) и последующего информирования. На этапе анализа происходит выявление инцидентов информационной безопасности[1].

Задача выявления инцидентов информационной безопасности сводится к задаче классификации. Поэтому основным критерием для выбора метода выявления является его способность решить задачу классификации. Выделяют следующие методы обнаружения атак на КС: анализ систем состояний, графы сценариев атак, экспертные системы, методы, основанные на спецификациях, сигнатурные методы, нейронные сети, иммунные сети, статистический анализ, кластерный анализ, поведенческая биометрия. В рамках представленного исследования в качестве базовой технологии анализа данных применялись нейронные сети[2].

Суть исследования заключалась в решении задачи классификации сетевого соединение как категории атаки или как нормального соединения. В качестве экспериментальной базы использовались данные *KDD Cup* 99[3], содержащие 5 миллионов классифицированных по 22 типам экземпляров атак, охарактеризованные 41 параметром сетевых соединений. Атаки делятся на 4 основные категории (Таблица 1): *DoS, U2R, R2L* и *Probe*. Все параметры сетевых соединений информативно неравнозначны, причем уточнить их истинную значимость можно только после проведения дополнительных исследований.

Таблица 1

Атака	*Описание*	*Тип атаки*
DoS	генерацией большого объема трафика, приводящего к отказу в обслуживании атакуемой системы	*back, land, neptune, pod, smurf, teardrop*
U2R	получение зарегистрированным пользователем привилегий локального сетевого администратора	*buffer_overflow, loadmodule, perl, rootkit*
R2L	получение доступа незарегистрированного пользователя к компьютеру со стороны удаленного компьютера	*Gues_passwd, ftp_writet, warezmaster, warezclient, multihop, imap, phf, spy*
Probe	сканировании сетевых портов с целью получения конфиденциальной информации	*ipsweep, nmap, portsweep, satan*

Для определения статистически значимых параметров сетевых соединений использовался метод многофакторного анализа (*ANOVA*)[4]. Где параметры сетевого соединения являлись категориальными факторами, а процентное отношение количества записей идентифицированных типов атак – зависимой переменной. В результате 12 из 41 параметра сетевых соединений содержали в себе 99% процентов информации о типах атак (см. рис. 1).

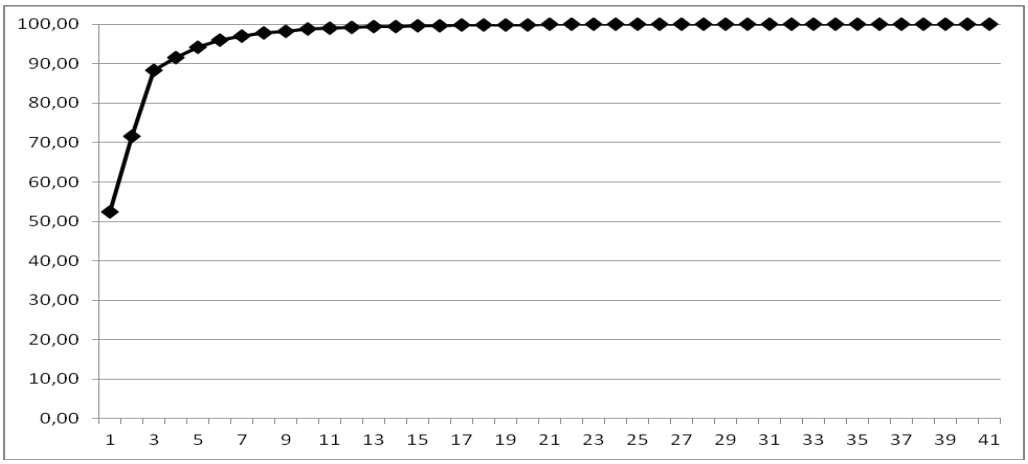


Рис. 1. Зависимость количества информации от факторов

В качестве обучающей базы данных(БД) нейронной сети использовалась выборка 10% от исходного набора *KDD CUP* 99. В рамках исследования в качестве НС использовалась структура нейронной сети Кохонена[2], с одним входным слоем, одним скрытым слоем, и выходным слоем. Для обучения предложенной НС использовалась обучающая выборка, состоящая из 80% соединений одного из типов атак и 20% нормального соединения, т.е. соотношение атак к нормальным соединениям равняется четыре к одному.

Было проведено 5 экспериментов. В каждом эксперименте генерировались 20 нейронных сетей. Сгенерированные нейронные сети обучались и классифицировали неизвестные образы. Результаты классификации представлены в таблице 2.

Таблица 2

Тип атаки	5/1	4/1	3/1	2/1	1/1
Dos	96,6%	98,9%	96,2%	95,4%	95,0%
Probe	57,3%	67,7%	64,3%	63,7%	62,5%
R2L	31,4%	38,2%	36,4%	35,9%	34,5%
U2R	18,8%	21,2%	18,8%	18,4%	16,1%

Результаты обнаружения категорий сетевых атак нейронной сетью Кохонена с предобработкой данных методом *ANOVA* и без предобработки представлены в сравнительной таблице 3.

Таблица 3

Метод	*norma*	*Probe*	*DoS*	*R2L*	*U2R*	*Среднее*
Многофакторный анализ и сеть Кохонена	99,95%	97,91%	99,70%	88,46%	70,10%	91,22%
Сеть Кохонена	99,46%	91,43%	82,86%	66,47%	54,90%	79,02%
Улучшение	0,49%	6,48%	16,84%	21,99%	15,20%	12,20%

Как видно из полученных результатов, качество обнаружения удалось увеличить благодаря применению метода *ANOVA* к параметрам сетевого трафика. Так прирост в качестве обнаружения в среднем – 12,20%.

Подобные эксперименты проводились зарубежными и отечественными исследователями результаты представлены в сравнительной таблице 4.

Таблица 4

	norma	*Probe*	*DoS*	*R2L*	*U2R*	*Среднее*
Многофакторный анализ и сеть Кохонена	99,95%	97,91%	99,70%	88,46%	70,10%	91,22%
Метод главных компонент и сеть прямого распространения	99,91%	91,1%	99,6%	86,2%	67,1%	84,78%
Расстояние Эвклида-Махаланобиса	99,46%	45,69%	92,01%	84,80%	49,48%	79,45%

По результатам сравнения можно сделать вывод, что средняя эффективность по выявлению 4 категорий атак с помощью статистической предобработки многофакторным анализом и нейронной сети Кохонена, эффективнее на 3,16%, чем метод главных компонент и сети прямого распространения[5], а также на 16,08% эффективнее, чем метод обработки с помощью метода расчета расстояния Эвклида-Махаланобиса[6].

Список литературы

1. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1991.
2. *В.А. Головко,* Нейронные сети: обучение, организация, применение. Москва: ИПРЖР, 2001, 256 с.
3. KDD Cup 1999 Data The Third International Knowledge Discovery and Data Mining Tools Competition. [Электронный ресурс] URL: http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/kddcup99.html (дата обращения 09.10.2015).
4. *И.И. Елисеева,* Статистика: учеб. для вузов, Спб: Питер, 2010. С. 85-91.
5. Нейросетевой подход к обнаружению сетевых атак на компьютерные сети / М.П. Комар, И.О. Палий, Р.П. Шевчук, Т.Б. Федысив. // Информатика и математические методы в моделировании, 2011. № 2(1). С. 156-163.
6. Нейросетевая технология обнаружения сетевых атак на информационные ресурсы / Ю.Г. Емельянова, А.А. Талалаев, И.П. Тищенко, В.П. Фраленко. // Программные системы: теория и приложения, 2011. № 3(7). С.3–15.

05.13.18

Р.И. Паровик

ФГБОУ ВПО «КамГУ им. Витуса Беринга», физико-математический факультет,
кафедра математики и физики,
ФГБУН Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
лаборатория моделирования физических процессов, romanparovik@gmail.com

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭРЕДИТАРНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА КОШИ-ЭЙЛЕРА

В работе предложена новая математическая модель осциллятора Коши-Эйлера. Модель учитывает эффекты памяти в среде, которые описываются с помощью производных дробных порядков. Предложена явная конечно разностная схема численного решение предложенной модели. Построены фазовые траектории на основе полученных решений.

Ключевые слова: *оператор Герасимова-Капуто, фазовая траектория, конечно-разностная схема, эредитарный осциллятор Коши-Эйлера.*

Введение. В настоящее время развивается теория эредитарных процессов. В книге В.В. Учайкина [1] ей посвящена целая глава. Понятие эредитарности было введено Вито Вольтерра для описания эффектов памяти с помощью интегральных операторов с ядрами степенного вида, которые удобнее представить в виде производных дробного порядка [1-8]. Дробные производные могут широко применяться для описания эредитарных колебательных систем, например, в работе [9] автор с помощью производных дробного порядка в смысле Римана-Лиувилля исследует линейные и нелинейные колебательные системы, в работе [10] автор с помощью производных дробного порядка в смысле Герасимова-Капуто исследует линейные эредитарные осцилляторы.

В настоящей работе рассматривается обобщение уравнения Коши-Эйлера, которое описывает колебания в системе с затухающей возвращающей силой и коэффициентом трения [11,12]. Это уравнение встречается в физических и технических приложений. В электростатике, например, уравнение Коши-Эйлера используется для определения электрического потенциала между двумя заряженными концентрическими сферами [13]. В работе [14] изучены свойства давления и гравитации сферически симметричных нейтронных звезд.

Постановка задачи. Рассмотрим следующее уравнение Коши-Эйлера с дробными производными Герасимова-Капуто порядков $1<\beta<2$ и $0<\gamma<1$:

$$\partial_{0t}^{\beta}x(\tau)+\lambda(t)\partial_{0t}^{\gamma}x(\tau)+\omega(t)x(t)=f(t), \qquad (1)$$

где $\partial_{0t}^{\beta}x(\tau)=\frac{1}{\Gamma(2-\beta)}\int_0^t\frac{\ddot{x}(\tau)d\tau}{(t-\tau)^{\beta-1}}$ и $\partial_{0t}^{\gamma}x(\tau)=\frac{1}{\Gamma(1-\gamma)}\int_0^t\frac{\dot{x}(\tau)d\tau}{(t-\tau)^{\gamma}}$ - операторы Герасимова-Капуто производных дробных порядков $1<\beta<2$ и $0<\gamma<1$ [2,10], $\lambda(t)=\frac{\lambda}{t}$ - коэффициент трения, $\omega(t)=\frac{\omega}{t^2}$ - частота колебаний, $x(t)$ - функция смещения, $t\in[1,T]$ - координата времени, $T>0-$ время моделирования процесса, $f(t)$ - функция внешнего воздействия. Рассмотрим уравнение (1) для которого мы введем начальные условия вида:

$$x(1)=x_0,\ \dot{x}(1)=y_0 \qquad (2)$$

Полученную задачу Коши (1)-(2) будем решать численно с помощью конечно-разностных схем [15,16]. Для этого введем в рассмотрение равномерную сетку с N узлами и постоянным шагом τ [17]. Функцию решения $x(t)$ аппроксимируем сеточной функцией $x(t_{j\tau})=x_j,\ j=0,1,2,...,N-1$. Операторы Герасимова-Капуто могут быть аппроксимированы по формулам из работы [10]. С учетом начальных условий (2) после некоторых преобразований

приходим к явной конечно-разностной схеме:

$$x(2) = A_0 x_1 + f_0,\ j = 1,$$

$$x_{j+1} = A_j x_j - B x_{j-1} - B\sum_{k=0}^{j-1} p_k \left(x_{j-k+1} - 2x_{j-k} + x_{j-k-1}\right) - C\sum_{k=1}^{j-1} q_k \left(x_{j-k+1} - x_{j-k}\right) + D_j f_j, \qquad (3)$$

$$A_j = \frac{2A_1 + B_1 - \omega(j\tau)^{-2}}{A_1 + B_1},\ B = \frac{A_1}{A_1 + B_1},\ C = \frac{B_1}{A_1 + B_1},\ A_1 = \frac{\tau^{-\beta}}{\Gamma(3-\beta)},\ B_1 = \frac{\lambda\tau^{-\gamma-1}}{j\Gamma(2-\gamma)}$$

$$D_j = \frac{1}{A_1 + B_1},\ p_k = (k+1)^{2-\beta} - k^{2-\beta},\ q_k = (k+1)^{1-q} - k^{1-q},\ j = 2,\ldots,N-1.$$

Результаты моделирования. Рассмотрим некоторые примеры моделирования эредитарного осциллятора Коши-Эйлера с различными управляющими параметрами по схеме (3).

Пример 1. Значения управляющих параметров возьмем следующими для задачи Коши (1) и (2): $N = 4000, \tau = 0.05, \omega = 100, \lambda = 0.9, \beta = 2, \gamma = 1, x(1) = \dot{x}(1) = 1, f(t) = 0.$

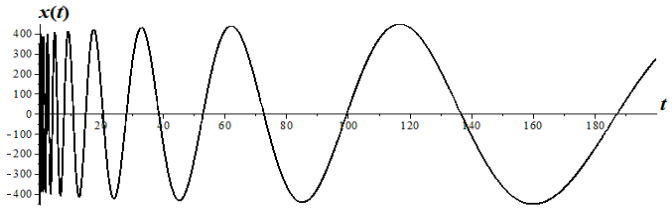


Рис. 1. Решение задачи Коши для эредитарного осциллятора Коши-Эйлера при значении параметров $\beta = 2$ и $\gamma = 1$ (пример 1)

Из рис.1 видно, что численное решение описывает колебательный процесс. Интерес также представляет исследование фазовой траектории колебательной системы. Построим фазовую траекторию для этого случая (рис. 2).

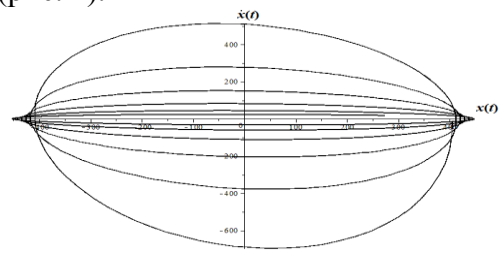


Рис. 2 Фазовая траектория эредитарного осциллятора Коши-Эйлера при значении параметров $\beta = 2$ и $\gamma = 1$ (пример 1)

Фазовая траектория на рис. 3 похожа на фазовую траекторию классического осциллятора Эйри [18]. Уменьшение коэффициента трения и возвращающей силы во времени приводит к сжатию фазовой траектории вдоль оси абсцисс.

Пример 2. Значения управляющих параметров возьмем следующими для задачи Коши (1) и (2): $N = 4000, \tau = 0.05, \omega = 20, \lambda = 0.3, \beta = 1.8, \gamma = 0.5, x(1) = \dot{x}(1) = 1, f(t) = \delta\sin(\varphi t), \delta = 80, \varphi = 3.$

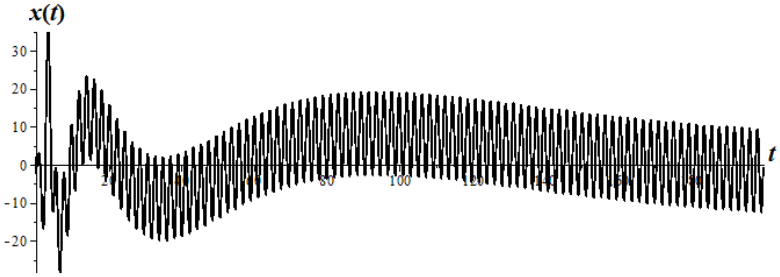


Рис. 3 Расчетная кривая эредитарного осциллятора Коши-Эйлера при $\beta = 1.8$ и $\gamma = 0.5$

Расчетная кривая на рис.3 отличается от рассмотренных выше. Дробные производные порядков β и γ являются аналогоми диссипативных членов в уравнении (1). Однако за счет внешнего периодического воздействия, система выходит на предельный цикл (рис. 4).

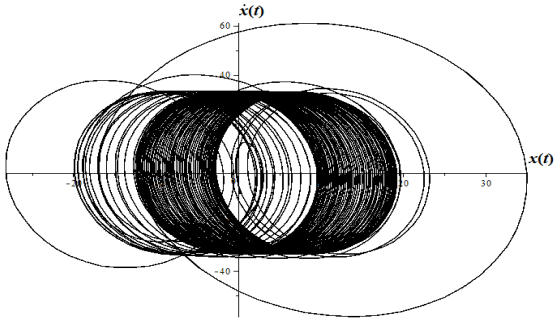


Рис. 4 Фазовая траектория эредитарного осциллятора Коши-Эйлера при $\beta = 1.8$ и $\gamma = 0.5$

Заключение. Математическое моделирование эредитарного осциллятора Коши-Эйлера показало, что учет эредитарности в колебательной системе приводит к диссипации энергии, колебания затухают. Если учитывать внешнее периодическое воздействие, то со временем колебания выходят на стационарный режим, фазовая траектория выходит на предельный цикл. Эредитарные колебательные системы заслуживают пристального изучения, в дальнейшем планируется исследовать эредитарный осциллятор Коши-Эйлера, когда управляющие параметры являются функциями от времени $\beta(t)$ и $\gamma(t)$.

Список литературы

1. *Учайкин В.В.* Метод дробных производных. Ульяновск: Артишок, 2008. 512 с.
2. *Нахушев А.М.* Нагруженные уравнения и их применение. М.: Наука, 2012. 232 с.
3. *Нахушев А.М.* Дробное исчисление и его применение. М.: Физматлит, 2003. 272 с.
4. *Oldham K.B., Spanier J.* The fractional calculus. Theory and applications of differentiation and integration to arbitrary order. London: Academic Press, 1974. 240 p.
5. *Miller K.S., Ross B.* An introduction to the fractional calculus and fractional differntial equations. New York: A Wiley-Interscience publication, 1993. 384 p.
6. *Kilbas A.A.,* Srivastava H. M., Trujillo. J. J. Theory and Applications of Fractional Differential Equations. Amsterdam: Elsevier, 2006. 523 p.
7. *Uchaikin V.V.* Fractional derivatives for physicists and engineers. Volume I. Background and theory. Berlin: Springer, 2013. 373 p.
8. Applications Of Fractional Calculus In Physics // Ed. by R. Hilfer. Singapore, New Jersey, London and Hong Kong: World Scientific Publishing Company, 2000. 472 p.
9. *Petras I.* Fractional-Order Nonlinear Systems. Modeling, Analysis and Simulation. Beijing and Springer-Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 2011. 218 p.
10. *Паровик Р.И.* Математическое моделирование линейных эредитарных осцилляторов. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2015. 178 с.
11. *Петров И.Б., Лобанов А.И.* Лекции по вычислительной математике. М.: БИНОМ, 2006. 523 с.
12. *Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б.* Новое в синергетике. Загадки мира неравновесных структур // Сб. статей под ред. СП Курдюмова, Г.Г. Малинецкого. М.: Наука. 1996.
13. *Sabuwala A. H., Leon D. De.* Particular solution to the Euler-Cauchy Equation with polynomial non-homogeneities // Discrete and continuous dynamical systems. 2011. Vol. 2011, no. Special. P. 1271–1278.
14. *Krsna D., Marcelo G.* Anisotropic stars: Exact solutions // General Relativity and Gravitation. 2002. Vol. 34, no. 11. P. 1793–1818.
15. *Паровик Р.И.* Конечно-разностные схемы для фрактального осциллятора с переменными дробными порядками // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2015. №2(11). С. 88-95.
16. *Паровик Р.И.* Численный анализ некоторых осцилляционных уравнений с производной дробного порядка // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2014. №2(9). С. 30-35.
17. *Марчук Г.И.* Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1977. 456 с.
18. *Паровик Р.И.* О решении обобщенного уравнения Эйри // Доклады Адыгской (Черкесской) Международной Академии Наук. 2014. Т. 16, № 3. С. 64–69

05.13.18

С.Ю. Паскарь

ФГБОУ ВПО «КамГУ им. Витуса Беринга»,
г. Петропавловск-Камчатский, paskarysy@mail.ru

ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОГИЛЬВИ ПЕРЕНОСА РАДОНА В ДВУСЛОЙНОЙ ГЕОСРЕДЕ С ФРАКТАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

В работе предложена математическая модель переноса радона в двуслойной геологической среде с фрактальными свойствами, которая обобщает известную модель Огильви. Модельное уравнение переноса радона было записано в терминах производной Герасимова-Капуто дробного порядка $0<\alpha<1$, решение которого было получено в аналитическом виде и записано с помощью специальной функции типа Миттаг-Леффлера. Далее была проведена визуализация результатов моделирования.

Ключевые слова: *радон, функция типа Миттаг-Леффлера, дробная производная Герасимова-Капуто, фрактальная размерность геосреды.*

Введение. Проблема построения адекватных математических моделей переноса радона в естественной геологической среде (геосреде) является актуальным объектом исследований [1-7]. Это обусловлено тем, что процесс переноса радона является сложным, так как на него влияют различные факторы: структура геосреды, деформационные возмущения, метеоусловия и т.д. Поэтому исследователям приходится пренебрегать некоторыми из них, что приводит к построению математической модели в некотором приближении. Одной из таких моделей является гидродинамическая модель А.Н. Огильви, который в 1928 году предложил ее для описания и прогноза поведения радона в природных водах [1], в последствии она была применена для интерпретации данных изотопного опробования природных вод в 30-х годах прошлого века. В 90-е годы прошлого века модель была адаптирована в работе В.Т. Дубинчука [8] для описания аномальных эффектов в поле почвенного радона, которые можно рассматривать как предвестники землетрясений [9-10].

В настоящей работе мы обобщим модель А.Н. Огильви с помощью учета фрактальных свойств геосреды, которые проявляются ее сильной неоднородностью и сложной топологией порового пространства. Фрактальные свойства приводят к нелокальным эффектам, которые в литературе называют памятью по пространственной и временной координатах и характеризуются фрактальной размерностью [11-14]. Моделирование процесса переноса радона во фрактальной геосреде будем проводить с помощью формализма дробного исчисления, когда целочисленные производные в модельном уравнении заменяются производными дробных порядков, причем эти порядки связаны с фрактальной размерностью геосреды [14,15].

Физико-математическая модель Огильви. Одним из основных механизмов, участвующих в переноса радона, является эманирование. Эманирование – физический процесс выделения в открытые поры породы свободной эманации (радона), которая в природных условиях может мигрировать в газовой или растворённой фазе. Основным явлением, вызывающем эманирование, служит отдача атомов радона (^{222}Rn), образующихся при α - распаде атомов радия (^{226}Ra) [6]. Эманирование пород зависит от физического состояния, вещественного и минерального состава.

Пусть эманирование радона осуществляется в подземную воду, протекающую со скоростью v м/с$^{-1}$ по каналу сечением $S=\pi r^2$ м^2 сквозь фильтрующую породу пористостью η и пересекающему участок длиной l_* м, сложенному породой с повышенной и постоянной удельной скоростью эманирования q г·см·с$^{-1}$ (двуслойный грунт). Расход воды через единицу площади поперечного сечения, фильтрующего через породу, имеет вид: $Q=v\eta S$ м^3·с$^{-1}$. Тогда уравнение изменения радона за счет поступления эманации в воду со стенок канала и ее радиоактивного распада имеет вид [4]:

$$\frac{dC(t)}{dt} = q - \lambda\eta C(t), \qquad (1)$$

где $\lambda = 2.1\cdot10^{-6}$ с$^{-1}$ - константа радиоактивного распада радона, связанная со средним временем жизни атома радона $\tau = \lambda^{-1}$ с; С (t) - объемная концентрация радона, атом/м^3; $t = x/v$, с - время процесса; скорость эманирования q определяется следующим образом:

$$q = \begin{cases} 0, x < 0 \\ q_0 = const, 0 \le x \le l_* \\ 0, x > l_* \end{cases} \qquad (2)$$

Для уравнения (1) задается начальное условие C (0) = 0. Решение задачи (1)-(2) можно записать в виде [4]:

$$C(t) = \begin{cases} 0, x < 0, \\ C_\infty\left[1 - \exp(-\lambda\eta t)\right], 0 \le x \le l_*, \\ C_\infty\left[1 - \exp(-\lambda\eta t_*)\right]\left[\exp\left(-\lambda(\eta t - t_*)\right)\right], x > l_*, \end{cases} \qquad (3)$$

здесь $C_\infty = \frac{q_0}{\lambda\eta}$ - равновесная концентрация радона, t – время пребывания воды и радона в системе на участке длиной x; t_* – время пребывания воды с радоном в активной зоне; $t - t_*$ – время движения воды и компонента до точки наблюдения, находящейся на расстоянии l от края активной зоны.

Обобщенная модель Огильви. Пусть вода с содержанием радона течет со скоростью v м/с$^{-1}$ по каналу сечением $S = \pi r^2$ м^2 через фильтрующую среду (породу) пористостью η, которая обладает фрактальными свойствами и пересекающему участок длиной l^* м, сложенному породой с повышенной и постоянной удельной скоростью эманирования q г·см·с$^{-1}$. В этом случае модельное уравнение (1) обобщается и имеет вид [12]:

$$\partial_{0t}^{\alpha} C(\xi) = q - \lambda\eta C(t), \qquad (4)$$

где $\partial_{0t}^{\alpha} C(\xi) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)}\int_0^t \frac{C'(\xi)d\xi}{(t-\xi)^\alpha}$ - производная в смысле Герасимова-Капуто дробного порядка $0 < \alpha < 1$ [16]; Г (x)- гамма-функция Эйлера. Уравнение (4), в случае $\alpha = 1$, совпадает с уравнением (1). Решение уравнения (4) с учетом соотношения (2) и начального условия C(0) = 0 имеет вид:

$$C(t) = \begin{cases} 0, x < 0, \\ C_\infty\left[1 - E_\alpha\left(-\lambda\eta t^\alpha\right)\right], 0 \le x \le l_*, \\ C_\infty\left[1 - E_\alpha\left(-\lambda\eta t_*^\alpha\right)\right] E_\alpha\left(-\lambda t^\alpha\right) / E_\alpha\left(-\lambda\eta t_*^\alpha\right), x > l_*, \end{cases} \qquad (5)$$

где $E_\alpha(-z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-z)^k}{\Gamma(\alpha k + 1)}$ - специальная функция Миттаг-Леффлера, свойства которой можно найти в книге [17]. Заметим, что в случае $\alpha = 1$ решение (5) переходит в (3).

Результаты моделирования. Расчеты выполнялись в среде компьютерной математики Maple. Для расчета специальной функции Миттаг-Леффлера использовалась компьютерная программа FTML [18]. Параметры моделирования: $C_\infty = 1$ атм/м^3; $\lambda = 2.1\cdot10^{-6}$ с$^{-1}$; $\eta = 0.3$; $t_* = 10^7$ с; $t \in \left[0{,}5\cdot10^7\right]$.

На рисунке приведены расчетные кривые, полученные по обобщенной модели Огильви (5) в зависимости от различных значений параметра α.

Заключение. В работе предложена нелокальная модель Огильви. Расчетные кривые, полученные по этой модели показывают, что концентрация радона в воде зависит не только от времени пребывания ее в активном и неактивных слоях грунта, но и от его фрактальной размерности.

Интерес, например, представляет рассмотрение многослойной модели по аналогии с работой [19] или модели с различными геометрическми формами слоев грунта [20], а также адаптация модели к исследованию аномальных эффектов в поле почвенного радона [9], как в работе [8].

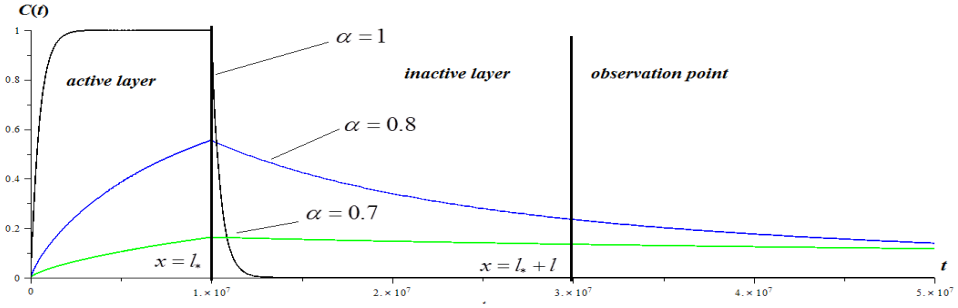


Рисунок. Расчетные кривые, полученные по формуле (5) в зависимости от различных значений параметра α

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № А-16-05-00162.

Список литературы

1. *Огильви А.Н.* О каптаже радиоактивных вод и о колебаниях их радиоактивности в зависимости от дебита // Изд. Бальнеологич. ин-та КМВ. 1928. Т.6. С. 85 – 93.
2. *Граммаков А.Г., Никонов А.И., Тарфеев Г.П.* Радиометрические методы поисков и разведки урановых руд. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 610 с.
3. *Новиков Г.Ф., Капков Ю.Н.* Радиоактивные методы разведки. Л.: Недра, 1965. 759 с.
4. *Гудзенко В.В., Дубинчук В.Т.* Изотопы радия и радон в природных водах. М.: Наука,1987. 159с.
5. *Булашевич Ю.П., Уткин В.И., Юрков А.К., Николаев В.В.* Изменение концентрации радона как предвестник горных ударов в глубоких шахтах // Горный журнал. 1996. № 6. С. 19–22.
6. *Новиков Г.Ф.* Радиометрическая разведка. Л.: Недра, 1989. 407 с.
7. *Паровик Р.И.* Математическое моделирования классической теории эманационного метода. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. В. Беринга, 2014. 120 с.
8. *Dubinchuk V.T.* Radon as a precursor of earthquakes // Isotopic geochemical precursors of earthquakes and volcanic eruption. Proceedings of an Advisory Group Meeting held in Vienna, 9-12 September 1991. Vienna, Austria: IAEA, 1993. P. 6–22.
9. *Фирстов П.П.* Мониторинг объемной активности подпочвенного радона ^{222}Rn на паратунской геотермальной системе в 1997–1998 гг. с целью поиска предвестников сильных землетрясений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1997. № 6. С. 33–43.
10. *Лящук А.И., Павлович В.Н., Руссов В.Д.* Мониторинг концентрации радона как предвестник землетрясений в районе гор Вранча//Геофизический журнал. 2008. Т. 30, №2. С.63–74.
11. *Паровик Р.И.* Математическое моделирования неклассической теории эманационного метода. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. В. Беринга, 2014. 80 с.
12. *Паровик Р.И.* Модель радиоактивного распада // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2012. №1(4). С. 24-30.
13. *Паровик Р.И.* Модель субдиффузии радона во фрактальной пористой среде // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2013. №2(7). С. 46-51.
14. *Учайкин В.В.* Метод дробных производных. Ульяновск: Артишок, 2008. 512 с.
15. *Нахушев А.М.* Дробное исчисление и его применение. М.: Физматлит, 2003. 272 с.
16. *Нахушев А.М.* Нагруженные уравнения и их применение. М.: Наука, 2012. 232 с.
17. *Дрбашян М.М.* интегральные преобразования и представление функции в комплексной области. М.: Наука, 1966. 672 с.
18. *Паровик Р.И.* Особенности вычисления функции Миттаг-Леффлера в системе компьютерной математики Maple // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2012 №2(5). С. 51-61.
19. *Яковлева В.С., Паровик Р.И.* Численное решение уравнения диффузии-адвекции радона в многослойных геологических средах // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2011. №1(2). С. 45-56.
20. *Паровик Р.И.* Математические модели переноса радона в цилиндрическом слое пористого грунта // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №5 С. 278-281.

05.13.06

В.В. Тугов, В.Р. Сабанчин

Оренбургский государственный университет
кафедра управления и информатики в технических системах,
Оренбург, sau@unpk.osu.ru

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ОБЖИГА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ ЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ

В статье производиться исследование системы управления туннельной печи обжига керамического кирпича на основе четких регуляторов с интервальной неопределенностью (ЧРсИН). По сравнению с другими видами регуляторов ЧРсИН имеют большое быстродействие и маленькую погрешность регулирования, что является основой для разработки многомерных ЧРсИН (МЧРсИН).

Ключевые слова: *логические регуляторы, туннельная печь, нечеткое управление, керамический кирпич.*

Существующие системы управления, обычно реализуются на ПИД-регуляторах, которые обладают большой погрешностью регулирования, так как туннельная печь является объектом многомерным, нелинейным и процессы протекающие в ней являются сложными, по этому их невозможно описать достоверными математическими моделями [1].

Четкие регуляторы с интервальной неопределенностью (ЧРсИН) лишены этих недостатков, поэтому возможно их использовать для автоматизации многомерных объектов, которые описываются словесно. Если проводит сравнение с другими видами регуляторов, ЧРсИН имеют большое быстродействие и маленькую погрешность регулирования, что создает основу для создания многомерных ЧРсИН. В них задача компенсации взаимного влияния контуров регулирования решена с помощью специальных систем продукционных правил.

Так как оператор выдает информацию в систему управления словесно, то необходимо применять лингвистические переменные и аппарат теории нечетких множеств для использования в ПИД-регуляторах. Из-за этого качество регулирования в технологических установках снижается, алгоритм функционирования такой системы представлен в словесной форме на рис. 1. [2].

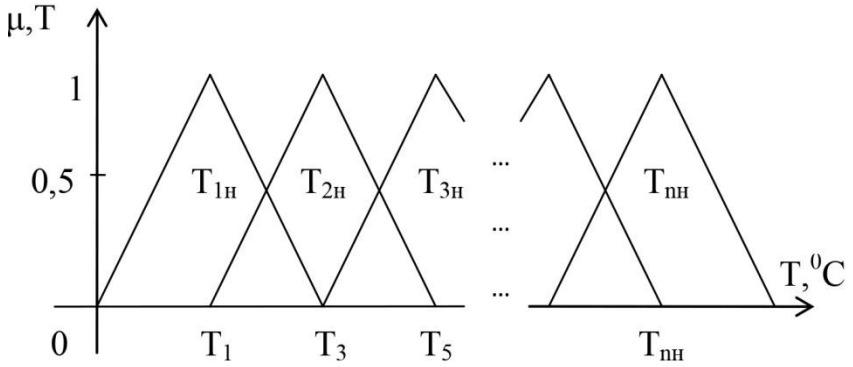


Рис. 1. Представление нечетких термов для управления туннельной печью

В отличие от ТНР логические регуляторы с интервальной неопределенностью (ЛРсИН), в том числе и многомерные (МЛРсИН), более близки к естественному языку и человеческому мышлению, что позволяет разрабатывать алгоритмы управления адекватные реальному технологическому процессу производства керамического кирпича рис. 2

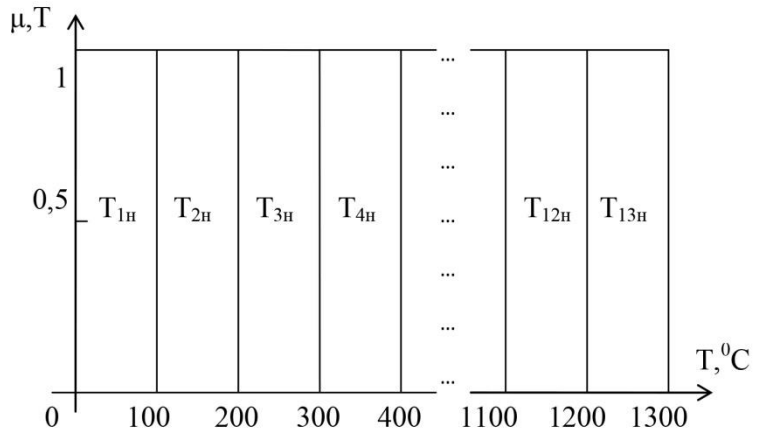


Рис. 2. Графическое представление регуляторных переменных туннельной печи обжига керамического кирпича

Необходимость логического управления туннельной печью для производства кирпича обусловлено сложностью технологического процесса. Так печь обладает большими габаритами, что приводит к запаздыванию и инерционности исполнения управляющих воздействий, кроме того происходит взаимное влияние контуров регулирования через объект управления. Поэтому применение типовых методик проектирования классических регуляторов (ПИД-регуляторов) вызывают затруднения.

В ходе проведения научной работы было разработано алгоритмическое обеспечение управления туннельной печью обжига керамического кирпича с модульной структурой. Его основу составляет укрупненная схема коммутации алгоритмов, управляющих технологическими стадиями туннельной печи

Интерпретация температуры в туннельной печи керамического кирпича описывается совокупностью четких термов на стадии сушки, обжига и охлаждения и имеет следующий вид:

$$
\begin{aligned}
T_{T1} &= \begin{cases} 1, \text{если} GS \cdot (0^0C \le t \le 100^0C); \\ 0, \text{если} (t > 100^0C) \cdot \overline{GS}; \end{cases} \\
T_{T1} &= \begin{cases} 1, \text{если} GS \cdot (0^0C \le t \le 200^0C); \\ 0, \text{если} (t > 200^0C) \cdot \overline{GS}; \end{cases} \\
&\ldots \qquad (1) \\
T_{T7} &= \begin{cases} 1, \text{если} GS \cdot (1100^0C < t \le 1200^0C); \\ 0, \text{если} (t > 1200^0C) \cdot \overline{GS}; \end{cases} \\
T_{T8} &= \begin{cases} 1, \text{если} GS \cdot (1200^0C < t \le 1300^0C); \\ 0, \text{если} (t > 1300^0C) \cdot \overline{GS}. \end{cases}
\end{aligned}
$$

где $GS=GS_1 \cdot GS_2 \cdot GS_3 \cdot GS_4$.

Проведенные расчеты показали, что стадия подъема температуры протекает с минимальными потерями энергии и браком керамического кирпича.

В качестве примера на рис. 3 показана интерпретация регулирующего параметра T_1 совокупностью из 16 четких термов T_{19-}, T_{18-}, ..., T_{11-}, T_{11+}, T_{12+}, ..., T_{18+}, T_{19+}, у которых начало описывается жесткими параметрами, а задний – более правильный (например, $1100^0C<T_{11+}\le 1100^0C$ и т.д.). У термов T_{19-}, T_{18-}, ..., T_{11-}, T_{11+}, T_{12+}, ..., T_{16+}, T_{17+} шаг равен 2^0C, а у термов T_{18+}, T_{19+} – в 2 раза больше. Изображение остальных регулируемых параметров T_2, T_3, T_4, T_5 и T_6 аналогично. [3].

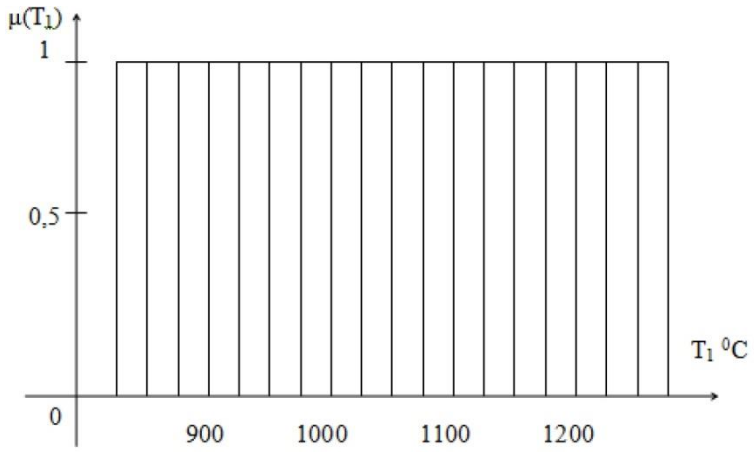


Рис. 3 – Интерпретация регулируемых значений T_1

На рис. 4 представлено терм-множество регулирующего параметра F_1 совокупностью из восьми четких термов $F_{11} \div F_{19}$ шириной 6% от диапазона изменения F_1. Ей соответствует следующее аналитическое выражение для универсального терм-множества:

$$T_{F1} \div T_{F8} = \sum_{i=1}^{9} F_{1i} \cdot ((i-1) \cdot 2 \le F_1 < i \cdot 2). \qquad (2)$$

где i – номер четкого терма.

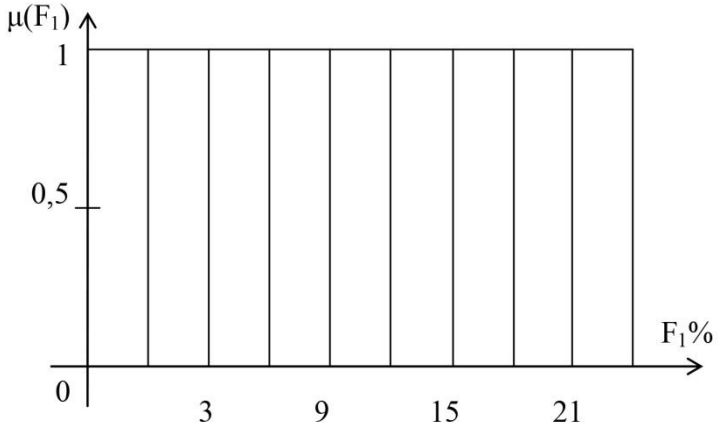


Рис. 4. Интерпретация регулирующего параметра F_1 и четких термов

Таким образом в работе реализовано применение МЧРсИН в системах управления туннельной печью для обжига керамического кирпича, что позволило снизить погрешность влияния контуров регулирования, а также повысить быстродействие системы. Полученные результаты показывают, что четкие регуляторы с интервальной неопределенностью (ЧРсИН) целесообразно использовать в системе управления.

Список литературы

1. *Сабанчин В.Р., Каяшев А.И., Сазонова Т.В., Суликова В.А,* Исследование устойчивости многомерного четкого регулятора температуры с интервальной неопределенностью в системах управления установками термообработки стройматериалов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013.– Т6 – С.316-323.

2. *Сабанчин В.Р., Сазонова Т.В.* Разработка АСУ ТП туннельной печи на основе логических регуляторов при производстве керамического кирпича // Инновационное развитие современной науки: сб.ст. Международной научно-практической конф., (г.Уфа 2014г.,) - Уфа:РИЦ БашГУ, 2014г. – С.317-321.

3. *Бесекерский, В.А., Попов Е.П.* Теория систем автоматического управления: учеб. пособие // СПб.: Профессия, 2004. –С.750.

05.13.17

А.Н. Цуриков, А.Н. Гуда, А.Ж. Карсян

Ростовский государственный университет путей сообщения,
факультет «Информационные технологии управления», кафедра «Информатика»,
Ростов-на-Дону, tsurik7@yandex.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ В СЛАБОФОРМАЛИЗУЕМЫХ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЯХ

Работа посвящена исследованию теоретических основ интеллектуализации решения задач классификации в слабоформализуемых предметных областях. Рассмотрены особенности и подходы к решению задач классификации. Результаты исследования могут использоваться при разработке различных систем поддержки принятия решений.

Ключевые слова: *задачи классификации, интеллектуальные системы, слабоформализуемые знания.*

Введение

Интеллектуализацию определим, как процесс моделирования и воспроизведения с помощью компьютерных средств деятельности человека по решению интеллектуальных задач. Существует принципиальное различие в интеллектуализации хорошо формализуемых и слабоформализуемых предметных областей [1].

Особенность слабоформализуемых областей в том, что в них определяющими факторами выступают умения, профессиональный опыт и интуиция (слабоформализуемые знания эксперта). Основные трудности извлечения таких знаний обусловлены тем, что правила, получаемые в явном виде от эксперта, охватывают лишь простые задачи, а значимую часть знаний эксперт не всегда может выразить вербально в виде правил. Указанная проблема относится к актуальным и до сих пор не решена [2].

В статье слабоформализуемая предметная область будет рассматриваться применительно к ситуациям, объектам и технологическим процессам железнодорожного транспорта, связанным с задачами классификации при возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Обзор задач классификации

Большинство интеллектуальных задач, решаемых лицами, принимающими решения (ЛПР) при ЧС на транспорте, можно отнести к классификационным задачам. Среди них главное место следует отвести задаче оценки (на основе имеющихся данных) масштаба ЧС.

Сформулируем задачу математически. Примем, за Z множество параметров чрезвычайной ситуации, которые известны при ее возникновении, за M множество классов ее масштаба, к которым ЧС может быть отнесена. И существует некая зависимость $z^*: Z \to M$, значения для которой известны лишь на конечной выборке $Z_i = \{(z_i, m_i)\}$, $i = 1,..., k$. Таким образом необходимо описать систему γ: $Z \to M$, способную успешно классифицировать произвольную ситуацию масштаба $m \in M$.

Успешное решение этой задачи можно рассматривать в качестве основы принятия решений. Для систем поддержки принятия решений (СППР) это позволяет определить рекомендуемый ЛПР набор действий в виде соответствия (функции) от типа и масштаба ЧС:

$$F(T, M) \to P, \quad (1)$$

где T – тип ЧС,

M – масштаб ЧС,

P – рекомендуемый для ЛПР набор необходимых действий.

В набор действий P входят такие элементы:

$$(Me, So, In) \in P, \quad (2)$$

где Me – формальные методики расчетов, соответствующие масштабу и типу ситуации, реализованные, как компьютерные программы,

So – советы по рекомендуемому набору действий, формируемые на основе нормативно-технической документации (НТД),

In – сценарии информирования различных ЛПР о возникшей ситуации.

Такой подход позволяет абстрагироваться от сформировавших ЧС принципиально разных процессов и явлений и организовать поддержку принятия решений на базе предполагаемого масштаба ЧС. СППР будет способствовать решению информационных и расчетных задач, основываясь на решении интеллектуальной задачи классификации ЧС.

Особенности интеллектуализации задач классификации

Наблюдаются явные различия между действиями большинства ЛПР и действиями экспертов при решении ими интеллектуальных задач [2]. Поэтому с целью поддержки принятия решений необходимо пользоваться знаниями опытных ЛПР, извлеченными и записанными в СППР.

Под экспертами понимаются компетентные ЛПР, способные успешно справляться с решением большинства интеллектуальных задач, обладающие необходимыми знаниями и навыками принятия решений. Экспертное знание формируется в течение длительного времени при решении задач практического плана.

Большинство проблем с извлечением слабоформализуемых знаний экспертов обусловлено тем фактом, что правила, которые удается получить в явном виде от эксперта, охватывают только самые простые задачи из тех, которые он реально способен решить, при этом значительную часть своего опыта он не в состоянии сформулировать вербально [2].

Решение этой проблемы извлечения экспертных знаний определяет ключевые моменты построения СППР. Проблема является одним из «узких мест» при создании СППР основанных на знаниях [1]. Задача серьезно осложняется тем фактом, что в область слабоформализуемых знаний попадают ситуации, которые редко встречаются на практике. Однако именно в таких ситуациях ответственные лица в наибольшей степени нуждаются в поддержке [3].

В качестве образца проиллюстрируем это графически (рис. 1) на примере двухклассовой классификации линейно сепарабельных ситуаций.

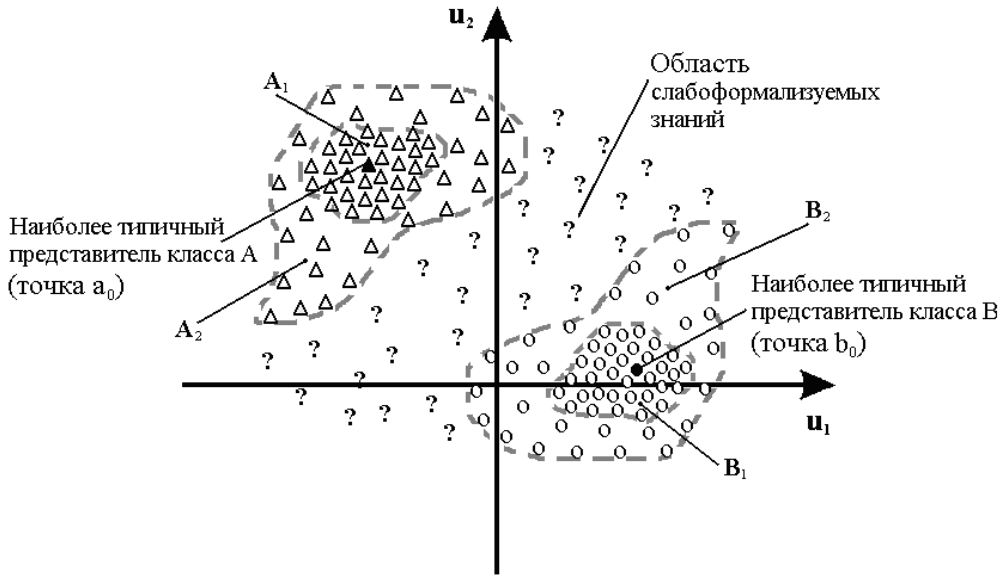


Рис. 1 – Графическая интерпретация слабоформализуемых знаний

На рис. 1 вектор $u = [u_1, u_2]$ исследуемых признаков, описывающих некую ситуацию, состоит из признаков u_1 и u_2 откладываемых по осям координат. Эксперт, основываясь на своих знаниях и опыте, должен классифицировать произвольную ситуацию U, отнеся ее к одному из возможных классов (A или B). Поскольку классы лежат в двух разных полупространствах, то они должны быть разделены линией, обычно называемой решающей границей.

Показано в статье [4], что эксперт на практике часто встречается с ситуациями, которые принадлежат небольшим областям A_1 и B_1, которые находятся в окрестностях точек $a_0 \in A_1$ и $b_0 \in B_1$, описывающих так называемых «наиболее типичных представителей» этих классов.

Евклидово расстояние

$$R(a_0, b_0) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (u_{ia} - u_{ib})^2}\ , \qquad (3)$$

где $n = 2$ (так как всего две координаты),

между точками a_0 и b_0, которые описывают наиболее типичных представителей двух классов, много больше расстояния от точки a_0 до границ области A_1 (аналогично B_1).

Для областей A_1 и B_1 эксперты с легкостью могут сформулировать правила классификации, которыми они пользуются. Ситуации из областей A_2 и B_2 (и не принадлежащие к A_1 и B_1) встречаются намного реже, здесь эксперту трудно формулировать правила классификации, но он еще может это сделать.

Область слабоформализуемых знаний находится далее, между A_2 и B_2. Здесь проходит решающая граница, но так как в этой области находятся очень редко встречающиеся на практике ситуации, а при классификации эксперт использует только слабоформализуемые знания, то практически невозможно определить, где должна быть проведена решающая граница (т.е. найти задающее эту линию уравнение).

В публикации [2] ее автор провел серию экспериментов, подтвердивших, что при классификации эксперт в явном виде не использует какие-либо правила разделения классов (т.е. уравнения, задающие решающие границы), но при этом способен точно отнести ситуации из слабоформализуемых областей знаний к их классам.

Установлено [4], что почти всегда эксперты способны достаточно корректно описать признаки (и указать их числовые значения) «наиболее типичных представителей» каждого класса. Таким образом, всегда можно точно описать точки a_0 и b_0, принадлежащие областям A_1 и B_1:

$$\exists\, a_0,\ a_0 \in A_1 \quad \text{и} \quad \exists\, b_0,\ b_0 \in B_1 \qquad (4)$$

Определение особенностей работы эксперта, открывает возможность извлечения слабоформализуемых знаний и интеллектуализации СППР.

Подходы к решению задач классификации

Как указывалось ранее, практически невозможно определить адекватные продукционные правила для слабоформализуемых областей знаний.

Ряд авторов [1] предлагает для решения проблемы выделить из пространства признаков области, для которых нет достаточных данных, и просто исключить их из моделирования, указав, что в них созданная модель неработоспособна. Указанный способ не подходит для выбранной области, поскольку именно при редко встречающихся ЧС не обладающие достаточным опытом ЛПР нуждаются в поддержке в наибольшей степени.

В других подходах используют методы машинного обучения, среди которых выделяются искусственные нейронные сети (ИНС), позволяющие создавать системы для слабоформализуемых областей. Известно [4], что обученные ИНС способны эффективно справляться с решением задач классификации. На основе ИНС и их вариаций создано и находится в разработке множество систем, созданных для поддержки принятия решений в различных областях, включая транспорт.

К одним из популярных [5] способов машинного обучения ИНС относится *supervised learning* – «обучение с учителем», в ходе которого ИНС обучается на основе предъявления ей наборов пар «стимул-реакция», состоящих из обучающих и эталонных векторов.

Точность имитации деятельности человека-эксперта с помощью ИНС во многом зависит от полноты и достоверности обучающей выборки, что трудно обеспечить на практике, особенно для слабоформализуемых областей. Отсутствие необходимого ряда наблюдений не позволяет сформировать требуемое число векторов для обучения ИНС.

Существует способ обучения ИНС [1], при котором она следит за предпринимаемыми ЛПР действиями и обучается действовать подобно ЛПР. Однако некоторые ЧС могут происходить редко, поэтому на такое обучение ИНС потребуется слишком много времени (месяцы, годы).

Для преодоления этих недостатков необходима разработка нового метода для обучения ИНС, позволяющего производить их обучение на основе слабоформализуемых знаний эксперта за приемлемое время. Метод должен позволять обучить ИНС так, чтобы она содержала знания эксперта и имитировала элементы его интеллектуальной деятельности.

Оригинальный метод обучения ИНС на основе знаний эксперта, позволяющий преодолеть указанные трудности, предложен авторами в работах [3, 4] и запатентован [5].

Заключение

Из задач классификации, решаемых ЛПР, центральное место занимает задача оценки масштаба ЧС, которая выступает в качестве определяющей при выборе набора действий. Большинство задач классификации относится к слабоформализуемым областям, где проблемой является извлечение знаний. Эксперты почти всегда способны корректно указать признаки «наиболее типичных представителей» классов. При классификации эксперты не используют правила, но способны отнести ситуации из слабоформализуемых областей к их классам. Перспективными для СППР являются технологии ИНС, но отсутствие ряда наблюдений не позволяет сформировать обучающие пары, что определяет новый метод обучения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-08-01886 А.

Список литературы

1. *Васильев С.Н.* Интеллектное управление динамическими системами / С.Н. Васильев, А.К. Жерлов, Е.А. Федосов, Б.Е. Федунов – М.: Физико-математическая литература, 2000. – 352 с.
2. *Кочин Д.Ю.* Построение баз экспертных знаний для интеллектуальных обучающих систем: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук по спец-ти 05.13.01. – Москва: Институт системного анализа РАН. – 2006 г. – 24 с.
3. *Цуриков А.Н.* Принципы построения интеллектуальной советующей системы управления и оповещения при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте / *А.Н. Цуриков, Н.К. Домницкий, А.Н. Гуда, О.И. Веревкина* // Технологии гражданской безопасности. – Москва, 2013. – Т. 10. № 3 (37). – С. 74-78.
4. *Цуриков А.Н.* Способ обучения искусственной нейронной сети на основе знаний эксперта // Инновации в науке. – Новосибирск, 2012. – № 13-1. – С. 6-21.
5. Патент 2504006 Российская Федерация. МПК G06N3/08. Способ обучения искусственной нейронной сети / *А.Н Цуриков.* – № 2012123310/08, заяв. 05.06.2012; опубл. 10.01.2014.

05.13.10

А.В. Шорохова

Сибирский государственный индустриальный университет, институт экономики и менеджмента, кафедра экономической теории и предпринимательской деятельности, Новокузнецк, shoroxova_a@mail.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ СОЦИОКУЛЬТУРНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИЕЙ ОСВОБОЖДЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В работе представлены результаты моделирования альтернативных вариантов процессов переработки и использования отходов с последующей социокультурной рекультивацией освобожденных территорий, обеспечивающие снижение техногенной нагрузки на окружающую среду, сокращение площади отчужденных земель, уменьшение экологических выплат и себестоимости продукции, полученной из отходов.

Ключевые слова: *моделирование, рекультивация, отходы, угольные предприятия, рекреационные зоны.*

Отрицательное воздействие на природную среду усиливается в связи с интенсификацией производства, и одно из первых мест по уровню загрязнений занимает угольная отрасль. Увеличивается рост объемов добычи и переработки угля и соответственно, отходов. Значительная часть техногенных ресурсов не используется, а накапливается в отвалах и отстойниках угольных предприятий [1]. Площадь отчужденных земель для складирования техногенных ресурсов в некоторых угледобывающих регионах превышает площадь населенных пунктов. В настоящее время экологические проблемы в угледобывающих регионах достигли предельно высокого уровня.

Одним из направлений снижения негативного воздействия на окружающую среду в угледобывающих регионах является переработка отходов производства. В качестве одного из вариантов использования освобожденных земель после утилизации отходов предлагается социокультурная рекультивация для создания искусственных зон отдыха населения. С этой целью была разработана [2] модель процессов переработки и использования отходов с высвобождением и восстановлением нарушенных земель. Алгоритм моделирования состоит из 12 этапов [3]: формирование проблемной ситуации; ввод исходных данных; формирование альтернативных вариантов по переработке отходов и созданию рекреационных зон; расчет затрат на рекультивацию; расчет стоимости и себестоимости продукции (из отходов); расчет предотвращенного экономического ущерба; соответствие ограничениям; расчет целевой функции; формирование результатов моделирования; расчет показателей экономической эффективности; выбор оптимального варианта.

В целях исследования в среде Matlab-Simulink было проведено моделирование процессов переработки и использования отходов с последующей социокультурной рекультивацией освобожденных территорий. При моделировании было принято, что рост инфляции останется на уровне 2014 г. Результаты моделирования представлены на рисунках 1-3.

Как видно из рисунков 1-3 на временном отрезке с 2014 по 2033 г. наблюдается снижение себестоимости продукции (полученной из отходов) и увеличение прибыли, что объясняется снижением затрат на экологические штрафы и выплаты за хранение отходов, их транспортировку и снижение концентрации вредных веществ в почве, воде и воздухе.

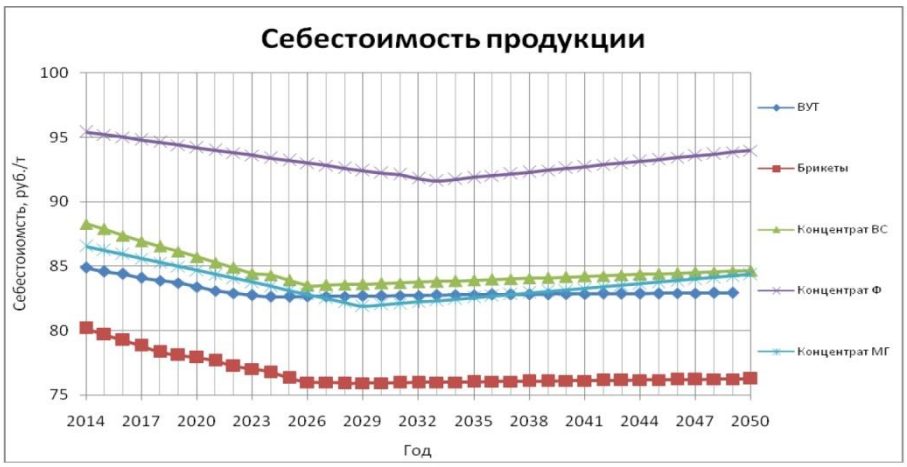


Рис. 1 – Динамика изменения себестоимости дополнительной продукции, полученной из отходов

В 2033 году отмечается минимальная себестоимость продукции, и как следствие, максимальная прибыль, поскольку произведена полная выемка отходов из отвалов.

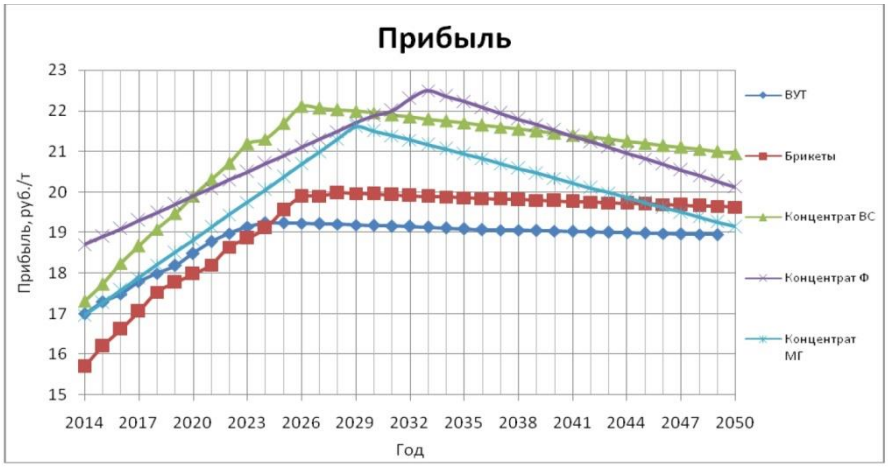


Рис. 2 - Динамика изменения прибыли от реализации дополнительной продукции, полученной из отходов

Начиная с 2034 года, прогнозируемая себестоимость продукции возрастает, прибыль убывает, что обусловлено снижением предотвращенного экономического ущерба вследствие выемки отходов из отвалов и увеличением дополнительных расходов, направленных на создание рекреационных зон. Начиная с 2050 года, прибыль в результате использования рекреационных зон возрастает.

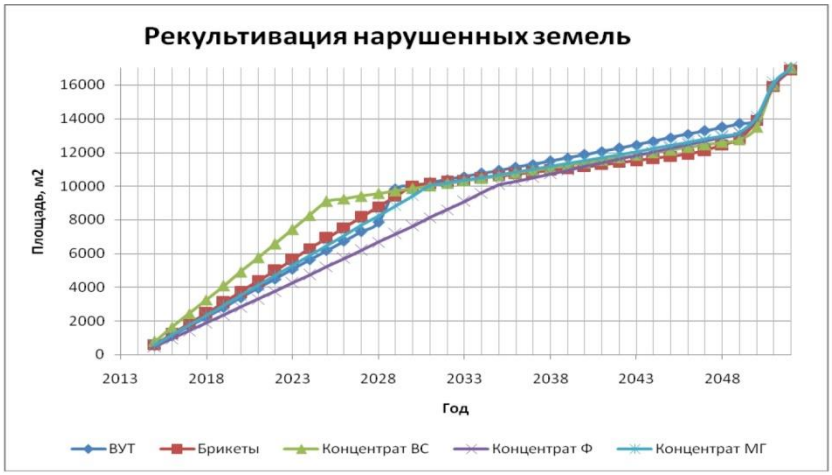


Рис.3 – Динамика поэтапного восстановления нарушенных земель

Из рисунка 3 следует, что на временном отрезке с 2015 г. по 2035 г. наблюдается максимальный рост восстановления нарушенных территорий в связи с переработкой отходов и высвобождением земель. С 2035 года после полной выемки техногенных ресурсов из отстойника темп процесса рекультивации снижается в связи с дальнейшей эксплуатацией угольного предприятия.

В 2048 году организация прекращает свое функционирование. Начиная с 2048 г. наблюдается резкий рост восстановления оставшихся земель (демонтаж зданий или их реконструкция) и постройка необходимых элементов, сооружений для создания на территории рекреационных зон. С 2050 года в эксплуатацию вводятся рекреационные зоны. По результатам моделирования выбрано пять наилучших альтернативных вариантов управления процессами переработки отходов и создания рекреационных зон, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Альтернативные варианты процессов переработки и использования отходов с последующей рекультивацией

Идентификатор	Характеристика	Показатели
ВУТ	Переработка угольного шлама в водоугольное топливо	Себестоимость 85,18. Производительность 100 т/ч. Срок окупаемости проекта 2,3 года
Брикеты	Переработка угольного шлама в топливные брикеты	Себестоимость 80,18. Производительность 80 т/ч. Срок окупаемости проекта 1,8 года
Концентрат ВС	Получение из угольного шлама концентрата с помощью гравитационного обогащения (винтовые сепараторы)	Себестоимость 88,89. Производительность 100 т/ч. Срок окупаемости проекта 2,5 года
Концентрат Ф	Получение из угольного шлама концентрата с помощью флотационных методов обогащения	Себестоимость 95,4. Производительность 80 т/ч. Срок окупаемости проекта 4 года
Концентрат МГ	Получение из угольного шлама концентрата с помощью гравитационного обогащения (масляная грануляция)	Себестоимость 86,53. Производительность 100 т/ч. Срок окупаемости проекта 2,8 года

Таким образом, как видно из результатов моделирования, альтернативные варианты процессов переработки отходов с последующей рекультивацией нарушенных земель обеспечивают сокращение негативной деятельности производства, снижение площади нарушенных земель и себестоимости продукции (из отходов) за счет использования техногенных ресурсов и уменьшения экологических выплат, получение прибыли от реализации продукции (из отходов) и создания торговых и развлекательных комплексов на восстановленных территориях.

Список литературы

1. *Использование и обезвреживание отходов производства и потребления по видам экономической деятельности по Российской Федерации* [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики. – Режим доступа: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/oxrana/tabl/oxr_otxod2.htm.

2. *Шорохова А.В.* Экономико-математическая модель процессов утилизации и использовании отходов угольных предприятий для создания рекреационных зон / А.В. Шорохова, О.В. Дмитриева, В.Н. Фрянов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. - № 12. – с. 294-296.

3. *Шорохова А.В.* Алгоритм моделирования процессов переработки отходов с последующей рекультивацией нарушенных территорий угледобывающих регионов/ А.В. Шорохова // Научно-технический вестник Поволжья. –2015. – №5. – с. 324-327.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

И.Е. Илларионов, В.К. Половняк, И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов

РАЗРАБОТКА ЗАКАЛОЧНОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ В СИСТЕМЕ N_2H_4CO – $NH_2C_2H_4OH$ – H_2O ПРИ 25°С

Ключевые слова: тройная система, растворимость, свойства жидкой фазы, карбамид, моноэтаноламин, закалочная среда, прибор ТК-2, метод Роквелла, твердость стальных изделий (НРСэ), трещины на изделиях, коррозионно-усталостные испытания.

В работе представлены результаты исследования тройной системы N_2H_4CO – $NH_2C_2H_4OH$ – H_2O при 25°С методами изотермической растворимости, денси-, рефракто- и pH-метрии. Установлено, что карбамид взаимодействует с моноэтаноламином с образованием двойного соединения карбамид моноэтаноламмония в соотношении 1: 1. Изучено влияние водного раствора полученного соединения различной концентрации на твердость изделий при термической обработке металлов. Показано, что закалка деталей с использованием вновь разработанной среды повышает твердость изделий из широкого спектра марок сталей и раствор является неагрессивной в коррозионном отношении.

I.Ye. Illarionov, V.K. Polovnik, I.V. Fadeyev, Sh.V. Sadetdinov

DEVELOPMENT OF THE QUENCHING MEDIUM ON THE BASIS OF PHASE EQUILIBRIA IN THE SYSTEM N_2H_4CO – $NH_2C_2H_4OH$ – H_2O AT 25°C

Keywords: triple system, solubility, properties of the liquid phase, urea, monoethanolamine, quenching medium, the instrument of TC-2, the method of Rockwell, the hardness of steel products (NRSA), cracked products, corrosion-fatigue tests.

The paper presents the results of a study of the ternary system N2H4CO – NH2C2H4OH – H2O at 25°C by the methods of isothermal solubility, dense-, refracto - and pH-metry. Found that urea interacts with the monoethanolamine with the formation of double compounds of urea monoethanolamine in a 1: 1 ratio. The influence of the aqueous solution of the obtained compound in various concentrations on the hardness of products during heat treatment of metals. It is shown that hardening of the parts using the newly developed environment increases the hardness of products from a wide range of steels and the solution is non-aggressive in corrosion respect.

В.В. Дружинин

РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИОФАНТОВЫХ УРАВНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ОБОБЩЕННОЙ ТЕОРЕМЫ ФЕРМА-ЭЙЛЕРА

Ключевые слова: Критерий Эйлера, символ Лежандра, обобщенная теорема Ферма-Эйлера, диофантово уравнение.

На базе обобщенной теоремы Ферма-Эйлера предложен алгоритм решения нелинейных диофантовых уравнений с различными параметрами. Обобщена теорема Эйлера-Лежандра для таких квадратичных уравнений.

V.V. Druzhinin

SOLUTION OF NON LINEAR DIOHYANTINE EQUATIONS USING THE GENERALIZED FERMA-EULER THEOREM

Keywords: The criterion of Euler, Legendre symbol, generalized Fermat-Euler theorem, Diophantine equation.

On the basis of generalized Fermat-Euler 's theorem algorithm is proposed to solution nonlinear Diophantine equations with different parameters. Generalized Legendre - Euler's theorem for such quadratic equations.

Д.Ю. Иванов, Р.И. Дзержинский

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ РОБЕНА ДЛЯ ДВУМЕРНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ОПЕРАТОРНЫХ УРАВНЕНИЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ В ПРЯМОМ ЦИЛИНДРЕ

Ключевые слова: уравнение теплопроводности, краевая задача, граничное интегральное уравнение, единственность, существование, потенциал.

С помощью векторных потенциалов получено решение двумерных задач Робена, соответствующих начально-краевым задачам теплопроводности в однородном прямом цилиндре. Задачи теплопроводности характеризуются неоднородными граничными условиями третьего рода на боковой поверхности цилиндра, нулевыми граничными условиями первого, второго или третьего рода на основаниях цилиндра и нулевым начальным условием. Ранее такое решение было получено для аналогичных задач Дирихле и Неймана.

D.Yu. Ivanov, R.I. Dzerzhinskij

SOLUTION OF TWO-DIMENSIONAL ROBIN PROBLEMS, CORRESPONDING TO INITIAL-BOUNDARY VALUE PROBLEMS OF HEAT CONDUCTION IN A DIRECT CYLINDER, USING VECTOR POTENTIALS

Keywords: heat equation, boundary problem, boundary integral equation, uniqueness, existence, potential.

With vector potentials it's obtained the solution of two-dimensional Robin problems corresponding to initial-boundary value problems of heat conduction in a uniform direct cylinder. The heat conduction problems are characterized by nonhomogeneous boundary conditions of the third kind on the lateral surface of the cylinder, zero boundary conditions of the first, second or third kind on the cylinder bases and zero initial condition. Previously, such a solution was obtained for similar Dirichlet and Neumann problems.

Д.И. Дьяченко, В.Т. Фомичев

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ СВЕРХТОНКИХ ПОКРЫТИЙ НИКЕЛЯ ИЗ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ХОЛИН ХЛОРИДА

Ключевые слова: холин хлорид, эвтектическая смесь, ионные жидкости, электролиты для «зеленой» химии, электрохимическое осаждение, сверхтонкие пленки.

В работе исследовались закономерности разряда ионов никеля из ионных жидкостей различного состава на основе холин хлорида. Установлено влияние температуры и концентрации соли никеля на скорость и качество электроосажденных сверхтонких пленок металла. На основании анализа стационарных циклических вольтамперных кривых установлены потенциалы электроосаждения никелевых покрытий различной структуры, позволяющие формировать как гладкие качественные пленки, так и порошковые покрытия заданного состава и свойств.

D.I. Dyachenko, V. T. Fomichev

ELECTROCHEMICAL PRODUCTION OF ULTRATHIN COATINGS OF NICKEL FROM IONIC LIQUIDS BASED ON CHOLINE CHLORIDE

Keywords: choline chloride, eutectic mixture of ionic liquid electrolytes for "green" chemistry, electrochemical deposition, ultra-thin films.

This article presents the results of a study of behavior of discharge of nickel ions from the ionic liquids of various compositions based on choline chloride. The influence of temperature and salt concentration of nickel in the speed and quality of the deposition of ultrathin films of metal are established. Based on the analysis of stationary cyclic current-voltage curves are set potentials electrodeposition of nickel coatings with different structures, allowing the formation of a smooth high-quality film and powder coating of a given composition and properties.

А.В. Потапова, А.В. Соколова, Е.В. Гусева

КАЛИКС[4]РЕЗОРЦИНЫ: ТРЕХМЕРНЫЕ ЛИГАНДЫ ДЛЯ КАТАЛИЗАТОРОВ БУДУЩЕГО

Ключевые слова: каликс[4]резорцины, фосфор, родий, катализ.

Одним из интенсивно развивающихся и наиболее перспективных направлений создания новых катализаторов является выбор в качестве лигандов супрамолекул. К настоящему времени в литературе накоплен значительный опыт по синтезу и изучению реакционной способности в реакциях комплексообразования органических макроциклических молекул-рецепторов (краун-эфиры, декстрины, каликсарены). Среди них выделяются каликс[4]резорцины, функционализация которых приводит к созданию структур с различными свойствами. В настоящее время среди большого числа исследований комплексов металлов с макроциклическими лигандами число работ, посвященных изучению реакционной способности и особенностям комплексообразования соединений Rh(II) и Rh(III) с фосфорфункционализированными каликс[4]резорцинами в неводных растворителях, а также влиянию солей Rh(II), Rh(III) на ход реакции и состав выделяемых продуктов, ограничено.

A.V. Potapova, A.V. Sokolova, E.V. Guseva

CALIX[4]RESORCINES: THREE-DIMENSIONAL LIGANDS FOR CATALYSTS OF THE FUTURE

Keywords: calix[4]resorcine, phosphorus, rhodium, catalysis.

One of the most rapidly developing and promising development trends of new catalysts is the choice as the ligands supramolecules. To date, the literature has accumulated considerable experience in synthesis and study the reactivity of macrocyclic molecules (crown ethers, dextrin, calixarenes) in complexation reactions. Among them are the calix[4]resorcines; their functionalization has leads to the creation of structures with different properties: donor groups can be fixed on the top or bottom rim of the molecules of the calix[4]resorcines. Today, among the large number of studies of complexes of platinum metals with macrocyclic ligands the number of papers devoted to the study of reactivity and complexation features of salts Rh (II, III) with phosphorus functionalized calix[4]resorcine in nonaqueous solvents, and the influence of salt Rh (II, III) to the reaction and the composition of reaction products, are limited.

О.В. Рябова, Д.В. Терин, Е.А. Савельева, А.А. Танцерев, А.И. Финаенов

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКРАШИВАНИЯ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В РАСТВОРАХ НА ОСНОВЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ШЛАМОВ ИМПУЛЬСНЫМ ТОКОМ

Ключевые слова: математическое моделирование, оксидирование алюминия, потенциал подъема.

Составлена математическая модель методом планирования полного факторного эксперимента процесса формирования цвета оксидной пленки на сплавах алюминия при поляризации импульсным током в растворах на основе отходов гальванических производств. На основании полученных уравнений рекомендован режим окрашивания оксидной пленки в черный цвет.

O.V. Ryabova, D.V. Terin, E.A. Savel'eva, A.A. Tancerev, A.I. Finaenov

OPTIMIZATION OF PROCESS OF ELECTROCHEMICAL PAINTING OF ANODIC OXIDE OF ALUMINIUM IN SOLUTIONS ON BASIS OF GALVANIC SHLAMOV BY IMPULSIVE CURRENT

Keywords: mathematical design, oxidizing of aluminum, potential of getting up.

A mathematical model is made by the method of planning of complete factor experiment of process of forming of color of sull on the alloys of aluminum during polarization an impulsive current in solutions on the basis of wastes of galvanic productions. On the basis of the got equalizations the mode of painting of sull is recommended in a black.

В.В. Хасанов, Р.Д. Ульбашева

СИНТЕЗ СУБМИКРОННЫХ МАГНИТНЫХ КРИСТАЛЛИТОВ НА ОСНОВЕ $BaFe_{12}O_{19}$ ИЗ B_2O_3-СОДЕРЖАЩИХ ОКСИДНЫХ СТЕКОЛ

Ключевые слова: гексаферрит бария, магнитные свойства, температура Кюри.

Работа посвящена исследованию раствор-расплавного синтеза субмикронных порошков гексаферрита бария из B_2O_3-содержащих растворов-расплавов. Изучены фазовые равновесия в 7 политермических сечениях псевдотройной оксидной системы B_2O_3 – BaO – Fe_2O_3 и построена ее фазовая диаграмма состояния, выявлены границы области кристаллизации гексаферрита в искомой системе.

V.V. Khasanov, R.D. Ulbasheva

SYNTHESIS OF SUBMICRONIC MAGNETIC CRYSTALLITES ON THE BASIS OF $BaFe_{12}O_{19}$ FROM B_2O_3-OXYDE CONTAINING GLASSES

Keywords: hydroxide ferrum, Barium magnetic property, Kury temperature.

This work is devoted to research of solution-molten chemical products submicronic powders hydroxide ferrum barium from B_2O_3 that contains solutions-molten. The phase equilibrium to seven polithermal sections as like third oxide system B_2O_3 – BaO – Fe_2O_3 and build it to the phase diagram of status, identified borders of area of crystallisation of $BaFe_{12}O_{19}$ in required system are reveale.

А.Р. Фардеев, А.М. Абдуллина

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ВЕТРОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ С ГИДРОПРИВОДОМ И ТРУБОПРОВОДА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СКОРОСТИ ВЕТРА И КОЛИЧЕСТВА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Ключевые слова: технологический процесс, циркуляция смазочно-охлаждающих средств, машиностроительное предприятие, потребный напор, характеристика насоса, рабочая точка.

В статье предложено модернизировать технологический процесс циркуляции смазочно-охлаждающих средств, необходимых для работы металлообрабатывающих станков машиностроительного предприятия, путем введения ветродвигателя вместо электродвигателя с целью экономии электроэнергии. Рассмотрена работа ветронасосной установки с гидроприводом, используемой для подачи загрязненной жидкости в фильтры. Путем построения кривой потребного напора и характеристики насоса найдена рабочая точка. Исследованы различные положения этой точки при изменении скорости ветра и количества потребителей.

A.R. Fardeyev, A.M. Abdullina

COOPERATION OF THE WINDPUMPING ENGINE WITH HYDRAULIC DRIVE AND THE PIPELINE AT THE CHANGES OF THE WINDSPEED AND THE NUMBER OF USERS

Keywords: technological process, lubricating-cooling means circulation, engineering enterprise, needful pressure, pump characteristics, operating point

The technological process upgrading of lubricating-cooling means circulation, necessary for the work of metalworking machines of an engineering enterprise with the help of using a windturbine instead of an electric motor with the purpose of saving electric power is suggested in the article. The work of windpumping engine with hydraulic drive used for polluted liquid delivering into the filter is reviewed. The operating point is found by means of scheming the needful pressure and the pump characteristics. Different positions of this point at the windspeed changes and the number of users are researched.

В.В. Харьков

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛО– И МАССООБМЕНА ПРИ КОНЦЕНТРИРОВАНИИ СОКОВ В ВИХРЕВОЙ КАМЕРЕ

Ключевые слова: вихревая камера, моделирование, испаряющаяся капля, концентрирование, сок.

Предлагается методика математического моделирования тепло– и массообмена в вихревой камере для концентрирования соков. Модель основана на динамике испаряющихся капель жидкости в закрученном потоке газа. На примере яблочного сока исследовано влияние кратности рециркуляции жидкости в вихревой камере на степень концентрирования конечного продукта.

V.V. Kharkov

HEAT–AND–MASS TRANSFER SIMULATION OF JUICE CONCENTRATION IN THE VORTEX CAMERA

Keywords: vortex camera, modeling, evaporating drop, concentration, juice

Heat and mass transfer modeling of the vortex chamber for juice concentration is given. A detailed math model is based on a description of evaporating droplet dynamics in swirling gas flow. The paper shows the influence of liquid circulation ratio in the vortex camera on concentration efficiency.

А.А. Кузнецов

КОМПЛЕКСИРОВАННЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ИЗНОСА И ТЕМПЕРАТУРЫ ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Ключевые слова: трущиеся поверхности, комплексированные волоконно-оптические датчики, брэгговские структуры, износ, температура.

В статье рассмотрены принципы построения волоконно-оптических датчиков износа и

A.A. Kuznetsov

COMPLEXED WEAR AND TEMPERATURE FIBER-OPTIC SENSORS FOR FRICTION SURFACES

Keywords: friction surfaces, complexed fiber-optic sensors, Bragg structure, wear, temperature.

The paper describes the principles of wear and temperature fiber optic sensors (FOSWT), embedded into the friction surface, on the basis of different types Bragg structures (BS). Unlike existing FOS, developed

температуры (ВОДИТ) трущихся поверхностей на основе брэгговских структур (БС) различного типа. В отличие от существующих разработанные ВОДИТ являются комплексированными и способны одновременно измерять температуру по сдвигу центральной длины волны лазерного излучения, отраженного БС, и величину износа – по изменению ее длины. При разрешении интеррогатора по длине волны в 2 пм разрешающая способность ВОДИТ по температуре составит 0,2 °С. Погрешность измерения величины износа определяется стабильностью амплитудных параметров лазерного излучения и составляет доли микрометров.

FOSWT are complexed and are able to measure simultaneously the temperature of surface by the shift of the laser radiation central wavelength reflected from BS, and the wear - by change of BS length. At wavelength interrogator resolution of 2 pm FOSWT resolution by temperature will be equal to 0.2 °C. Measurement error by the wear is determined by stability of laser radiation amplitude parameters and has a value in the fraction of micrometers.

Г.Р. Таирова, Ю.Б. Томус

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ СЫРОЙ НЕФТИ АНАЛИЗОМ ПРОБ, ВЛАГОМЕТРИЕЙ И ПЛОТНОСТНЫМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ

Ключевые слова: отбор пробы, сырая нефть, погрешности, автопробоотборник.

В статье представлена сравнительная оценка погрешностей определения влагосодержания сырой нефти в результате анализа проб сырой нефти, полученных автопробоотборником, данных влагометрии и плотностных измерений сырой нефти и ее компонентов.

G.R. Tairova, Y.B. Tomus

EVALUATION ESTIMATES CRUDE OIL DETERMINE THE MOISTURE CONTENT OF SAMPLE ANALYSIS, HYGROMETERS AND DENSITY MEASUREMENT

Keywords: sampling, crude oil, evalution, auto sampler.

The article presents a comparative assessment of errors in determining the moisture content of crude oil as a result of the analysis of samples of crude oil produced avtoprobootbornikom, moisture metering data and density measurements of crude oil and its components.

И.А. Акимов, А.И. Акимов, Е.О. Каракулина

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ПЕРВОМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА НЕКОТОРЫХ ТИПОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСТАНОВКАХ ШОЛЬЦА

Ключевые слова: композиционные материалы, многослойные конструкции, полимеризация, термические сопротивления, условия сопряжения, установка Шольца, фазовый переход.

В данной работе представлены результаты изучения теплопередачи в многослойных изделиях прямоугольной формы на этапе предварительного разогрева, т.е. до начала процесса полимеризации.

I.A. Akimov, A.I. Akimov, E.O. Karakulina

RESEARCH AND DEVELOPMENT MATHEMATICAL MODEL ON THE FIRST STAGE OF PRODUCTION OF CERTAIN TYPES OF COMPOSITE MATERIALS IN THE INSTALLATION SCHOLZ

Keywords: composite materials, multilayer structure, polymerization, thermal resistance, coupling conditions, installation Scholz, the phase transition.

This paper presents the results of a study of heat transfer in multi-layer product of rectangular shape in the pre-heating, in prior to the polymerization process.

И.А. Акимов, В.В. Тугов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВИАКОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: источники процесса деградации, надежность, композиционные материалы, отказ.

Предложена методика контроля надежности изделия из композиционных материалов, основанная на определении источников процесса деградации в технологическом процессе. Для определения источников процесса деградации использовался многофакторный анализ параметров технологического процесса для выявления степени отклонения. Выявлено влияние погрешностей на эксплуатационные характеристики изделий из композиционных материалов.

I.A. Akimov, V.V. Tugov

THE INFLUENCE OF DEVIATION ON FIELD PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF AIRCRAFT CONSTRUCTIONS MADE OF COMPOSITE MATERIALS

Keywords: sources of degradation, reliability, composite materials, failure

The article suggests methods for monitoring the reliability of products made of composite materials. The methods are based on identifying sources of degradation in the technological process. Multifactorial analysis of process parameters was used to determine the sources of degradation and to reveal deviation level. The carried out analysis leads to the conclusion that technological deviation may effect field performance characteristics of aircraft construction made of composite materials.

Г.Г. Галустов, В.И. Марчук

КЛАССИФИКАЦИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ БИНОМИАЛЬНЫХ МОМЕНТНЫХ ФУНКЦИЙ

Ключевые слова: биномиальные моментные функции, статистические характеристики, энергетическая полоса помехи, дисперсия оценки.

Рассмотрены вопросы анализа эффективности работы классификатора случайных и псевдослучайных процессов с использованием в качестве признаков систем биномиальных моментных функций. Показано, что использование в качестве признаков характеристик сигналов, учитывающих моменты распределения высших порядков, позволяет построить решающее правило в соответствии с принципом адаптивного байесовского подхода, а большая трудоемкость вычисления степенных моментов высоких порядков нивелирована использованием в качестве векторов признаков систем биномиальных моментных функций.

G.G. Galustov, V.I. Marchuk

CLASSIFICATION OF RANDOM PROCESSES BASED ON THE SYSTEM OF BINOMIAL MOMENT FUNCTIONS

Keywords: binomial moment functions, statistical characteristics, energy band noise variance estimate.

Classification of random processes with use of the system of binomial moment functions Problems of Performance Review of the classifier, and pseudo-random processes using as evidence of systems binomial moment functions. It is shown that the use as evidence of signal characteristics, taking into account the higher-order moments of the distribution, allows us to construct the decision rule in accordance with the principle of adaptive Bayesian approach, and most of the complexity of calculating the power moments of high order leveled using as feature vectors systems binomial moment functions.

В.В. Корзин, П.П. Гладких

ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ СТРУИ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Ключевые слова: математическое моделирование, осесимметричная струя, динамическое воздействие.

В данной работе рассматривается математическая модель динамического воздействия осесимметричной струи на поверхность изделия. Теоретически рассчитывается и экспериментально подтверждается сила воздействия струи.

V.V. Korzin, P.P. Gladkih

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DYNAMIC IMPACT OF AXISYMMETRIC JET BASED ON MATHEMATICAL MODELS

Keywords: mathematical modeling, axisymmetric jet dynamic impact.

This work deals with the mathematical model of the dynamic impact of an axisymmetric jet on product surface. Force of impact of the jet is calculated theoretically and experimentally confirmed.

Г.И. Лавров, И.Г. Лавров

К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ ФЛЮИДНЫХ КОНТАКТОВ ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Ключевые слова: трехмерное моделирование, водонефтяной контакт, алгоритм.

Разработаны алгоритмы, позволяющие автоматизировать построение поверхностей флюидных контактов для трехмерных цифровых геологических моделей. Составлена программа для определения положения отметок водонефтяного контакта в скважинах. Программа апробирована при построении геологической модели трех пластов с фондом скважин более 1000.

G.I. Lavrov, I.G. Lavrov

ON THE ISSUE OF CONSTRUCTION OF FLUID CONTACTS FOR 3D DIGITAL GEOLOGICAL MODELS

Keywords: 3D modeling, oil-water contact, the algorithm.

Algorithms enabling to automate the construction of the surfaces of the fluid contacts for 3D digital geological models have been developed. A program for identifying of the position of oil-water contact marks in wells is made. The program has been tested for the construction of geological model of the three zones with the Fund wells more than 1000.

Д.В. Макаров, Р.И. Паровик

ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДУБОВСКОГО ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ КРИЗИСОВ

Ключевые слова: циклы Кондратьева, экономический кризис, модель Дубовского, оператор дробной производной Герасимова-Капуто, эффект памяти, фрактальная размерность.

В работе предложена математическая модель, которая обобщает известную модель Дубовского, используемую для прогнозирования экономических кризисов. Это обобщение заключается в учете эффекта памяти, который часто возникает в экономической системе. С помощью численных

D.V. Makarov, R.I. Parovik

DUBOVSKIY GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL TO PREDICT THE ECONOMIC CRISIS

Keywords: Kondratiev cycles, the economic crisis, the model Dubovskiy, fractional derivative operator Gerasimova-Caputo, a memory effect, the fractal dimension.

The paper presents a mathematical model that generalizes the famous Kondratiev cycles model (model Dubovskiy) used to predict economic crises. This generalization is to integrate the memory effect, which occurs frequently in the economic system. With the help of numerical methods, to receive a generalized model, according to which the phase paths have been built.

методов, получено решение обобщенной модели, согласно которому были построены фазовые траектории.

Р.А. Марков, В.В. Бухтояров,
А.М. Попов, Н.А. Бухтоярова

ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ключевые слова: информационная безопасность, нейронные сети, классификация сетевых атак.

В работе анализируются классификации атак компьютерных сетей, принципы построения нейронных сетей, решения задачи классификации атак. На основании анализа проведено исследование по выявлению инцидентов информационной безопасности с помощью технологии нейронных сетей на тестовом наборе данных. Проведен сравнительный анализ эффективности рассматриваемого подхода с альтернативными методами выявления инцидентов информационной безопасности в компьютерных сетях.

R.A. Markov, V.V. Bukhtoyarov,
A.M. Popov, N.A. Bukhtoyarova

USING OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES FOR DETECTING INFORMATION SECURITY INCIDENTS

Keywords: information security, neural networks, classification of network attacks.

This paper analyzes the classification of attack computer networks, principles of neural networks, the classification of attacks. Based on the analysis was conducted a study to identify information security incidents using the technology of neural networks on test data set. The comparative analysis of the effectiveness of this method was approached with alternative methods of identification information security incidents in computer networks.

Р.И. Паровик

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭРЕДИТАРНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА КОШИ-ЭЙЛЕРА

Ключевые слова: оператор Герасимова-Капуто, фазовая траектория, конечно-разностная схема, эредитарный осциллятор Коши-Эйлера.

В работе предложена новая математическая модель осциллятора Коши-Эйлера. Модель учитывает эффекты памяти в среде, которые описываются с помощью производных дробных порядков. Предложена явная конечно разностная схема численного решение предложенной модели. Построены фазовые траектории на основе полученных решений.

R.I. Parovik

MATHEMATICAL MODELING HEREDITARITY OSCILLATOR CAUCHY-EULER

Keywords: operator Gerasimova-Caputo, phase trajectory, finite-difference scheme, hereditarity oscillator Euler-Cauchy.

The paper presents a new mathematical model of an oscillator of the Euler-Cauchy. The model accounts for the memory effects in the environment, which are described using derivatives of fractional orders. A explicit finite difference scheme, which allows you to find the numerical solution of the model proposed. The phase trajectory on the basis of the decision.

С.Ю. Паскарь

ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОГИЛЬВИ ПЕРЕНОСА РАДОНА В ДВУСЛОЙНОЙ ГЕОСРЕДЕ С ФРАКТАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Ключевые слова: радон, функция типа Миттаг-Леффлера, дробная производная Герасимова-Капуто, фрактальная размерность геосреды.

В работе предложена математическая модель переноса радона в двуслойной геологической среде с фрактальными свойствами, которая обобщает известную модель Огильви. Модельное уравнение переноса радона было записано в терминах производной Герасимова-Капуто дробного порядка $0< \alpha <1$, решение которого было получено в аналитическом виде и записано с помощью специальной функции типа Миттаг-Леффлера. Далее была проведена визуализация результатов моделирования.

S.Y. Paskar

OGILVY GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL OF RADON TRANSPORT IN TWO-LAYER MEDIUM WITH FRACTAL PROPERTIES

Keywords: radon, a function of Mittag-Leffler, fractional derivative Gerasimov-Caputo, fractal dimension geoenvironment, the emanation rate of radon volume activity of radon.

The paper presents a mathematical model of radon transport in the subsurface with fractal properties, which generalizes the known model VT Dubinchuk. Fractal properties of the geological medium can be described by the method of fractional derivatives. Model transport equation of radon have been recorded in terms of the derivative Gerasimov-Caputo fractional 0 <<1, the solution of which was obtained in an analytical form and recorded using a special function of Mittag-Leffler. Next it was conducted visualization of simulation results.

В.В. Тугов, В.Р. Сабанчин

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ОБЖИГА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ ЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ

Ключевые слова: логические регуляторы, туннельная печь, нечеткое управление, керамический кирпич.

В статье производиться исследование системы управления туннельной печи обжига керамического

V.V. Tugov, W.R. Sabanchin

DEVELOPMENT MANAGEMENT SYSTEM TUNNEL KILN FIRING OF CERAMIC BRICK ON THE BASIS OF CLEARLY REGULATORS

Keywords: logic controllers, tunnel furnace, fuzzy control, ceramic brick.

The article carried out a study of tunnel kiln ceramic bricks management system on the basis of clear controls

кирпича на основе четких регуляторов с интервальной неопределенностью (ЧРсИН). По сравнению с другими видами регуляторов ЧРсИН имеют большое быстродействие и маленькую погрешность регулирования, что является основой для разработки многомерных ЧРсИН (МЧРсИН).

with the interval uncertainty (ChRsIN). Compared with other types of ChRsIN regulators have a great performance and a small control error, that is the basis for the development of multidimensional ChRsIN (MChRsIN).

А.Н. Цуриков, А.Н. Гуда, А.Ж. Карсян

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ В СЛАБОФОРМАЛИЗУЕМЫХ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЯХ

Ключевые слова: задачи классификации, интеллектуальные системы, слабоформализуемые знания.

Работа посвящена исследованию теоретических основ интеллектуализации решения задач классификации в слабоформализуемых предметных областях. Рассмотрены особенности и подходы к решению задач классификации. Результаты исследования могут использоваться при разработке различных систем поддержки принятия решений.

A.N. Tsurikov, A.N. Guda, A.Z. Karsyan

THEORETICAL FOUNDATIONS OF INTELLECTUALIZATION SOLVING CLASSIFICATION PROBLEMS IN WEAKLY FORMALIZABLE SUBJECT AREAS

Keywords: classification problems, intelligence systems, weakly formalizable knowledge.

The article describes the research of theoretical foundations of intellectualization solving classification problems in weakly formalizable subject areas. This paper presents the features and methods to solving classification problems. The results use in the development of various decision support systems.

А.В. Шорохова

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ СОЦИОКУЛЬТУРНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИЕЙ ОСВОБОЖДЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Ключевые слова: моделирование, рекультивация, отходы, угольные предприятия, рекреационные зоны.

В работе представлены результаты моделирования альтернативных вариантов процессов переработки и использования отходов с последующей социокультурной рекультивацией освобожденных территорий, обеспечивающие снижение техногенной нагрузки на окружающую среду, сокращение площади отчужденных земель, уменьшение экологических выплат и себестоимости продукции, полученной из отходов.

A.V. Shorokhova

RESULTS OF MODELLING OF PROCESSES OF PROCESSING AND USE OF WASTE WITH THE SUBSEQUENT SOCIOCULTURAL RECULTIVATION OF THE FREED TERRITORIES

Keywords: modeling, recultivation, waste, coal enterprises, recreational zones.

In work results of modeling of alternative options of processes of processing and use of waste with the subsequent sociocultural recultivation of the freed territories, the providing decrease in technogenic load of environment, reduction of the area of aloof lands, reduction of ecological payments and the product cost received from waste are presented.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

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

№1 2016

Направления:
01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА
02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ
05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 18.02.2016 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

5,9 усл.печ.л. 6,8 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1958.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"
420111, Республика Татарстан, Казань,
ул. Университетская, д.22, оф. 310
Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя
Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 238-32-08

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»