

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№4 2012

Направления:

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Казань

2012

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №4 2012г. – Казань:
Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – 251 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

И.Н. Дияров – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.;

В.К. Половняк – д.х.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.;

Р.Х. Шагимуллин – к.т.н., проф.

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

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

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Научно-технический вестник Поволжья, 2012 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>В.К. Половняк, Ш.В. Садетдинов, А.И. Катанаев, Р.С. Миргазитова</i> РАСТВОРИМОСТЬ И ТВЕРДЫЕ ФАЗЫ В СИСТЕМЕ ДИЦИНКГЕКСАБОРАТ-КАРБАМИД-ВОДА	9
---	---

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Д.В. Бережной, М.К. Сагдатуллин, А.А. Саченков</i> РАСЧЕТ КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	13
<i>В.В. Дружинин, Л.А. Лобов, А.Г. Сироткина</i> ДЕТЕРМИНАНТНЫЙ ПРИЗНАК ДЕЛИМОСТИ	17

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>В.В. Вольхин, Л.С. Пан, Е.А. Балабенко, О.И. Бахирева, Г.В. Леонтьева, Н.Б. Ходяшев</i> СИНТЕЗ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ СМЕШАННЫХ ГЕКСАЦИАНОФЕРРАТОВ (II) МЕДИ, ЦИНКА-КАЛИЯ И БИОПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ	20
<i>А.К. Молодкин, Н.Я. Есина, М.Н. Курасова, М.В. Тачаев</i> РАЗНОЛИГАНДНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ $Pd(II)$ С АМИНОКИСЛОТАМИ, АДЕНИНОМ И ГИПОКСАНТИНОМ	27
<i>А.М. Юровский, А.В. Тарасов, Ю.А. Москвичев</i> СИНТЕЗ СУЛЬФАМИДНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ИМИДАЗО[2,1- <i>b</i>]ТИАЗОЛА И ИМИДАЗО[2,1- <i>b</i>][1,3,4]ТИАДИАЗОЛА НА ОСНОВЕ 3-(БРОМАЦЕТИЛ)БЕНЗОЛСУЛЬФАМИДОВ	31

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>В.В. Андреев, М.В. Турченко, А.А. Абрамов</i> ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОБОБЩЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В ТРУБАХ	35
<i>В.Ф. Беккер, М.Г. Гребенева</i> АНКЕТИРОВАНИЕ СОТРУДНИКОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ	38
<i>И.А. Бируля</i> ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ СТАНКОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ	45
<i>А.П. Буйносов</i> ПРИМЕНЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО СОСТАВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ ДО ОБТОЧКИ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА	49
<i>А.П. Буйносов, А.М. Кислицын</i> ИЗМЕРЕНИЕ И ВЫЧИСЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛОКОМОТИВА	54
<i>А.П. Буйносов, Д.Ю. Козаков</i> РАЗРАБОТКА СХЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ С РЕОСТАТНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ	59
<i>А.П. Буйносов, И.М. Пышный</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ГРЕБНЕСМАЗЫВАНИЯ АГС-8 НА ПРОМЫШЛЕННОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ	64
<i>А.П. Буйносов, В.А. Тихонов</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ОСТАТОЧНОГО ПРОКАТА БАНДАЖЕЙ ПРИ ОБТОЧКЕ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ11	69

Р.Н. Габдрахманов, А.А. Кетов, В.С. Корзанов ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ХЛОРАТА, БРОМАТА И ЙОДАТА КАЛИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕРХЛОРАТА, ПЕРБРОМАТА И ПЕРИОДАТА КАЛИЯ	75
А.М. Гирфанов, Д.В. Неделько ИММИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОЛОЗКОВОГО ШАССИ ВЕРТОЛЕТА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	82
М.А. Донченко, Ю.Н. Журавлёв, М.С. Шерстюков ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА СИСТЕМУ «РОЛИК РОМБОИДА-КУЛАЧОК» РОТОРНО-ЛОПАСТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВНЕШНИМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ В РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА	86
А.В. Дорошенко ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВЫХ ПОТОКОВ ВОКРУГ ЖИВОЙ ИЗГОРОДИ	91
С.Х. Загидуллин, Е.Н. Ненашев, Ф.М. Кузнецов, В.Л. Долганов ГРАНУЛИРОВАНИЕ ПЫЛЕВИДНЫХ ФРАКЦИЙ ФЛОТАЦИОННОГО ХЛОРИСТОГО КАЛИЯ МЕТОДОМ ОКАТЫВАНИЯ	96
Н.С. Захаров, В.Г. Логачев, В.А. Тюлькин, И.В. Яблочкин ВЛИЯНИЕ ОСАДКОВ НА СКОРОСТНОЙ РЕЖИМ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО МАГИСТРАЛЬНЫМ ДОРОГАМ	103
Н.С. Захаров, В.Г. Логачев, В.А. Тюлькин, И.В. Яблочкин ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА НА СКОРОСТНОЙ РЕЖИМ ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЕЙ ПО МАГИСТРАЛЬНЫМ ДОРОГАМ	106
А.М. Игнатова, А.О. Артемов, С.В. Наумов ИНФОРМАТИВНОСТЬ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ И ВЫБОРА ПЕТРУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ	111
А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов, А.Н. Шаманов, А.В. Коврижных, А.В. Канина, А.И. Черняев КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СТАЛИ 09Г2С НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПЕРЕДЕЛА	116
С.В. Лановецкий, О.Р. Середкина, В.З. Пойлов, А.А. Кетов ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕССУЛЬФАЧИВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО РАСТВОРА НИТРАТА МАГНИЯ	121
С.В. Лановецкий, А.Г. Старостин, В.З. Пойлов ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕРМОРАЗЛОЖЕНИЯ РАСТВОРОВ НИТРАТА МАРГАНЦА	125
А.М. Макеев, А.Н. Кролевец ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ К ЗАДАЧЕ ПОИСКА ПЛОСКОСТЕЙ ГРУППИРОВАНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	131
Н.В. Медведев, С.С. Титов БИНАРНЫЕ ПОЧТИ ПОРОГОВЫЕ МАТРОИДЫ	136
Ш.М. Мерданов, А.В. Яркин, Ф.Д. Шараев, А.Н. Шуваев ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ ГИДРОПРИВОДА СТРОИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	143
О.Г. Морозов, А.А. Талипов, А.А. Федоров, М.Р. Нургазизов, Т.С. Садеев ИЗМЕРЕНИЕ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ С ПОМОЩЬЮ ДВУХЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	146
С.В. Наумов, А.М. Игнатова ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ СВАРКЕ В СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ	150
Б.Е. Недбайлюк, С.А. Антонов, И.И. Антонова ВОВЛЕЧЕНИЕ РАБОТНИКОВ В ПОСТОЯННОЕ УЛУЧШЕНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА	154
Б.Е. Недбайлюк, С.А. Антонов, И.И. Антонова ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ И ПРОЦЕССОВ В НЕПРЕРЫВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	158
О.Е. Нусина, С.Г. Козлов, С.В. Лановецкий, О.К. Косвинцев ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТЛОЖЕНИЯ СОЛЕЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ	164

П.О. Новиков ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	169
Н.Э. Поликарпова, Е.В. Фоменко, А.Х.-Х. Нугманов, М.А. Никулина ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКОВ КЛИЕНТОВ НА БАЗЕ УСТАНОВИВШИХСЯ СИСТЕМНЫХ СВЯЗЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ	174
Д.Г. Рандин ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ С УПРАВЛЯЕМЫМ ДЕМПФЕРОМ	177
А.А. Свиридов ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУМЕРНОГО ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ КОМПРЕССИИ АУДИО	186
И.А. Стотланд МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЕРИФИКАЦИИ МОДУЛЕЙ СИСТЕМНОГО ОБМЕНА МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ	191
В.А. Тихонов, С.В. Лановецкий, В.З. Пойлов, А.А. Кетов ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ТИТАНА МЕТАЛЛАМИ ВТОРОЙ ГРУППЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	197
Э.В. Урывский ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ АЛГОРИТМА СИСТЕМЫ ТРЕХМЕРНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ СЦЕН ОКРУЖЕНИЯ	202
В.С. Фанасков, Ю.А. Степанов РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА БАЗЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ	207
А.А. Фардеев МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ОБЪЁМОМ НАСОСА МАНИПУЛЯТОРА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ КОВКИ ЗАГОТОВОК	211
Э.Л. Хазиев СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ	216
Э.Л. Хазиев РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРАНОВОГО ПНЕВМОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА	223
А.Ф. Шакмаков, Ш.М. Мерданов, А.Г. Обухов, А.Л. Егоров МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ СНЕГА ПНЕВМОКОЛЕСНЫМ КАТКОМ	227
Р.А. Ямалеев, О.Н. Кузяков ТРЕХМЕРНЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИМИТАЦИОННЫЙ ТРЕНАЖЕР НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	231
АННОТАЦИИ	236

THE RELEASE MAINTENANCE

V.K. Polovnyak, Sh.V. Sadetdinov, A.I. Katanaev, R.S. Mirgazitova SOLUBILITY AND SOLID PHASE IN DITSINKGEKSABORAT-UREA-WATER	9
--	---

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

D.V. Bereznoi, M.K. Sagdatullin, A.A. Sachenkov CALCULATION OF THE COMBINED CONSTRUCTIONS BY FINITE ELEMENT METHOD	13
V.V. Druzhinin, L.A. Lobov, A.G. Sirotkina DETERMINANT SIGN OF DIVISIBILITY	17

CHEMICAL SCIENSEC

V.V. Vol'khin, L.S. Pan, E.A. Balabenko, O.I. Bahireva, G.V. Leont'eva, N.B. Hodjashev SYNTHESIS AND PROPERTIES OF COMPOSITE SORBENTS ON THE BASIS OF MIXED COPPER-POTASSIUM / POTASSIUM-ZINC HEXACYANOFERRATE (II) AND BIOPOLYMERIC MATRIX	20
A.K. Molodkin, N.Ja. Esina, M.N. Kurasova, M.V. Tachaev MIXED-LIGAND COMPLEXES OF Pd(II) WITH AMINOACIDS, ADENINE AND HYPOXANTHINE	27
A.M. Yurovskiy, A.V. Tarasov, YU.A. Moskvichev SYNTHESIS OF THE SULFONAMIDE DERIVATIVES OF THE IMIDAZO[2,1-b]THIAZOLE AND IMIDAZO[2,1-b][1,3,4]THIADIAZOLE FROM THE 3-(BROMOACETYL)BENZENESULFONAMIDES	31

ENGINEERING SCIENCE

V.V. Andreev, M.V. Turchenko, A.A. Abramov THE HYDRAULIC RESISTANCE CHARACTERISTICS TRANSFORMATION FOR GENERALIZATION OF THE FLOW FLUID IN PIPES EXPERIMENTAL INFORMATION	35
V.F. Bekker, M.G. Grebeneva INTERVIEW DEBRIEFING OF STAFF INDUSTRIAL FIRM IN QUALITY MANAGEMENT INDUSTRIAL ENTERPRISES	38
I.A. Birulya THERMOPHYSICAL FACTORS TO ENSURE A GIVEN PRECISION MACHINE TOOLS WITH PARALLEL KINEMATICS	45
A.P. Buinosov TRIBOTEKHNIЧЕСKY'S APPLICATION OF STRUCTURE FOR INCREASE OF THE RESOURCE OF BANDAGES BEFORE TURNING OF WHEEL PAIRS OF ELECTROROLLING STOCK	49
A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn MEASUREMENT AND CALCULATION OF PARAMETERS OF WHEEL PAIR AT LOCOMOTIVE MOVEMENT	54
A.P. Buinosov, D.Y. Kozakov DEVELOPMENT OF THE SCHEME OF STABILIZATION OF THE CHARGING OF STORAGE BATTERIES ON ELECTRIC TRAINS WITH RHEOSTATIC BRAKING	59
A.P. Buinosov, I.M. Pishniy RESULTS OF APPLICATION OF SYSTEM OF GREBNESMAZYVANY AGS-8 ON INDUSTRIAL RAILWAY TRANSPORT	64
A.P. Buinosov, V.A. Tikhonov OPTIMIZATION OF RESIDUAL HIRE OF BANDAGES WHEN TURNING WHEEL PAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES VL11	69
R.N. Gabdrakhmanov, A.A. Ketov, V.S. Korzanov RESEARCH OF THERMAL BEHAVIOUR OF POTASSIUM CHLORATE, BROMATE AND IODATE	75
A.M. Girfanov, D.V. Nedelko A SIMULATION MODEL OF HELICOPTER SKID LANDING GEAR BASED ON NEURAL NETWORK	82
M.A. Donchenko, Y.N. Zhuravlev, M.S. Sherstyukov DEFINITION OF LOADS OF SYSTEM «THE RHOMBOID ROLLER-THE CAM» THE ROTARY BLADE-ENGINE WITH AN EXTERNAL HEAT SUPPLY	86

A.V. Doroshenko NUMERICAL SIMULATION OF WIND FLOWS AROUND THE HEDGE	91
S.H. Zagidullin, E.N. Nenashev, F.M. Kuznetsov, V.L. Dolganov GRANULATION OF PULVERULENT FACTIONS POTASSIUM CHLORIDE FLOTATION BY METHOD OF PELLETIZATION	96
N.S. Zakharov, V.G. Logachev, V.A. Tyulkin, I.V. Yablochkin INFLUENCE OF THE PRECIPITATION ON THE HIGH-SPEED MODE OF CARS WHILE DRIVING ON TRUNK ROADS	103
N.S. Zakharov, V.G. Logachev, V.A. Tyulkin, I.V. Yablochkin INFLUENCE OF AIR TEMPERATURE ON THE HIGH-SPEED MODE OF CARS WHILE DRIVING ON TRUNK ROADS	106
A.M. Ignatova, A.O. Artemov, S.V. Naumov ALGORITHM AND INFORMATIVE METHOD OF EVALUATION AND SELECTION PETRURGICAL RAW	111
A.M. Ignatova, M.N. Ignatov, A. N. Shamans, A.V. Kovrizhnykh, A.V. Kanin, A.I. Chernyaev QUANTITATIVE AND QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF NONMETALLIC INCLUSIONS IN STEEL 09G2S AT DIFFERENT STAGES OF METALLURGICAL	116
S.V. Lanovetskiy, O.R. Seredkina, V.Z. Poiylov, A.A. Ketov STUDY OF THE CLEANING PROCESS THE MAGNESIUM NITRATE TECHNICAL SOLUTION TO SULPHATE	121
S.V. Lanovetskiy, A.G. Starostin, V.Z. Poiylov FEATURES OF THE FILM COATING STRUCTURE AS A RESULT THERMAL DECOMPOSITION OF MANGANESE NITRATE SOLUTION	125
A.M. Makeev, A.N. Krolevets CLUSTER TECHNOLOGY APPLICATION TO THE PROBLEM OF REVEALING THE EARTHQUAKE HYPOCENTERS GROUPING PLANES	131
N.V. Medvedev, S.S. Titov BINARY ALMOST-THRESHOLD MATROIDS	136
S.M. Merdanov, A.V. Yarkin, F.D. Sharaev, A.N. Shuvaev OPERATION OF THE HYDRAULIC EQUIPMENT OF CONSTRUCTION MACHINES IN THE LOW TEMPERATURE CONDITIONS	143
O.G. Morozov, A.A. Talipov, A.A. Fedorov, M.R. Nurgazizov, T.S. Sadeev INSTANTANEOUS FREQUENCY MEASUREMENT USING DOUBLE-FREQUENCY PROBING	146
S.V. Naumov, A.M. Ignatova STUDY OF PHYSICOCHEMICAL PROCESSES OCCURRING DURING WELDING WELDING MATERIALS ON THE BASIS OF MAN-MADE UNITS	150
B.E. Nedbailuk, S.A. Antonov, I.I. Antonova DRAWING OF EMPLOYERS INTO CONSTANT IMPROVEMENT OF QUALITY MANAGEMENT SYSTEM	154
B.E. Nedbailuk, S.A. Antonov, I.I. Antonova MAIN PRINCIPLES OF DEVELOPMENT OF PRODUCT QUALITY CONTROL PROCESS AND PROCESSES IN CONTINUING PRODUCTION	158
O.E. Nisina, S.G. Kozlov, S.V. Lanovetskiy, O.K. Kosvintsev STUDY OF SALT DEPOSITS FOR PROCESS EQUIPMENT	164
P.O. Novikov ESTIMAMION OF EFFICIENCY OF RAIL TRANSPORT OF THE RUSSIAN FEDERATION	169
N.E. Polykarpova, E.V. Fomenko, A.H.-H. Nugmanov, M.A. Nikulina FEATURES OF FORMATION OF STREAMS OF CLIENTS ON THE BASIS OF THE ESTABLISHED SYSTEM COMMUNICATIONS IN TECHNOLOGY OF PUBLIC CATERING	174
D.G. Randin THE RESEARCH OF ACTIVE VIBRATION ISOLATION SYSTEM WITH CONTROLLED DAMPER	177
A.A. Sviridov USING TWO-DIMENSIONAL DISCRETE WAVELET TRANSFORM FOR COMPRESSING AUDIO	186
I.A. Stotland AN APPROACH TO SIMULATION-BASED VERIFICATION OF INTERCONNECTION MODULES OF MICROPROCESSOR COMPUTER SYSTEMS	191

V.A. Tihonov, S.V. Lanovetskiy, V.Z. Poiylov, A.A. Ketov STUDY OF THE TITANIUM OXIDE REDUCTION METAL TWO GROUPS OF THE PERIODIC TABLE	197
E.V. Uryvskiy ALGORITHM ANALYSIS OF THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION OF SCENES ENVIRONMENT	202
V.S. Fanaskov, Y.A. Stepanov DEVELOPMENT ARCHITECTURE OF SPECIALIZED GIS SOFTWARE	207
A.A. Fardeev MATHEMATICAL MODEL OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF DISPLACEMENT PUMP OF MANIPULATOR, USED IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF BLANKS FORGING	211
E.L. Khaziev CONTROL SYSTEM FOR INDUSTRIAL PNEUMATIC ROBOT	216
E.L. Khaziev CALCULATION OF THE MAIN PARAMETERS OF THE CRANE WAY PNEUMODISTRIBUTOR INDUSTRIAL ROBOT	223
A.F. Shakmakov, Sh.M. Merdanov, A.G. Obuhov, A.L. Egorov MODELLING OF THE COMPACTION OF SNOW BY PNEUMATIC WHEEL ROLLER	227
R.A. Yamaleev, O.N. Kuzyakov COMPUTER-BASED SIMULATOR OF OIL-PUMPING STATION FOR RESEARCH TECHNOLOGY PROSESS	231
ABSTRACTS	236

¹В.К. Половняк д.х.н., ²Ш.В. Садетдинов д.х.н., ²А.И. Катанаев, ²Р.С. Миргазитова

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет,
vkpol@mail.ru

²ООО «Элкон»,
г. Новочебоксарск

РАСТВОРИМОСТЬ И ТВЕРДЫЕ ФАЗЫ В СИСТЕМЕ ДИЦИНКГЕКСАБОРАТ-КАРБАМИД-ВОДА

Методами физико-химического анализа изучено взаимодействие дицинкгексабората с карбамидом в водной среде при 50⁰С. Установлено образование нового соединения стехиометрического состава $Zn_2B_6O_4 \cdot 4N_2H_4CO \cdot 2H_2O$. С помощью рентгенофазового, кристаллооптического, дифференциально-термического анализа и ИК-спектроскопии проведена идентификация твёрдых фаз в системе дицинкгексаборат-карбамид-вода.

Ключевые слова: дицинкгексаборат, карбамид, физико-химический анализ.

Известно, что борат цинка применяется в лакокрасочных составах на водной основе, придавая покрытиям стойкость к действию плесени и бактерий. Получение соединения на основе бората цинка и карбамида с более эффективными бактерицидными свойствами представляет научно-практический интерес. Настоящая работа является продолжением исследований взаимодействия боратов цинка с некоторыми амидами [1-3].

Цель настоящей работы - изучение растворимости системы борат цинка-карбамид-вода при 50⁰С, определение состава образующихся новых твёрдых фаз и изучение их физико-химических свойств.

Для исследования нами был синтезирован борат цинка взаимодействием борной кислоты с гидроксидом цинка. Полученное соединение соответствовало формуле дицинкгексабората состава $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot 3.5H_2O$. Карбамид использовали марки «х.ч.». Изотермическую среду 50⁰С создавали в водном термостате. Равновесие в системе при непрерывном перемешивании устанавливалось в течение суток. В жидких и твердых фазах содержание карбамида определяли по методу Кьельдаля, а содержание цинка—комплексометрическим титрованием.

Состав истинных твёрдых фаз устанавливали графически по Скрейнемакерсу, а идентификацию проводили методами рентгенофазового, кристаллооптического, дифференциально термического анализа и ИК-спектроскопии. РФА проводили на дифрактометре ДРОН-2 (СиK_L-излучение, ДТА записывали на дериватографе системы Паулик, Паулик, Эрдей). Навеска составляла 200 мг, чувствительность ДТА и ДТГ-1/5, скорость нагревания 5 град/мин. ИК-спектры поглощения записывали на спектрометре UR-20 в вазелиновом масле.

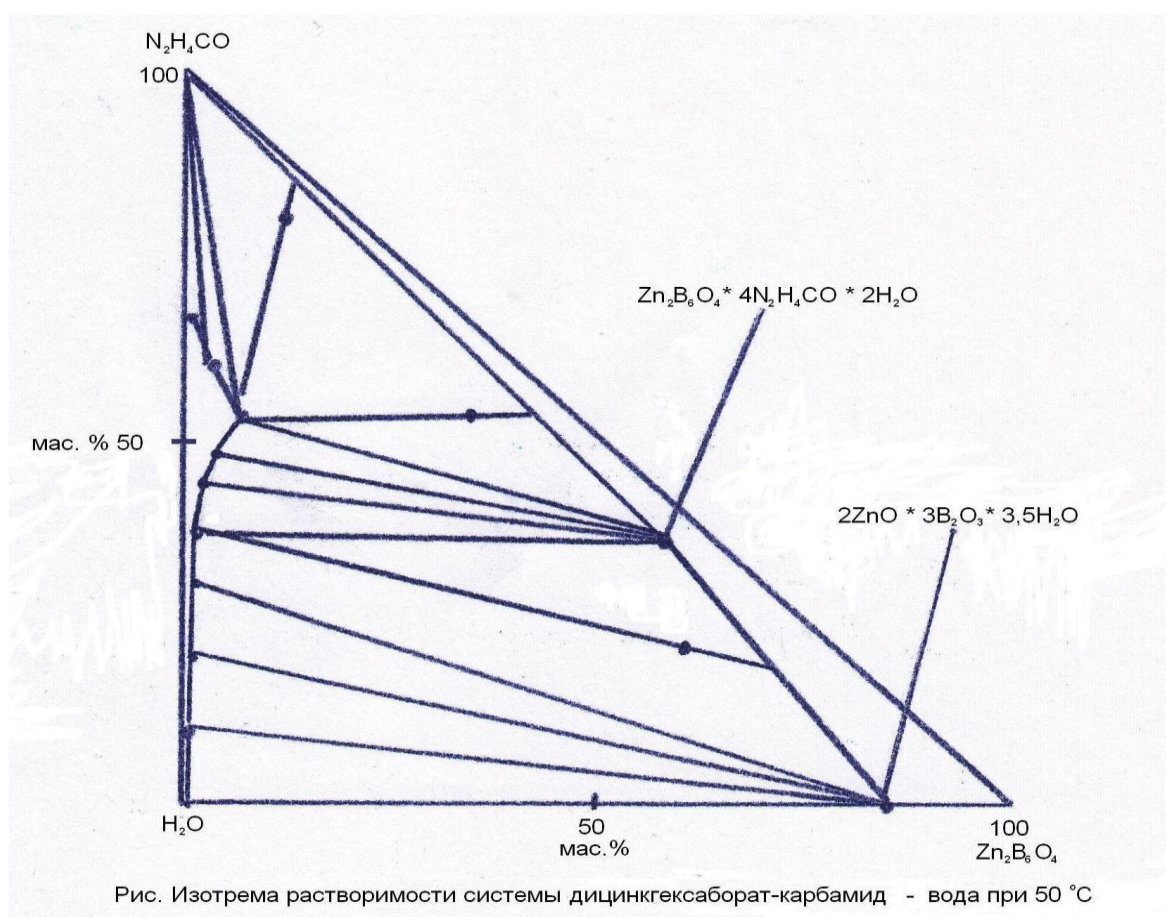
Кристаллооптические измерения выполняли иммерсионным методом на поляризационном микроскопе МИН-8.

Экспериментальные данные по изучению фазовых равновесий системы дицинкгексаборат—карбамид—вода при 50⁰С представлены на рисунке и табл. 1.

Таблица 1

Растворимость в системе $\text{Zn}_2\text{B}_6\text{O}_{11}$ — $\text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$ — H_2O при 50°C .

Жидкая фаза мас. %	Твёрдый остаток, мас. %			
$\text{Zn}_2\text{B}_6\text{O}_{11}$	$\text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$	$\text{Zn}_2\text{B}_6\text{O}_{11}$	$\text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$	Твёрдые фазы
0,67	--	85,52	--	$2\text{ZnO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$
0,72	10,21	85,50	--	То же
0,76	19,64	85,46	0,28	То же
0,84	30,08	84,86	1,16	То же
0,88	37,52	60,12	22,18	$2\text{ZnO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$
0,9	37,58	57,36	37,02	$\text{Zn}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 4\text{N}_2\text{H}_4\text{CO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
1,87	43,26	57,32	37,04	То же
3,62	47,34	57,40	37,08	То же
6,28	53,18	57,37	37,05	То же
6,24	53,16	34,16	54,08	$\text{Zn}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 4\text{N}_2\text{H}_4\text{CO} \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$
6,25	53,12	11,02	80,12	То же
6,26	53,04	1,02	96,17	$\text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$
2,88	60,21	0,87	98,04	То же
--	67,23	--	100	То же

Рис. Изотерма растворимости системы дицинкгексаборат-карбамид - вода при 50°C

Из рисунка видно, что изотерма растворимости изучаемой системы состоит из трёх ветвей кристаллизации исходных веществ: $\text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$ и $2\text{ZnO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$, соответственно, и нового соединения с содержанием (мас. %): $\text{Zn}_2\text{B}_6\text{O}_{11}$ -57,36 ; $\text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$ -37,03; H_2O -5,56; что соответствует химической формуле стехиометрического состава $\text{Zn}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 4\text{N}_2\text{H}_4\text{CO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Показатели преломления кристаллов твёрдых фаз, найденных иммерсионным методом, равны $N_g=1510$, $N_p=1.475$ – для нового соединения; $N_g=1,580$, $N_p=1,531$ – для мочевины; $N_g=1,498$, $N_p=1.490$ – для бората цинка.

Данные показатели преломления нового соединения отличаются от исходных веществ, что подтверждает его индивидуальность.

Дифрактограммы РФА (таб.2) нового соединения имеют набор межплоскостных расстояний, отличающихся от исходных веществ, что свидетельствует об образовании нового соединения.

В ИК-спектрах комплекса полоса поглощения валентного колебания $C=O$ смещена в низкочастотную область на ~ 15 см по сравнению с его положением в спектре карбамида. Это изменение указывает на удлинение связи $C=O$ и о координации молекулы карбамида к атому цинка через атом кислорода карбонильной группы.

Термическое разложение комплекса протекает следующим образом. На кривых нагревания наблюдается эндотермический эффект при $120^\circ C$, что соответствует инкогруэнтному плавлению соединения. Эндоэффект при $285^\circ C$ связан с разложением двух молекул воды и мочевины, разложение комплекса заканчивается образованием $Zn_2B_6O_{11}$. Убыль массы составляет 42,58% (расч.42,64%)

Таблица 2

Данные рентгенограмм твёрдых фаз системы борат цинка – мочевина – вода.

N_2H_4CO	$2 ZnO \cdot 3 B_2O_3 \cdot 3.5 H_2O$	$Zn_2B_6O_{11} \cdot 4N_2H_4CO \cdot 2H_2O$		
D, A^0	$I / I_0, \%$	D, A^0	$I / I_0, \%$	D, A^0
7,07	62	2,82	16	7,70
5,12	9	5,63	22	7,48
5,06	9	5,48	96	6,09
4,62	36	5,33	30	5,36
3,6	98	5,05	12	5,18
3,07	26	4,02	20	4,8
2,90	9	3,34	21	4,67
		3,02	32	4,50
		2,96	33	4,42
		2,93	90	4,40
		2,9	17	4,16
		2,21	13	4,08
		2,62	12	4,04
		2,7	27	3,90
		2,28	50	3,72
		2,23	11	3,50
		2,06	9	3,35
				3,16
				2,86
				2,59
				2,08

Таким образом, обнаруженные твердые фазы боратно-цинковых систем $ZnO \cdot 32B_2O_3 \cdot 3.5H_2O$ и $Zn_2B_6O_{11} \cdot 4N_2H_4CO \cdot 2H_2O$ могут служить в качестве бактерицидных добавок в лакокрасочных композициях

Список литературы

1. Садетдинов Ш.В., Молодкин А.К. и др. Журнал неорганической химии.1979.-Т.24, №3.- С.2009.
2. Садетдинов Ш.В., Молодкин А.К. и др. Журнал неорганической химии.1983.- Т.28, №3.- С.778.
3. Садетдинов Ш.В., Молодкин А.К. и др. Журнал неорганической химии.1985.- Т.30, №7.- С.1911.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.02.04

Д.В. Бережной к.ф.-м.н., М.К. Сагдатуллин, А.А. Саченков к.ф.-м.н.

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского,
кафедра теоретической механики,
Казань, ssmarat@mail.ru

РАСЧЕТ КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В работе представлен алгоритм построения комбинированного конечного элемента для определения НДС конструкций существенно переменной толщины. Приведен расчет руля высоты легкомоторного самолета.

Ключевые слова: семейство переходных конечных элементов, ортотропность, многослойность.

Для расчета комбинированных конструкций и конструкций существенно переменной толщины методом конечных элементов целесообразно использовать как трехмерные конечные элементы (КЭ), так и оболочечные. Для их стыковки в единую расчетную модель используются различные способы. В [5] описывается создание и исследование переходных трехмерных КЭ, используемых при решении термоупругих задач, в [3] для расчета напряженно-деформированного состояния пространственных конструкций применяется комбинированная модель, где кинематические условия упругого сопряжения с оболочечными элементами учитываются при помощи метода штрафа. В [1] необходимые условия сопряжения по границе между трехмерными и оболочечными КЭ реализуются путем введения в исходный функционал задачи множителей Лагранжа, параметры которых исключаются из числа варьируемых величин на уровне сборки конструкции. Обзор алгоритмов создания переходных КЭ приведен в [4].

При построении базового КЭ сплошной среды, позволяющего моделировать как трехмерные конструкции, так и тонкостенные оболочки, используется следующая методика. В пределах каждого элемента вводится локальная система координат ξ_1, ξ_2, ξ_3 , переводящая искривленный параллелепипед в единичный куб. Вектор-функция произвольной материальной точки элемента определяется в виде

$$\vec{R} = X^i(\xi_1, \xi_2, \xi_3) \vec{e}_i = \vec{e}_i \sum_{t=1}^8 X_t^i N_t(\xi_1, \xi_2, \xi_3).$$

Аппроксимации вектора $\vec{U}$ и градиента вектора $\vec{U}_i$ перемещений определяются в виде

$$\vec{U} = U^m(\xi_1, \xi_2, \xi_3) \vec{e}_m, \quad \vec{U}_i = \vec{e}_m \sum_{s=1}^8 U_s^m \frac{\partial N_s}{\partial \xi^i}.$$

Для компонент тензора деформаций справедливы соотношения

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(\vec{U}_i \vec{R}_j + \vec{R}_i \vec{U}_j) = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^8 \sum_m^3 U_r^m \sum_{s=1}^8 X_s^m \left(\frac{\partial N_r}{\partial \xi^i} \frac{\partial N_s}{\partial \xi^j} + \frac{\partial N_s}{\partial \xi^i} \frac{\partial N_r}{\partial \xi^j} \right).$$

Технология понижения порядка аппроксимации для деформаций поперечного сдвига ε_{i3} , где $i = 1, 2$ подробно описана в [2].

Обобщенный закон Гука для оболочечных КЭ

$$\sigma_{ij} = D_{ijmn} \varepsilon_{mn}$$

с учетом гипотезы малости напряжений обжатия примет вид

$$\sigma_{ij}^* = D_{ijmn}^* \varepsilon_{mn} = \left(D_{ijmn} - \frac{D_{ij33} D_{33mn}}{D_{3333}} \right) \varepsilon_{mn}, \quad \text{где } D_{3333}^* = D_{3333},$$

где σ_{ij} – компоненты тензора напряжений, ε_{mn} – компоненты тензора малых деформаций, D_{ijmn} – компоненты тензора изотермической упругости. Полученная в таком виде гипотеза малости напряжений обжатия позволяет в явном виде ввести в расчетную схему физические постоянные как для изотропного, так и для ортотропного материала.

При построении физических моделей многослойных ортотропных оболочек, вводятся всевозможные подходы, основанные как на различных гипотезах для каждого слоя оболочки, так и на единых гипотезах для всех слоев тонкостенной конструкции. Данный ортотропный КЭ построен на базе трехмерного изотропного восьмиузлового КЭ оболочки [2], в узлах которого, расположенных на лицевых поверхностях КЭ, в качестве узловых степеней свободы определяется по три декартовы проекции вектора перемещений.

Компоненты матрицы упругости КЭ для ортотропного материала запишутся в виде

$$\begin{aligned} D_{1111} &= \frac{1}{AE_2} \left(\frac{1}{E_3} - \frac{\mu_{23}^2}{E_2} \right), D_{2222} = \frac{1}{AE_3} \left(\frac{1}{E_1} - \frac{\mu_{31}^2}{E_3} \right), D_{3333} = \frac{1}{AE_1} \left(\frac{1}{E_2} - \frac{\mu_{12}^2}{E_1} \right), \\ D_{1122} &= D_{2211} = \frac{1}{AE_3} \left(\frac{\mu_{31}\mu_{23}}{E_2} + \frac{\mu_{12}}{E_1} \right), D_{1133} = D_{3311} = \frac{1}{AE_2} \left(\frac{\mu_{12}\mu_{23}}{E_1} + \frac{\mu_{31}}{E_3} \right), \\ D_{2233} &= D_{3322} = \frac{1}{AE_1} \left(\frac{\mu_{12}\mu_{31}}{E_3} + \frac{\mu_{23}}{E_2} \right), D_{1212} = G_{12}, D_{2323} = G_{23}, D_{3131} = G_{31}, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$A = \frac{1}{E_1 E_2 E_3} \left(1 - 2\mu_{12}\mu_{23}\mu_{31} - \frac{E_1}{E_3} \mu_{31}^2 - \frac{E_2}{E_1} \mu_{12}^2 - \frac{E_3}{E_2} \mu_{23}^2 \right).$$

Здесь упругие постоянные выражены через применяемые в технике константы: модули упругости E и сдвига G , а также коэффициент поперечной деформации μ . При построении этого КЭ используется техника, основанная на базе метода двойной аппроксимации по точкам суперсходимости, и методика «понижения порядка аппроксимаций» деформаций поперечного сдвига, подробно описанные в [2].

Наиболее часто в практике расчетов многослойных конструкций встречается преобразование коэффициентов матрицы упругости ортотропного тела при повороте системы координат вокруг своей оси Oe'_3 (которая совпадает с нормалью к плоскости слоя) на угол φ .

Коэффициенты матрицы упругости D в осях слоя $Oe'_1 e'_2 e'_3$ имеют вид (1). Преобразование коэффициентов упругости для случая поворота вокруг оси Oe'_3 приводит к виду

$$\begin{aligned}
D_{1111}^{**} &= D_{1111}^{*}c^4 + D_{2222}^{*}s^4 + 2(D_{1122}^{*} + 2D_{1212}^{*})s^2c^2, D_{1133}^{**} = D_{1133}^{*}c^2 + D_{2233}^{*}s^2, \\
D_{1122}^{**} &= D_{1122}^{*}(c^4 + s^4) + (D_{1111}^{*} + D_{2222}^{*} - 4D_{1212}^{*})s^2c^2, D_{3312}^{**} = (D_{1133}^{*} - D_{2233}^{*})sc, \\
D_{3333}^{**} &= D_{3333}^{*}, D_{1112}^{**} = [D_{1111}^{*}c^2 + (D_{1122}^{*} + 2D_{1212}^{*})(s^2 - c^2) - D_{2222}^{*}s^2]sc, \\
D_{2222}^{**} &= D_{1111}^{*}s^4 + D_{2222}^{*}c^4 + 2(D_{1122}^{*} + 2D_{1212}^{*})s^2c^2, D_{2233}^{**} = D_{1133}^{*}s^2 + D_{2233}^{*}c^2, \\
D_{2212}^{**} &= [D_{1111}^{*}s^2 + (D_{1122}^{*} + 2D_{1212}^{*})(c^2 - s^2) - D_{2222}^{*}c^2]sc, \\
D_{1212}^{**} &= (D_{1111}^{*} - 2D_{1122}^{*} + D_{2222}^{*})s^2c^2 + D_{1212}^{*}(c^2 - s^2)^2, D_{2323}^{**} = D_{2323}^{*}c^2 + D_{3131}^{*}s^2, \\
D_{2331}^{**} &= (-D_{2323}^{*} + D_{3131}^{*})sc, D_{3131}^{**} = D_{2323}^{*}s^2 + D_{3131}^{*}c^2, c = \cos\varphi, s = \sin\varphi.
\end{aligned}$$

При вычислении матрицы жесткости применяется квадратурная формула Гаусса-Лежандра порядка $2 \times 2 \times N$, где N – количество слоев.

Суть методики построения переходного конечного элемента заключается в наложении оболочечных гипотез (гипотеза малости напряжений обжатия, усечение деформаций поперечного сдвига, «упрощенный закон Гука», сокращенное интегрирование, иные механические свойства и т.д.) только для той части трехмерного КЭ, которая пристыковывается к оболочечному (во всех квадратурных точках по высоте элемента, в которых вычисляется потенциальная энергия, ближайших к пристыковываемому узлу). Таким образом, происходит сглаживание напряжений в пределах конечного элемента. При стыковке с многослойным КЭ число квадратурных по высоте совпадает с количеством слоев элемента.

Построено семейство изотропных, ортотропных и многослойных переходных конечных элементов, позволяющих стыковать в единую расчетную модель трехмерные и оболочечные КЭ, изотропные и ортотропные, однослойные и многослойные и т.д.

Вычислительные эксперименты показывают, что разработанный конечный элемент может эффективно моделировать трехмерных тела и тонкостенные оболочки, построенные на его базе переходные КЭ позволяют рассчитывать в единой расчетной схеме комбинированные конструкции и конструкции существенно переменной толщины.

В качестве примера приведен расчет напряженно-деформированного состояния руля высоты легкомоторного самолета. Руль высоты представляет собой сложную оболочечную конструкцию, усиленную корневой нервюрой и лонжеронами. При расчете данной конструкции используется как многослойный КЭ, методика построения которого описана выше, так и трехмерный КЭ сплошной среды.

Руль высоты состоит из 14 различных видов подконструкций, представляющих собой многослойные оболочки с различными упругими постоянными и углами намотки в каждом слое и трехмерные подэлементы. Подконструкции изготовлены из четырех различных видов материалов (1 – стеклоткань Т-10-14, 2 – стеклоткань Э-100, 3 – пенопласт, 4 – фанера). Их механические характеристики приведены в таблице.

Табл. Механические характеристики

№ мат	$E_1 [\tilde{A} / \text{и}^2]$	$E_2 [\tilde{A} / \text{и}^2]$	ν_{12}	$G_{12} [\tilde{A} / \text{и}^2]$	$G_{23} [\tilde{A} / \text{и}^2]$	$G_{31} [\tilde{A} / \text{и}^2]$
1	22.0	13.35	0.01	1.8	1.8	1.8
2	16.5	16.5	0.01	5.0	5.0	5.0
3	7.2	7.2	0.4	0.9	0.9	0.9
4	1.0	1.0	0.01	0.78	0.78	0.78

Был проведен ряд расчетов для различных случаев силового нагружения.

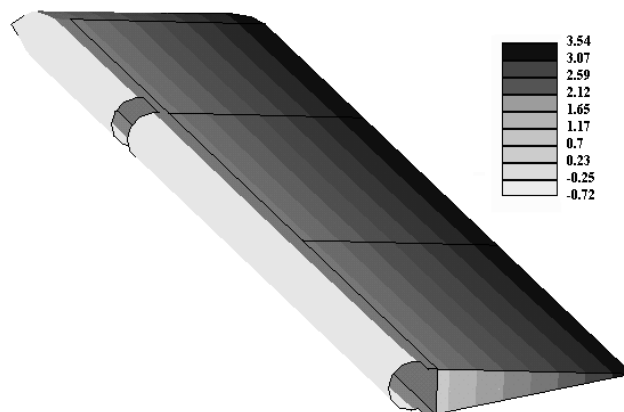


Рис.1. Распределение прогибов в конструкции

Для иллюстрации результатов расчета на рисунке 1 приведено распределение прогибов W (см) для случая равномерного нагружения по внешней лицевой поверхности руля высоты (из-за условий симметрии приводится половина конструкции). По результатам экспериментальных данных максимальный прогиб руля высоты для данного расчетного случая составляет $W_{\max}^{\text{уёл}} = 3.39 \text{ мм}$.

Исходя из анализа полученных результатов, следует отметить, что разработанная численная методика исследования напряженно-деформированного состояния конструкций существенно переменной толщины сложной геометрии, дает результаты, хорошо согласующиеся с данными натурных испытаний. Следовательно, на ее основе можно рассчитывать подобные конструкции и получать достоверные результаты.

Список литературы

1. Адясова Н.М. Некоторые вопросы расчета нелинейных составных конструкций / Н.М. Адясова, С.А. Капустин, Л.С. Яблонко // Прикладные проблемы прочности и пластичности. – Горький, 1975. – Вып. I – С. 124-135.
2. Голованов А.И. Трехмерный конечный элемент для расчета тонкостенных конструкций / А.И. Голованов, М.К. Сагдатуллин // Ученые записки Казанского государственного университета. Серия физ.-мат. наук. – Казань, 2009. – Т. 151. – Кн. 3, – С. 121-129.
3. Савула Я.Г. Применение комбинированной модели для расчета напряженно-деформированного состояния пространственных конструкций / Я.Г. Савула, И.И. Дыяк, А.В. Дубовик // Прикладная механика. – 1989. – Т. 25. – № 9. – С. 62-67.
4. Surana Karan S. Transition finite elements for three-dimensional stress analysis / Karan S. Surana // Int. J. Numer. Meth. Eng. – 1980. – V. 15. – № 7. – P. 991-1020.
5. Surana Karan S. Three dimensional solid-shell transition finite elements for heat conduction / Karan S. Surana // Comput. and Struct. – 1987. – V. 26. – № 6. – P. 941-950.

01.01.06

В.В. Дружинин д.ф.-м.н., Л.А. Лобов, А.Г. Сироткина к.ф.-м.н.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Саровский физико-технический институт
кафедра высшей математики
г. Саров, MailBox@Lobov.LA

ДЕТЕРМИНАНТНЫЙ ПРИЗНАК ДЕЛИМОСТИ

Предложен новый способ определения делимости чисел, позволяющий резко сократить расчеты. Введена детерминантная функция делимости, с помощью которой можно также находить частное дроби и остаток при делении.

Ключевые слова: *функция делимости, признак делимости, простое число, система счисления, этап.*

Вопрос о признаках делимости целых чисел $\mathbb{Z}$ такой же старый, как и сама математика. Пусть A – делимое, а B – делитель. Мы предлагаем ввести термин – функция делимости (ФД) $D(A; B)$. Эта функция обладает следующим свойством. Если $A : B$ (т. е. $A/B \in \mathbb{Z}$), то тогда и только тогда $D : B$. «Школьные» признаки делимости дают следующие ФД

$$\begin{aligned} D(A; 2) = D(A; 5) = a_0; \quad D(A; 4) = a_1 a_0; \quad D(A; 3) = D(A; 9) = \sum_{k=0}^{n-1} a_k; \\ D(A; 11) = \sum_k a_{2k} - \sum_k a_{2k+1}. \end{aligned} \quad (1)$$

В (1) a_k цифры числа A в десятичной системе счисления, a_0 – последняя цифра.

Первую общую ФД делимости предложил, по-видимому, Паскаль [1, 2]. Если взять сравнение

$$10^k \equiv r_k \pmod{B} \quad (2)$$

и составить скалярное произведение вектора делимого

$$\vec{A} = (a_0; a_1; \dots; a_{n-1})$$

на вектор остатков $\vec{R} = (r_0; r_1; \dots; r_{n-1})$, то мы получим универсальную ФД Паскаля $D(A, B) = \sum_{k=0}^{n-1} a_k \cdot r_k$. Процедура нахождения $\vec{R}$ достаточно затратная по сравнению с обычным делением, и поэтому метод Паскаля используется чаще в аналитическом анализе [2].

Следующим шагом в развитии признаков делимости можно назвать метод Жбиковского [3], в котором от числа A отщепляется последняя цифра a_0 , и для делителей, оканчивающихся на $b_0 = 1$, получена ФД

$$D(A; B_1) = A_1 - B_1 \cdot a_0. \quad (3)$$

В этой формуле A_1 и B_1 число десятков в A и B ($A = 10 \cdot A_1 + a_0$, $B = 10 \cdot B_1 + b_0$). Уменьшение D по сравнению с A невелико, примерно в 10 – 15 раз. Для делителей, оканчивающихся на 3; 7; 9 метод Жбиковского дает

$$\begin{aligned} D(A; B_1 3) = A_1 - (7B_1 + 2) \cdot a_0; \quad D(A; B_1 7) = A_1 - (3B_1 + 2) \cdot a_0; \\ D(A; B_1 9) = A_1 - (9B_1 + 8) \cdot a_0. \end{aligned} \quad (4)$$

По-видимому, из-за медленной сходимости этих формул к нулю, признаки делимости Жбиковского не нашли широкого применения.

В [4] метод Жбиковского был развит в сторону отсечения не одной последней цифры делимого a_0 , но произвольного числа знаков. Если представить

$$A = 10^m \cdot A_m + a_{(m-1)} = 10^m \cdot A_m + a_{m-1}a_{m-2} \dots a_1a_0, \quad (5)$$

то можно получить новые ФД путем рассечения делимого A в произвольном месте

$$\begin{aligned} D(A; B_1 1) &= A_m + (-1)^m B_1^m \cdot a_{(m-1)}; \\ D(A; B_1 3) &= A_m + (-1)^m (7B_1 + 2)^m \cdot a_{(m-1)}; \\ D(A; B_1 7) &= A_m + (-1)^m (3B_1 + 2)^m \cdot a_{(m-1)}; \\ D(A; B_1 9) &= A_m + (1)^m (9B_1 + 8)^m \cdot a_{(m-1)}. \end{aligned} \quad (6)$$

С помощью (6) можно, например, получить новый признак делимости на $B = 11$

$$D(A; 11) = A_1 - a_{(0)} = A_2 + a_{(1)} = A_3 - a_{(2)} = \dots \quad (7)$$

Основная цель этой статьи, предложить новый, названный нами детерминантным, признак делимости (ДПД).

Пусть $A = A(1) \cdot \beta^m + a(0)$, а $B = B(1) \cdot \beta + b(0)$. Числа $A(1)$, $B(1)$ и β выбираются из соображений удобства. Например, $A = 85$, $B = 17$. Для ДПД это числа удобно записать в виде $85 = 4 \cdot 21 + 1$, $17 = 4 \cdot 4 + 1$. При этом $(B, B_1) = 1$ (взаимная простота чисел), $b(0) \neq 0$ и не кратно $B(1)$, $A(1)$ и $B(1)$ не равны нулю. Конструкция

$$(-B(1) \cdot A + A(1) \cdot B \cdot \beta^{m-1}) = A(1) \cdot \beta^{m-1} \cdot b(0) - B(1) \cdot a(0) = D(A; B; 1) \quad (8)$$

есть ФД первого шага. Действительно, сделанные преобразования сохраняют отношение A к B по делимости. Если она была, то остается. Если ее не было, то не возникает. Следующий шаг, с $D(A; B; 1)$ вместо A , дает

$$A(1) \cdot \beta^{m-2} \cdot b(0)^2 + B(1)^2 \cdot a(0) = D(A; B; 2). \quad (9)$$

На m -шаге получаем конечное выражение

$$D(A; B; m) = A(1) \cdot b(0)^m + (-1)^m B(1)^m \cdot a(0) = \left| \begin{array}{cc} A(1) & a(0) \\ (-1)^{m+1} B^m & b(0)^m \end{array} \right|. \quad (10)$$

Заметим, что в получаемой ФД выпало из рассмотрения β^m , что резко уменьшило исследуемое число. Конечно, при этом входят высокие степени частей делителя, которые могут перекрыть эффект уменьшения D .

В качестве примера найдем признак делимости на $B = 31$. Взяв $\beta = 10$ и записав $A = 10 \cdot A(1) + a(0)$, получаем $D(A; 31) = A(1) - 3 \cdot a(0)$. При $A(1) = 3 \cdot a(0)$ $A : 31$ (при этом $a(0)$ может быть любым целым числом). Аналогично при $a(0) = -a_1 a_0$ $D(A; 31) = A(1) - 9a_1 a_0$, и все числа с $A_2 = 9a_1 a_0$ кратны $B = 31$. Например, $20677 = 20700 - 23 = 667 \cdot 31$ дает $D = 207 - 23 \cdot 9 = 0$, число кратно $B = 31$.

Если число A не кратно B , т.е. $A = C \cdot B + r$, $0 < r < B$, то ДПД позволяет найти остаток r . Составим ФД для $(A - r)$ - числа кратного B . Имеем

$$D(A - r; B) = \left| \begin{array}{cc} A(1) & a(0) - r \\ (-1)^{m+1} B^m & b(0)^m \end{array} \right| = s \cdot B. \quad (11)$$

Выделяя из (11) начальную ФД $D(A; B)$, получаем диофантово уравнение для двух неизвестных r и s

$$r = \frac{s \cdot B - D(a; b)}{(-1)^{m+1} B(1)^m}. \quad (12)$$

Так как $0 \leq r < B$, (12) имеет одно решение в целых числах. Коэффициенты при неизвестных взаимно просты по условию ДПД. Найдя r по (12), находим целую часть дроби A/B .

ДПД позволяет модернизировать теорему Вильсона для простых чисел. Эта теорема утверждает, что, если $[(n-1)!+1] : n$, то тогда и только тогда $n = p$ – простое число. Пользоваться этой, по существу первой формулой простого числа, невозможно из-за быстрого роста факториалов. С помощью ДПД можно свести теорему Вильсона к

утверждению $[g!^2 + (-1)^g] : n \Leftrightarrow n \in \mathbf{P}$. Тут $n = 2g + 1$, а $\mathbf{P}$ – множество простых чисел. Если g – нечетное число, то $[g! \pm 1] : n \Leftrightarrow n \in \mathbf{P}$, хотя бы при одном знаке ($\pm$). Этот вариант теоремы Вильсона требует значительно меньших величин, для определения простоты числа. Можно и дальше с помощью ДПД уменьшить выражение в квадратных скобках. Отщепляя g , получаем $[(g-1)! \pm 2] : n \Leftrightarrow n \in \mathbf{P}$. Продолжая этот процесс, сводим теорему Вильсона к соотношению

$$[(2k-1)!!(g-k)! \pm 2^k] : n \Leftrightarrow n \in \mathbf{P}. \quad (13)$$

Для $n = 19$, $g = 9$, $k = 3$ имеем $[15 \cdot 720 \pm 8] \Rightarrow [15 \cdot 90 \pm 1]$. При знаке « $-$ » имеем $1349 = 19 \cdot 71$. Начальное пробное число в классической теореме Вильсона $[18! + 1] \approx 6,4 \cdot 10^{15}$, т. е. с помощью ДПД мы уменьшили пробное число в 10^{12} раз.

ДПД можно использовать для доказательства одной из теорем Ферма: простые числа $p = (2k+1)^2 + 4t^2$ не могут быть вида $(4g-1)$ [5]. Доказываем от противного. Пусть простое число $p = 4g - 1 = x^2 + y^2$. Тогда по малой теореме Ферма $[x^{4g-2} - 1] : (x^2 + y^2)$. Проверим это с помощью ДПД: $A(1)=1$, $\beta = x^2$, $m = 2g - 1$, $B(1)=1$, $a(0) = -1$, $b(0) = y^2$. ДПД (10) при этом имеет вид

$$D(A; B; m) = \left| \begin{array}{cc} 1 & -1 \\ 1 & y^{4g-2} \end{array} \right| = y^{4g-2} + 1.$$

По малой теореме Ферма это число не может делиться на $p = (x^2 + y^2)$ из-за знака « $+$ » в правой части, следовательно, начальное предположение было неверно. Действительно, в теории чисел доказывается с помощью цепных дробей, что все простые числа вида $(x^2 + y^2) = 4g + 1$.

Таким же образом нами доказано, что $(x^4 + y^4)$ не дают простых чисел вида $p = 8g - 3$, и вообще $p = x^{2^n} + y^{2^n}$ не могут иметь вида $[2^{n+1}g - (2^n - 1)]$. В монографии [6] приведены различные приложения ДПД и составлены программы для быстрой факторизации чисел с помощью ДПД. Этот метод может пригодиться для решения ряда задач в теории простых чисел [7].

Авторы благодарят проф. Н.А. Кудряшова (МИФИ) и к.ф.-м.н. М.А. Королева (Математический институт РАН им. Стеклова) за обсуждения и конструктивные замечания.

Список литературы

1. Виноградов И.М. Основы теории чисел. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1981. – 176 с.
2. Сушкевич А.К. Теория чисел. – Харьков: ХГУ, 1954. – 204 с.
3. Жбиковский А.К. Вестник математических наук. – Россия, т. 1, с. 5 – 6, 1861.
4. Дружинин В.В., Лушикова Н.В. Тезисы докладов школы МММ-1. – Саров, 2007.
5. Серпинский В. Что мы знаем и что не знаем о простых числах. – М.: Физматлит, ГИФМЛ, 1961. – 88 с.
6. Дружинин В.В. Детерминантный признак делимости. – Саров: Альфа, 2012. – 184 с.
7. Crandall R., Pomerance C. Prime Numbers: A Computational Perspective. – New York: Springer, 2005. – 604 с.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.01

**В.В. Вольхин д.х.н., Л.С. Пан к.х.н., Е.А. Балабенко, О.И. Бахирева к.х.н.,
Г.В. Леонтьева д.х.н., Н.Б. Ходяшев д.т.н.**

Пермский национальный исследовательский политехнический,
университет химико-технологический факультет,
кафедра химии и биотехнологии,
Пермь, vvv@mail.pstu.ru

**СИНТЕЗ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ СОРБЕНТОВ
НА ОСНОВЕ СМЕШАННЫХ ГЕКСАЦИАНОФЕРАТОВ (II)
МЕДИ, ЦИНКА-КАЛИЯ И БИОПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ**

*В работе представлены результаты изучения состава, макроструктуры (оптическая микроскопия), кристаллической структуры (рентгенофазовый анализ) и сорбционных свойств (коэффициент распределения K_d для ионов Cs^+ на фоне ионов Na^+/K^+) композиционных сорбентов, включающих неорганический компонент – $K_{0.36}Cu_{1.82}[Fe(CN)_6]$ или $K_{1.00}Zn_{1.50}[Fe(CN)_6]$, и органический – водоросль *Cystoseira barbata*. Методом ИК-Фурье спектроскопии идентифицированы функциональные группы биомассы водоросли, задействованные при синтезе композиционных сорбентов. Подтверждена селективность композиционного сорбента по отношению к ионам Cs^+ на фоне ионов Na^+ , K^+ .*

Ключевые слова: цезий, водоросль, гексацианоферратные комплексы, композиционные сорбенты, сорбция, коэффициент распределения.

Смешанные гексацианоферраты(II) переходных металлов (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Cd^{2+} , Fe^{2+} и др.) и калия способны селективно поглощать ионы Cs^+ , включая радионуклиды цезия (^{137}Cs), что позволяет использовать эти соединения для приготовления сорбентов цезия [1–3]. Однако при их синтезе в водных средах образуются осадки коллоидного характера, и составляя основу сорбентов они передают им склонность к пептизации. Выход из такого положения находят на пути синтеза композиционных сорбентов. Одним из основных компонентов композиций становится смешанный гексацианоферрат (II) переходного металла и калия (ГЦФ-ПМ-К), а другим – либо легко гранулируемый неорганический материал, либо синтетический пластик или биополимер [4-5].

Практическое применение сорбентов нередко связано с очисткой питьевой воды от токсичных примесей, включая ионы цезия и переходных металлов, а также выведением радионуклидов из организма животных и человека [6–7]. Поэтому возникают санитарно-гигиенические требования к веществам, входящим в состав композиционных сорбентов. Этим требованиям могут отвечать ГЦФ-ПМ-К, не выделяющий водную фазу при сорбции ионов Cs^+ каких-либо токсичных ионов из своего состава, и биополимер, в качестве которого может быть взята морская водоросль, используемая в форме биологически активного препарата [7–9]. Но при этом важно найти условия синтеза композиционного материала, обеспечивающие хорошую адгезию между компонентами.

Решению задачи синтеза и исследованию сорбционных свойств композиционных сорбентов, включающих ГЦФ-Сu-К или ГЦФ-Зn-К как функционально основной компонент, и биополимер, составляющий основу биомассы бурой морской водоросли *Cystoseira barbata* и выступающий в составе сорбента в качестве матричного носителя, посвящена данная работа.

Объекты и методики исследования

Селективность ГЦФ-ПМ-К к ионам Cs^+ при их сорбции из водных растворов определяется не только их составом, но и кристаллической структурой, которую можно отнести к производным структуры перовскита [10]. Их состав в идеальном состоянии отвечает формуле $\text{AB}'_{0,5}\text{B}''_{0,5}\text{X}_3$, где $\text{A} - \text{K}^+$, Cb^+ , $\text{B}'\text{-Fe}^{2+}$, $\text{B}''\text{-Cu}^{2+}$, Zn^{2+} и др. и $\text{X} - \text{CN}^-$. Если исходить из кубической симметрии элементарной ячейки кристаллической структуры перовскита, то ионы K^+ или Cs^+ занимают позиции внутри куба, ионы Fe^{2+} и Cu^{2+} или Zn^{2+} – в узлах элементарной ячейки и ионы CN^- – на ребрах куба. Несмотря на то, что на элементарную ячейку в идеальных условиях приходится формульная единица $\text{K}_{1,0}\text{Fe}_{0,5}\text{Me}_{0,5}(\text{CN})_3$, где $\text{Me} = \text{Cu}^{2+}$, Zn^{2+} и др., традиционно химические формулы гексацианоферратов (II) представляют в расчете на моль $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$.

Электростатические силы, действующие на ионы K^+ или Cs^+ в элементарной ячейке, определяются высоким координационным числом катионов по отношению к анионам CN^- ($\text{KЧ} = 12$) и близостью расстояния между ионами (в представлениях о кристаллохимических радиусах ионов). Поскольку межионное расстояние $\text{Cs}^+ - \text{CN}^-$ меньше, чем $\text{K}^+ - \text{CN}^-$, то соответственно ионы Cs^+ удерживаются в кристаллической решетке комплекса сильнее по сравнению с ионами K^+ . Для достижения такого эффекта гексацианоферратные комплексы должны иметь собственную кристаллическую фазу в составе композиционного сорбента.

Реальные составы и структуры смешанных гексацианоферратов переходных металлов и калия могут отличаться от идеальных [3, 10]. Так, ГЦФ-Сu-К характеризуется нестехиометрическим составом, что выражается формулой $\text{K}_{1-2x}\text{Cu}_{0,5+x}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$, при $0 < x < 0,5$. Согласно такой модели избыточные ионы Cu^{2+} могут замещать ионы K^+ в их позициях в объеме элементарной ячейки. Для ГЦФ-Зn-К возможны более существенные отклонения от перовскитовой модели. Его состав достаточно стабилен и выражается формулой $\text{K}_{0,5}\text{Zn}_{0,75}\text{Fe}_{0,5}(\text{CN})_3$ [11]. Но в отличие от ионов Fe^{2+} , образующих координационные группы FeC_6 , ионы Zn^{2+} более склонны к координации ZnN_4 и ГЦФ-Р-Зn кристаллизуются с образованием ромбоэдрической элементарной ячейки, в пустотах которой находятся ионы K^+ и молекулы H_2O . При этом повышенная селективность комплекса к ионом Cs^+ по сравнению с ионами K^+ сохраняются.

Морские водоросли *Cystoseira barbata*, проявляющие способность поглощать ионы переходных металлов и допущенные к использованию в качестве биологически активных веществ, применены в качестве компонента для композиционного сорбента.

Многолетние бурые водоросли цистозирсы состоят, в основном, из аморфного гелеобразного матрикса полисахаридной природы и фибриллярной опорной системы [7–8]. Внешние слои клеточной стенки образуют сульфатированные полисахариды и пектины. Фибриллярная система состоит из целлюлозных волокон и участвует в образовании внутреннего слоя клеточной стенки. Целлюлоза собрана в элементарные фибриллы, несколько десятков которых образуют микурофибриллу. Компонентами клеток являются также альгинаты, состоящие из остатков β -D-маннуровой и α -L-гулуриновой кислот. Альгиновые кислоты, особенно α -L-гуруоновая кислота, проявляют высокое сродство к ионам двухвалентных металлов, что использовано в данной работе при синтезе композиционных сорбентов. Имеет значение и пористость в клеточной стенке водоросли *Cystoseira barbata* (диаметр пор 40–60 нм), что может способствовать поглощению ионов металлов внутрь клеток. Снаружи волокна покрыты слоем слизи [8].

При выполнении исследования использовали следующие **методики**.

Содержание в водных растворах ионов щелочных металлов (Na^+ , K^+ и Cs^+) и переходных металлов (Fe^{2+} , Cu^{2+} и Zn^{2+}) определяли с помощью атомно-абсорбционного анализа, использовали спектрофотометр iCE-3000 (Thermo Scientific, США). Рентгенофазовый анализ (РФА) выполняли на установке ДРОН-2,0 (скорость поворота образца 1 град./мин.) Использовали $\text{CuK}\alpha$ -излучение после монохромата на первичном пучке относительную

интенсивность отражений определяли измерением отношений высоты пиков дифрактограмм. Для записи ИК-спектров использовали ИК-Фурье спектрометр Nicolet 380 (Thermo Electron, США). Для анализа готовили образцы, таблетированные с KBr. Для записи изображения структуры композиционного сорбента использовали оптический микроскоп Axiostar plus (Carl Zeiss, Германия).

Результаты исследования и их обсуждение

В основу методики синтеза композиционного сорбента, включающего ГЦФ-Cu-K или ГЦФ-Zn-K и волокна водоросли *Cystoseira barbata* и предназначенного для селективной сорбции ионов Cs^+ , были положены представления о возможности насыщения образцов водоросли ионами Cu^{2+} или Zn^{2+} и последующего обратного перевода ионов металлов в водную фазу с помощью 0,1 раствора $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$. Предполагалось, что в результате ионного обмена $\text{K}^+ \rightarrow \frac{1}{2}\text{Cu}^{2+}$, $\frac{1}{2}\text{Zn}^{2+}$ освободившие от связей с функциональными группами ионы переходного металла будут вовлечены в формирование микрозерен кристаллических фаз ГЦФ-Cu-K или ГЦФ-Zn-K, которые окажутся иммобилизованными в матрице водоросли.

Для оценки наличия в составе биомассы водоросли *Cystoseira barbata* функциональных групп, способных участвовать в ионном обмене, были записаны ИК-спектры воздушно-сухого образца водоросли (рис. 1). Интерпретация ИК-спектра проведена в соответствии с отнесением полос поглощения, принятом в работах [9, 12].

Валентным колебаниям О-Н и N-Н соответствует широкая полоса поглощения с максимумом при 3411 см^{-1} и колебаниям ОН-групп, участвующим в образовании водородных связей, – плечо при 3380 см^{-1} . Валентные колебания алифотических С-Н групп – пик поглощения при 2923 см^{-1} . При 1635 см^{-1} проявляются деформационные колебания молекул H_2O . Согласно литературным данным [12] два пика при $1618\text{--}1633\text{ см}^{-1}$ и 1440 см^{-1} относятся к колебаниям групп --COO^- и пик при 1050 см^{-1} – к колебаниям групп С-О. Первый из них перекрывается полосой поглощения колебаний $\delta\text{H}_2\text{O}$, а последующие проявляются при 1420 см^{-1} и $1030\text{--}1094\text{ см}^{-1}$ соответственно. На рис. 1 приведен фрагмент ИК-спектра, содержащий наиболее информативные полосы поглощения.

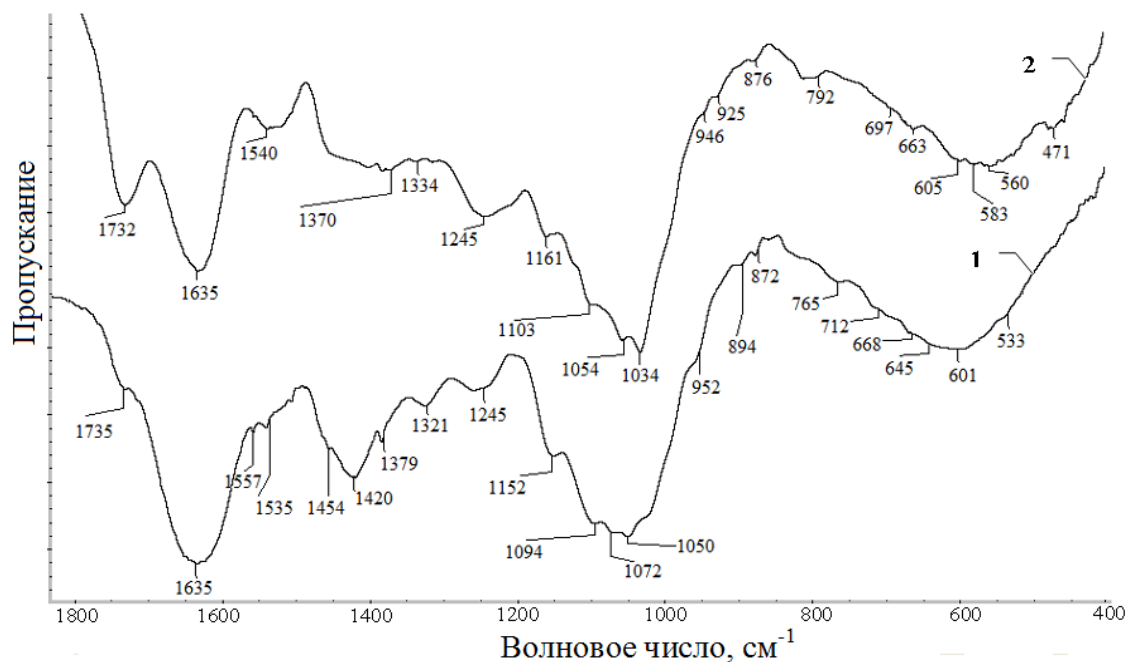


Рис. 1- ИК-Фурье спектры образцов: исходной водоросли (1); водоросли после обработки раствором HCl (2)

Для более надежного подтверждения наличия групп —COO^- образец водоросли был обработан раствором HCl . Фрагмент ИК-спектра полученного образца водоросли приведен на рис. 1. Присутствие в спектре колебаний групп —COOH подтвердилось, о чем свидетельствует пик при 1732 см^{-1} , при этом пик при 1420 см^{-1} существенно ослабел, но сохранились колебания при $1034\text{--}1054\text{ см}^{-1}$. Для обоих исследованных образцов водорослей проявляется пик при 1245 см^{-1} , который можно отнести в валентным колебаниям групп S=O , входящих в состав сульфатированных полисахаридов [9].

Из числа функциональных групп, присутствующих в составе биомассы водоросли *Cystoseira barbata*, в ионном обмене в условиях нейтральной водной среды могут участвовать карбоксильные группы альгиновых кислот— β -D-маннуровой и α -L-гулурановой (линейные полисахариды), соответствующие им значения pK_a равны 3,30 и 3,65 [7]. В обычном состоянии водоросли могут содержать альгинаты магния, натрия и других металлов, которые присутствуют в золе после сжигания соответствующей биомассы. Вместе с тем, поглощение ионов переходных металлов биомассой водорослей может происходить не только по механизму ионного обмена, но и образования координационных связей [7], что приводит к нарушению простых стехиометрических соотношений, ожидаемых при обмене катионов.

Обработка биомассы водоросли *Cystoseira barbata* последовательно растворами $0,2\text{ М CuSO}_4/\text{ZnSO}_4$ и $0,1\text{ М K}_4\text{Fe(CN)}_6$ позволила синтезировать образцы композиционных материалов, содержащих соответственно 18,0 % мас. ГЦФ-Cu-K и 19,9 % мас. ГЦФ-Zn-K (образцы в воздушно-сухом состоянии).

На рис. 2 приведено изображение в оптическом микроскопе (увеличение в 2300 раз) фрагмента композиционного материала.

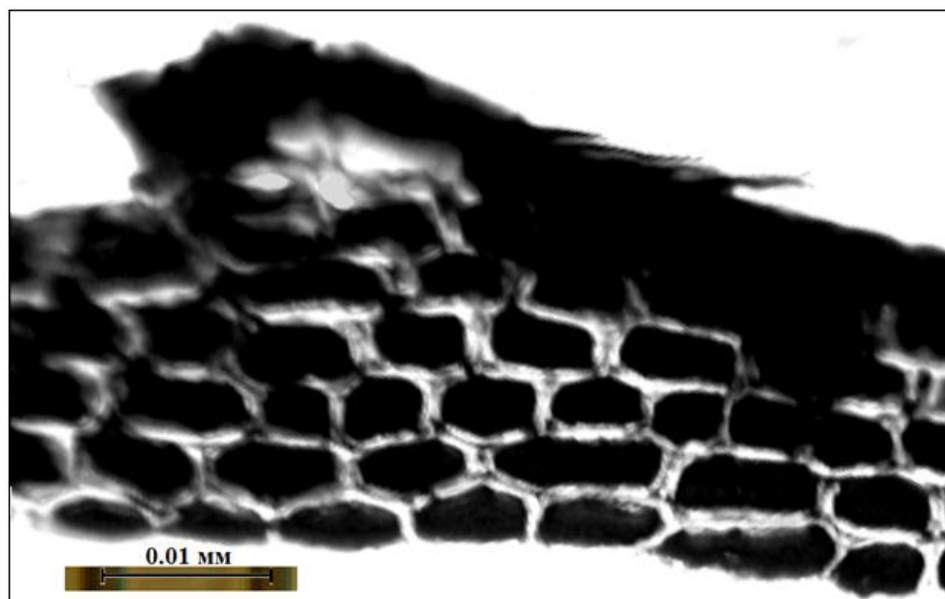


Рис. 2- Изображение в оптическом микроскопе (x2300) фрагмента образца композиционного сорбента

Как видно, гексацианоферратный комплекс сосредотачивается внутри поля клеток и на поверхности волокон водоросли (в зоне слизи), т.е. в местах накопления альгиновых кислот. Такой результат отвечает задаче иммобилизации гексацианоферратных комплексов в матрице биомассы.

Композиционный материал, включающий в свой состав в качестве компонентов гексацианоферратный комплекс и биомассу водоросли, может выполнять функции селективного к ионам Cs^+ сорбента только при условии формирования микрозерен самостоятельной кристаллической фазы гексацианоферрата. Для проверки реализации при

синтезе этого требования образцы композиционных материалов и биомассы исходной водоросли были подвергнуты рентгенофазовому анализу (РФА). На дифрактограммах образца исходной водоросли (рис. 3) проявляются пики, которые характерны для кристаллической решетки целлюлозы (кристаллические области волокон целлюлозы) [13].

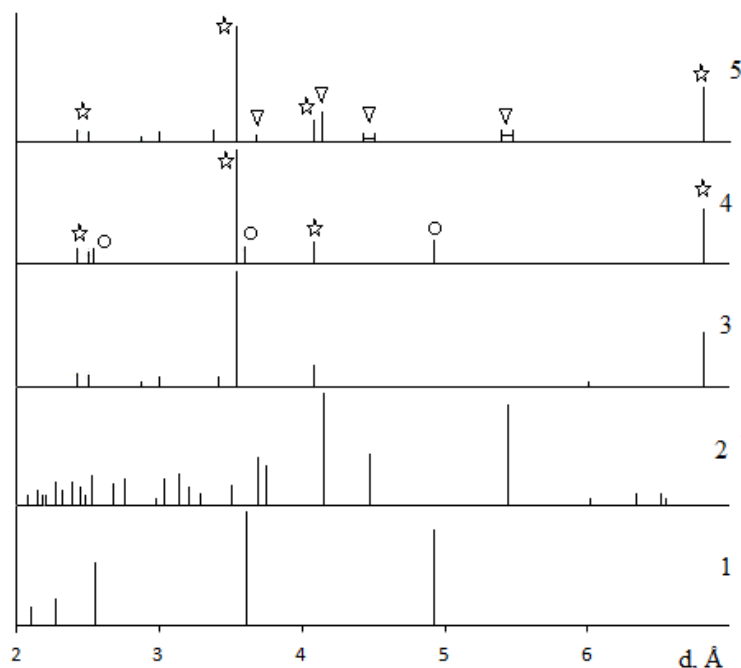


Рис. 3- Дифрактограммы образцов: 1- ГЦФ-Cu-K; 2- ГЦФ-Zn-K; 3- водоросль;
4- ГЦФ-Cu-K + водоросль; 5- ГЦФ-Zn-K + водоросль

Обозначения фаз: ☆ - целлюлоза; ○ - ГЦФ-Cu-K; ▽ - ГЦФ-Zn-K

При этом наиболее интенсивные отражения проявляются при $2\theta(\text{Cu})$: 12,5; 22,25 и 26,5 град., и они сохраняются на дифрактометрах композиционных материалов. Судя по результатам РФА гексацианоферратные комплексы формируют в составе композиционных материалов индивидуальные кристаллические фазы (рис.3). Так, ГЦФ-Cu-K, имеющий по результатам химического анализа состав, выраженный формулой $\text{K}_{0,36}\text{Cu}_{1,82}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, характеризуется отражениями при значениях $2\theta(\text{Cu})$: 18,2; 24,7; 36,0 град., а ГЦФ-Zn-K, формула которого $\text{K}_{1,00}\text{Zn}_{1,50}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, имеет на дифрактограмме пики, из них наиболее интенсивные из при $2\theta(\text{Cu})$: 16,2; 13,7; 21,6; 24,5 град. Однако, отражениям на дифрактограммах, соответствующим фазам гексацианоферратных комплексов, формирующимся в составе образцов композиционных материалов, свойственен ослабленный (диффузионный) характер, что свидетельствует о малых размерах их кристаллических зерен.

Сорбционная способность синтезированных композиционных материалов по отношению к ионам Cs^+ была проверена в ходе прямых сорбционных экспериментов. Определены значения полной динамической сорбционной емкости (ПДСЕ) гексацианоферратных комплексов, $\text{K}_{0,36}\text{Cu}_{1,82}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и $\text{K}_{1,00}\text{Zn}_{1,50}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, по ионам Cs^+ , содержание гексацианоферратных комплексов в составе композиционных сорбентов, $a_{\text{Cu-K}}$ и $a_{\text{Zn-K}}$, и максимальная сорбционная емкость гексацианоферратных комплексов в расчете на 1 г композиционного сорбента, $E_{\text{Cu-K}(\text{Cs})}$ и $E_{\text{Zn-K}(\text{Cs})}$.

Перечисленные показатели суммированы в таблице.

Таблица. Сорбционные характеристики синтезированных сорбентов

Гексацианоферратный комплекс в составе сорбента	ПДСЕ, ммоль Cs^+ /ммоль $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	$a_{\text{Cu-K}}$ и $a_{\text{Zn-K}}$, % мас.	$E_{\text{Cu-K}(\text{Cs})}$ и $E_{\text{Zn-K}(\text{Cs})}$, ммоль Cs^+ /г сорбента
$\text{K}_{0,36}\text{Cu}_{1,82}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$0,95 \pm 0,05$	18,0	$0,49 \pm 0,04$
$\text{K}_{1,00}\text{Zn}_{1,50}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$0,83 \pm 0,03$	19,9	$0,47 \pm 0,02$

Примечание: расшифровка используемых символов дана в тексте.

При сорбции ионов Cs^+ гексацианоферратными комплексами состава $\text{K}_{0,36}\text{Cu}_{1,82}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и $\text{K}_{1,00}\text{Zn}_{1,50}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ происходит ионный обмен $\text{Cs}^+ \rightarrow \text{K}^+$. В ходе проведенных экспериментов сорбция ионов Cs^+ ГЦФ-Zn-K фактически завершается при замещении ионов K^+ ионами Cs^+ примерно на 83-85 %. В составе ГЦФ-Cu-K ионы K^+ замещаются ионами Cs^+ в большей мере, чем в случае ГЦФ-Zn-K. Более того, в ионном обмене участвует часть содержащихся в твердой фазе ионов Cu^{2+} : в условиях эксперимента вытеснение меди достигало 16,2 %. Сам факт участия ионов Cu^{2+} в ионном обмене при сорбции ионов Cs^+ исключает применение ГЦФ-Cu-K для очистки водных сред от цезия, если очищенную воду планируется использовать для живых систем. Поэтому заключительный сорбционный эксперимент был проведен только с ГЦФ-Zn-K.

Экспериментально оценена способность композиционного сорбента, включающего ГЦФ-Zn-K и водоросль *Cystaseira barbata*, селективно поглощать ионы Cs^+ из водной среды, содержащей конкурирующие ионы Na^+ , K^+ . В ходе эксперимента определяли коэффициент распределения ионов Cs^+ (K_d), который представляет собой отношение

$$K_d = C_{\text{равн.}}(\text{Cs}^+)_{\text{тв.ф.}} / C_{\text{равн.}}(\text{Cs}^+)_{\text{р-р}},$$

где $C_{\text{равн.}}(\text{Cs}^+)_{\text{тв.ф.}}$ и $C_{\text{равн.}}(\text{Cs}^+)_{\text{р-р}}$ – равновесные концентрации ионов Cs^+ в фазе сорбента, мг Cs^+ /г сорбента, и в растворе, мг Cs^+ /мл раствора, соответственно. Исходная концентрация ионов Cs^+ во всех пробах составляла 0,7 г/л. Концентрации ионов Na^+ и K^+ (раздельно в двух сериях проб) варьировали от 0 до 30 ммоль/л, соотношение массы сорбента к массе раствора оставалось постоянным и составляло 0,7 г сорбента на 1000 г раствора. Для сравнения такие же эксперименты проведены с образцами чистой водоросли. Результаты экспериментов представлены на рис. 4 в форме зависимостей K_d от C , где C – концентрации ионов Na^+ или K^+ , ммоль/л.

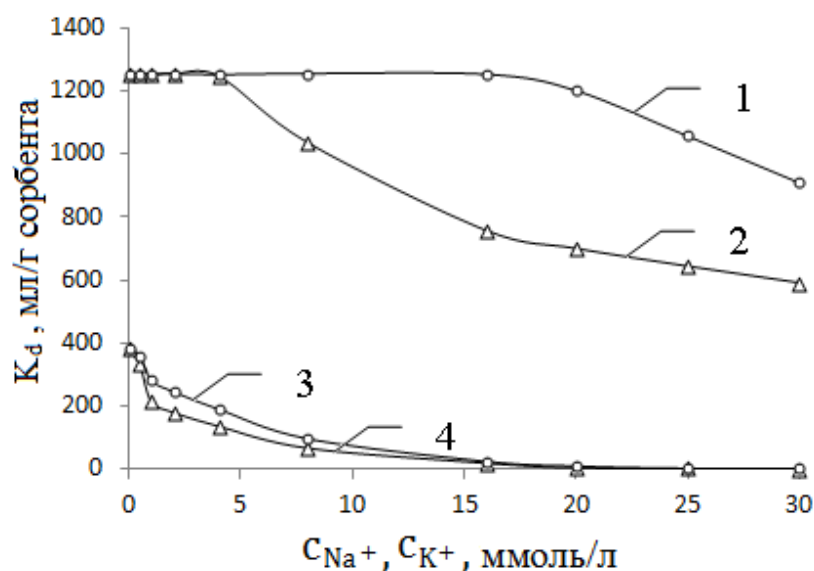


Рис. 4- Зависимость K_d от c_{Na^+} (1,3) и K_d от c_{K^+} (2,4) для образцов сорбентов: ГЦФ-Zn-K + водоросль (1,2) и водоросль (3,4)

Результаты эксперимента показали: в отсутствии в водной фазе ионов Na^+ и K^+ коэффициент распределения K_d для ионов Cs^+ для композиционного сорбента имеет значение 1253 ± 6 мл/л и для чистой водоросли – 380 ± 5 мл/г. В присутствии ионов Na^+ или K^+ в водной фазе значения K_d у чистой водоросли уменьшаются почти до нулевого уровня уже при концентрациях конкурирующих ионов выше 1–2 мМ. Следовательно, водоросли не обладают способностью селективно сорбировать ионы Cs^+ . При поглощении ионов Cs^+ композиционным сорбентом высокие значения K_d почти не изменяются при росте концентрации ионов Na^+ в водной фазе до 15–18 мМ. При более высоких концентрациях ионов Na^+ появляется их конкуренция, значения K_d понижаются до 911 мл/л при $C_{\text{Na}^+} = 30$ мМ. При увеличении концентрации ионов K^+ в растворе до 5 мМ не происходит их

заметной концентрации, далее при $C_{K^+} = 20$ мМ значения K_d понижаются примерно до 700 мл/г, а лишь при C_{K^+} выше 30 мМ зависимость K_d от C_{K^+} ослабляется, но значения K_d еще остаются на уровне около 590 мг/л. Можно предполагать, что часть микрозерен гексацианоферратных комплексов образуют в составе композиционного сорбента более оформленную кристаллическую структуру, что повышает их селективность при сорбции ионов Cs^+ .

В целом результаты выполненной работы подтвердили возможность синтеза композиционных сорбентов на основе ГЦФ-Zn-K и водоросли *Cystoseira barbata*, обладающие хорошей селективностью к ионам Cs^+ и позволяющие достигнуть высокие значения коэффициента распределения K_d по цезию (590–1250 мг/л) в присутствии ионов Na^+ и K^+ .

Список литературы

1. Loos-Neskovic C., Ayrault S., Structure of copper-potassium hexacyanoferrate (II) and sorption mechanisms of cesium // J. solid state chemistry.- 2004.- № 177.- P. 1817-1828.
2. Vlasselaer S., D'Olieslager W., D'Hont M. Caesium ion exchange equilibrium on potassium-zinc-hexacyanoferrate (II), $K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2$. Selectivity for alkali ions // J. Radioanalyt. Chem.- 1977.- Vol. 35.- P. 211-222.
3. Зильберман М.В., Вольхин В.В., Шульга Е.А., Колесова С.А. Кристаллическая структура и ионообменные свойства ферроцианидов переходных металлов // Неорган. материалы.- 1975.- Т. 11, №4.- С. 709-712.
4. Avramenko V., Bratskaya S. Colloid stable sorbents for cesium removal: preparation and application of latex particles functionalized with transition metals ferrocyanides // J. hazardous materials.- 2011.- Vol. 186.- P. 1343-1350.
5. Воронина А.В., Ноговицына Е.В., Бетенков Н.Д. Оценка статических характеристик ферроцианидов на основе гидратированного диоксида титана марки «Термоксид-5» // Сорбционные и хроматографические процессы.- 2006.- Т. 6, вып. 6.- С. 961-964.
6. Parab H., Sudersanan M. Engineering a lignocellulosic biosorbent – coir pith for removal of cesium from aqueous solutions: equilibrium and kinetic studies // Water research.- 2010.- Vol. 44.- P. 854-860.
7. Davis T.A., Volesky B., Mucci A. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae // Water research.- 2003.- Vol. 37.- P. 4311-4330.
8. Сабурик М.Ю. Фитоценозы черноморской цистозеры: структура, обновление и перспектива использования: автореф. дис. ... канд. биол. наук.- М., 2004.- 18 с.
9. Silva T.M.A., Alves L.G., de Queiroz K.C.S., Santos M.G.L., Marques C.T., Chavante S.F., Rocha H.A.O., Leite E.L. Partial characterization and anticoagulant activity of a heterofucan from the brown seaweed *Padina gymnospora* // Brazil. J. of Medical and Biological Research.- 2005.- Vol. 38.- P. 523-533.
10. Зильберман М.В., Вольхин В.В. Структура смешанного ферроцианида меди и соответствующих ему продуктов молекулярной сорбции // Ж. структ. химии.- 1971.- Т. 12, №4.- С. 649-652.
11. Ходяшев Н.Б., Вольхин В.В. Электропроводность и кристаллическая структура смешанных гексацианоферратов (II) цинка-калия и меди-калия // Ж. неорган. химии.- 2004.- Т. 49, вып. 4.- С. 658-662.
12. Solpan D., Torun M., Güven O. The usability of (sodium alginate/acrylamide) semi-interpenetrating polymer networks on removal of some textile dyes // J. applied polymer science.- 2008.- Vol. 108, P. 3787-3795.
13. Сеницын А.П., Гусаков А.В., Черноглазов В.М. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов.- М., изд-во МГУ, 1995.- С. 7-15.

02.00.01

¹А.К. Молодкин д.х.н., ¹Н.Я. Есина к.х.н., ¹М.Н. Курасова к.х.н., ²М.В. Тачаев к.х.н.

¹Российский университет дружбы народов,
факультет физико-математических и естественных наук,
кафедра неорганической химии,
г. Москва, 206127@mail.ru

²МГУ Природообустройства,
кафедра химии

РАЗНОЛИГАНДНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ Pd(II) С АМИНОКИСЛОТАМИ, АДЕНИНОМ И ГИПОКСАНТИНОМ

Взаимодействием водных растворов синтезированы координационные соединения: $[Pd(C_5H_4N_4O)(C_3H_6NO_2)]Cl$, $[Pd(C_5H_4N_4O)(C_4H_5NO_4)]$, $[Pd(C_5H_4N_4O)(C_6H_{13}N_2O_2)]Cl$, $[Pd(C_5H_5N_5)(C_3H_6NO_2)]Cl$, $[Pd(C_5H_5N_5)(C_4H_5NO_4)]$, $[Pd(C_5H_5N_5)(C_6H_{13}N_2O_2)]Cl$. Индивидуальность полученных соединений была установлена посредством химического, термогравиметрического анализа и РФА. Выделенные соединения охарактеризованы методами ЯМР, ИК, РФЭС-спектроскопии.

Ключевые слова: палладий, комплексные соединения, аденин, гипоксантин, аминокислота.

Комплексы переходных металлов могут являться переносчиками микроэлементов и органических веществ к жизненно важным точкам организма, могут быть использованы для поддержания необходимого баланса биометаллов и органических веществ в организме. Систематические исследования корреляции «состав-строение-биологическая активность» соединений благородных металлов показали, что такие соединения обладают достаточно высокой противоопухолевой и иммуноактивирующей активностью, при этом токсичность соединений палладия(II) ниже, чем у аналогичных соединений платины [1-4].

При синтезе комплексных соединений в качестве исходных веществ использовались аминокислоты и пуриновые основания марки «х.ч.». $H_2PdCl_4 \cdot 6H_2O$ получали растворением металлической палладиевой проволоки в царской водке [5-6]. Синтез разнолигандных (с соотношением $M:L_1:L_2$ равным 1:1:1) комплексов Pd(II) проводили путем замещения одного из лигандов. Горячие растворы: 50 мл 0,1М раствора H_2PdCl_4 и 50 мл 0,1М раствора аминокислоты смешивались, выпаривались на водяной бане, и к полученной смеси добавлялось 50 мл нагретого до 70°C 0,1М раствора пуринового основания (аденина, гипоксантина). Образовавшиеся кристаллы отфильтровывали на фильтре Шотта и промывали дистиллированной водой, спирто-ацетоновой смесью и эфиром. Затем выдерживали в эксикаторе над слоем P_2O_5 до постоянной массы и анализировали.

Идентификация синтезированных соединений была проведена методами химического (CHNS-O EA1108 Elemental analyzer фирмы Carlo Erbae с точностью 0,01-0,1%), кристаллооптического, рентгенофазового (дифрактометр ДРОН-2 с монохроматическим CuK_α -излучением со скоростью $\frac{1}{4}$ град/мин), термогравиметрического (термограф «МОМ Q-1500D» (Венгрия) при нагревании от 20°C до 1000°C) анализов, методами ЯМР (импульсный спектрометр с Фурье-преобразованием высокого разрешения Bruker AC-200 с рабочей частотой протонов 200,13 МГц), ИК-спектроскопии (спектрофотометр Specord M-82 в области 400-4000 cm^{-1}) и РФЭС (LAS-3000 фирмы «Riber»).

Отличие дифрактограмм синтезированных комплексных соединений от дифрактограмм исходных веществ позволяет сделать вывод об индивидуальности выделенных веществ.

Следует отметить, что термическое разложение всех изученных разнолигандных комплексов Pd(II) происходит однотипно. Процесс разложения комплексов начинается при

температуре 180-200°C. В области 450-500°C наблюдается сильный экзоэффект, соответствующий выгоранию органической части молекулы. Увеличение массы на кривой TG (при 550-830°C) соответствует образованию оксида палладия (PdO), который при дальнейшем нагревании разлагается. Конечный продукт термолитиза - элементарный палладий (рис.1).

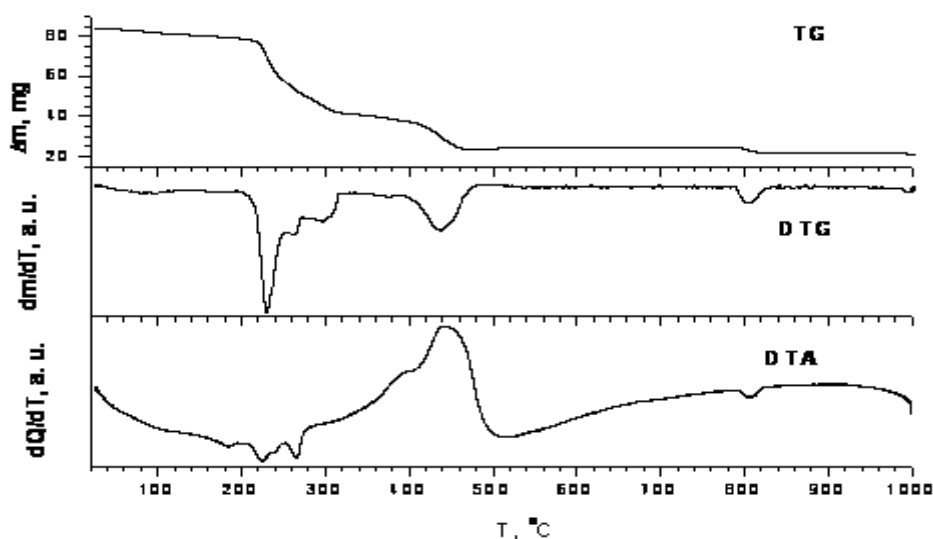


Рис.1 - Дериватограмма соединения Pd(Ade)(Lys)Cl.

Для доказательства связи металл-лиганд и установления способа координации последних были изучены ИК-спектры поглощения исходных и синтезированных веществ [7-8]. Волновые числа полос поглощения комплексных соединений палладия (II) приведены в таблице 1 (в скобках указаны соответствующие полосы в спектре чистых лигандов).

Таблица 1 - Волновые числа максимумов (см^{-1}) полос поглощения разнолигандных комплексных соединений Pd(II) на основе гипоксантина.

Соединение	Pd(Hyp)(Ala ⁻)Cl (гипоксантин, аланин)	Pd(Hyp)(Asp ²⁻) (гипоксантин, аспараг. к-та)	Pd(Hyp)(Lys ⁻)Cl (гипоксантин, лизин)
δ α -NH ₂ -группы аминокислоты	1556, 1191, 1113, 643	1504, 1191, 1093, 643	1572, 1184, 1132, 630
ν COO ⁻ -группы, связанной с металлом	1614 (ас.) (1621), 1412 (сим.) (1451)	1621 (ас.) (1640), 1412 (сим.) (1425)	1601 (ас.) (1621), 1412 (сим.) (1419)
δ COO ⁻ -группы	826, 565, 532 (852, 656, 545)	832, 611, 558, 506 (871, 663, 552)	832, 611, 565, 526 (865, 663, 552)
ν =C=O группы гипоксантина	1693 (1673)	1706 (1673)	1693-1725 (1673)
ν связей C=C, C=N пуринового кольца	1556 (1582, 1523)	1504 (1582, 1523)	1572 (1582, 1523)
Колебания замещен. пиримидинов. кольца	1484, 1341 (1581, 1523, 1471)	1471, 1341 (1581, 1523, 1471)	1471, 1341 (1581, 1523, 1471)
Колебания связи Pd-N	383, 343	396, 376	402, 330

По данным ИК-спектров, аланин и лизин взаимодействуют с ионом Pd(II) за счет COO⁻ и NH₂-групп, проявляя себя как бидентатные лиганды, в случае аспарагиновой кислоты в координации участвуют обе карбоксильные группы и α -аминогруппа. Смещение полос валентных и деформационных колебаний пуринового кольца говорит о взаимодействии

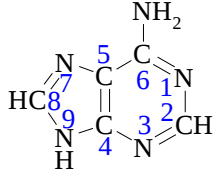
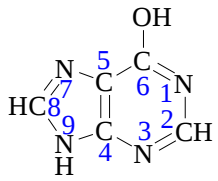
атомов азота гетероцикла с ионом металла. Карбонильная группа (C=O-группа) гипоксантина, по-видимому, взаимодействует с ионом металла, так как смещение частоты поглощения ($20\text{--}30\text{см}^{-1}$) данной группы отмечается во всех спектрах. Аминогруппа (NH_2 -группа) аденина, по-видимому, также принимает участие во взаимодействии с ионом Pd(II) .

Для уточнения положения иона хлора в комплексах и способа координации ионом металла лигандов были сняты рентгенофотоэлектронные спектры. Анализ полученных данных показал, что ион Cl^- , занимает внешнесферное положение ($E_{\text{св.}}(\text{Cl}_{2p})=(197,4\text{--}198,5)\text{эВ}$), а также подтвердил способ координации ионом Pd(II) лигандов [9].

С целью определения конкретных атомов азота гетероциклов аденина и гипоксантина, координированных ионом металла, а также для уточнения возможности координации аминогруппы аденина и карбонильной группы гипоксантина были изучены ЯМР спектры неводных (DMSO) растворов соединений палладия (II) [10].

Строение лигандов (аминокислот и пуриновых оснований) представлено в таблице 2 (цифрами обозначены атомы углерода CH_n групп ($n=0\text{--}3$) и атомы азота).

Таблица 2 - Строение лигандов.

Аланин	$\text{H}_3\text{C}-\overset{3}{\underset{\text{NH}_2}{\underset{ }{\text{CH}}}}-\overset{1}{\text{COOH}}$	Аденин	
Лизин	$\text{H}_2\text{N}-\overset{6}{\text{CH}_2}-\overset{5}{\text{CH}_2}-\overset{4}{\text{CH}_2}-\overset{3}{\text{CH}_2}-\overset{2}{\underset{\text{NH}_2}{\underset{ }{\text{CH}}}}-\overset{1}{\text{COOH}}$	Гипоксантин	
Аспарагиновая кислота	$\text{HOOC}-\overset{4}{\text{CH}_2}-\overset{3}{\underset{\text{NH}_2}{\underset{ }{\text{CH}}}}-\overset{1}{\text{COOH}}$		

Вследствие комплексообразования происходят изменения химических сдвигов ядер ^{13}C молекул лигандов относительно свободных лигандов. Значения данных изменений химических сдвигов приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Изменения хим. сдвигов (м.д.) $^{13}\text{C}-\{^1\text{H}\}$ CH_n групп гипоксантина и аминокислот в составе разнوليгандных комплексов Pd(II) .

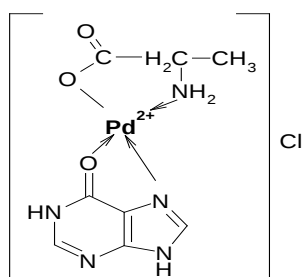
CH_n группы	$\text{Pd(Hyp)(Ala}^-\text{)Cl}$		$\text{Pd(Hyp)(Asp}^{2-}\text{)}$		$\text{Pd(Hyp)(Lys}^-\text{)Cl}$	
	Hyp	Ala	Hyp	Asp	Hyp	Lys
COOH/COO^-		-6,84		-3,70 -3,44		1,32
$\text{C(3)-H}_{3(2)}$		-2,88		Под сигналом ДМСО		-0,55
C(4)-H_2						-1,04
C(5)-H_2						-1,59
C(2)-H	1,77	-4,90	-0,07	1,85	0,22	-2,62
C(8)-H	2,84		-0,26		0,18	
C(4)	0,74		2,33		0,74	
C(5)	2,80		4,61		4,09	
C(6)	3,40		6,54		4,52	

Положение атома углерода в зависимости от номера см. табл. №2.

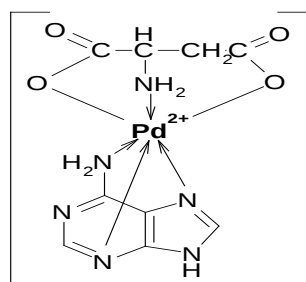
Во всех синтезированных комплексных соединениях аланин и лизин являются бидентатными лигандами, при этом азот ε -аминогруппы, вероятно, принимает участие в межмолекулярном взаимодействии. В спектре аспарагиновой кислоты смещение наблюдается у углеродов обеих карбоксильных групп и аминогруппы, следовательно, можно предположить трехдентатность аминокислоты.

В пуриновых основаниях изменения химических сдвигов наблюдаются практически у всех атомов углерода, но наибольшие – у C(5), C(6) и C(8), что позволяет предположить координацию с металлом по атому азота N(7) (а также, возможно, N(3)). При этом аминогруппа аденина и карбонильная группа гипоксантина, вероятно, принимают участие в координации с металлом. Координация, вероятно, привела к общему перераспределению электронной плотности в системе сопряженных связей оснований, поэтому они, предположительно, взаимодействуют с ионом металла всей молекулой.

На основании всех проведенных исследований было предложено следующее строение синтезированных соединений.



[Pd(Hyp)(Ala⁻)]Cl



[Pd(Ade)(Asp²⁻)]

Список литературы

1. Nebojša M.Milović, Laura-M. Dutcă, Nenad M.Kostić // Inorg.Chem. 2003. №42. P.4036-4045.
2. R.Ilavarasi, M.N.S. Rao & M.R. Udupa // Indian Journal of Chemistry. 1999. №38A. P.161-165.
3. Iakovidis A., Hadjiliadis N. // Coordination Chemistry Reviews. 1994. №135-136. P.17-63.
4. Тихомиров А.Г., Иванова Н.А., Ерофеева О.С., Горбачева Л.Б., Ефименко И.А. // Коорд. химия. 2003. Т.29. №7. С.525-529.
5. «Руководство по неорганическому синтезу» // под ред. Г. Брауэра в 6-ти томах. // М.: Мир. 1985. Т.5. С.1805-1828.
6. Буслаева Т.М., Симонова С.А. // Коорд. химия. 1999. Т. 25. №3. С.165-176.
7. «Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений». // Накамото К. // М.: Мир. 1966. 441с.
8. «Спектрохимия координационных соединений» // Зайцев Б.Е. // М.: Изд-во УДН. 1991. 274с.
9. «Рентгено-электронная спектроскопия химических соединений» // Нефедов В.И. // М.: Химия. 1984. 256с.
10. «Введение в курс спектроскопии ЯМР» // Гюнтер Х. // М.: Мир. 1984. 462с.

02.00.03

А.М. Юровский, А.В. Тарасов д.х.н., Ю.А. Москвичев д.х.н

Ярославский государственный технический университет,
химико-технологический факультет, кафедра химической технологии органических веществ,
Ярославль, amur@mail.ru

СИНТЕЗ СУЛЬФАМИДНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ИМИДАЗО[2,1-*b*]ТИАЗОЛА И ИМИДАЗО[2,1-*b*][1,3,4]ТИАДИАЗОЛА НА ОСНОВЕ 3-(БРОМАЦЕТИЛ)БЕНЗОЛСУЛЬФАМИДОВ

*В настоящей статье описывается общий метод синтеза новых 3-(имидазо[2,1-*b*]тиазол-6-ил)бензолсульфамидов и 3-(имидазо[2,1-*b*][1,3,4]тиадиазол-6-ил)бензолсульфамидов на основе реакции производных тиазола и тиадиазола с 3-(бромацетил)бензолсульфамидами различного строения.*

Ключевые слова: α -бромкетоны, имидазотиазол, имидазотиадиазол, сульфамиды.

Конденсированные имидазольные гетероциклы с мостиковым атомом азота представляют собой интересный класс гетероциклических соединений, проявляющих различные виды биологической активности. Имидазольный фрагмент имеется в составе гетероциклических соединений ряда имидазопиридина, которые в свою очередь являются основой нескольких лекарственных препаратов [1-3]. Другими интересными с точки зрения проявляемой биологической активности соединениями являются имидазотиазолы и имидазотиадиазолы. Некоторые представители такого рода соединений проявляют различные виды биологической активности и предложены в качестве противоопухолевых [4], противотуберкулезных [5], антибактериальных [6], противосудорожных [7], противогрибковых [8] и других агентов. Таким образом, конденсированные имидазольные гетероциклы с мостиковым атомом азота обладают широким спектром биологической активности. Существует целый ряд синтетических путей построения циклической системы имидазо[2,1-*b*]тиазола, имидазо[2,1-*b*]бензотиазола и имидазо[2,1-*b*][1,3,4]тиадиазола, наиболее распространённый подход включает в себя сочетание 2-аминотиазолов, 2-аминобензотиазолов и 2-амино-1,3,4-тиадиазолов с α -галогенкарбонильными соединениями.

Известно, что одним из принципов создания новых биологически активных веществ является введение известной фармакофорной группы в молекулу вновь создаваемого соединения [9].

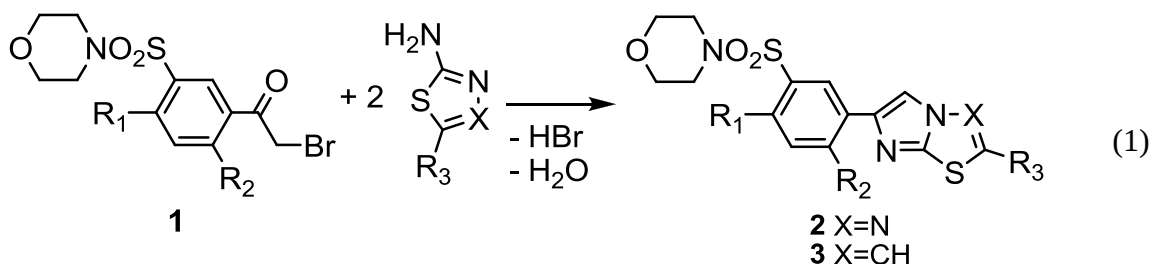
Кроме того, в строении некоторых веществ, являющихся основой лекарственных препаратов, можно обнаружить фрагмент 3-сульфобензойной кислоты [10].

Целью настоящего исследования стала разработка эффективного метода получения потенциально полезных соединений, в молекуле которых сочетаются две фармакофорные группы – гетероциклический фрагмент (имидазотиазол, имидазотиадиазол, имидазобензотиазол) и сульфамидный фрагмент, с использованием полученных нами ранее 3-(бромацетил)бензолсульфониламидов **1** [11].

Известные и часто применяемые в органической химии способы прямого введения сульфохлоридной группы в молекулу органического соединения часто не позволяют получить сульфосодержащие производные требуемого строения. Особенно эта проблема становится актуальной по мере усложнения конфигурации исходного соединения, поскольку увеличивается вероятность неселективного протекания реакции сульфохлорирования, что затрудняет получение желаемых индивидуальных продуктов в чистом виде. В таком случае возникает необходимость разработки косвенного метода селективного введения сульфогруппы в молекулу органического соединения с целью получения соединений

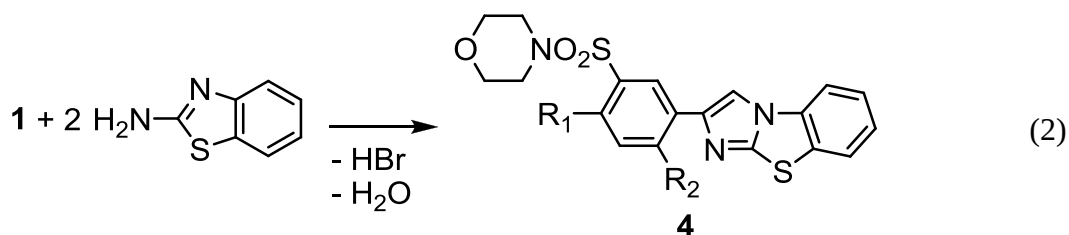
желаемого строения. Ранее нами был предложен способ получения замещенных 3-(бромацетил)бензолсульфонилхлоридов на основе реакции дихлорангидридов замещенных 3-сульфобензойных кислот с диазометаном [12]. 3-(Бромацетил)бензолсульфонилхлориды были в дальнейшем использованы нами для синтеза 3-(бромацетил)бензолсульфамидов **1** с последующим получением на их основе ряда сульфониламидных производных 2-фенилимидазопиридина (пиримидина) и 2-фенилиндолизина [11].

В данной работе соединения **1** послужили базой для создания целевых сложнофункциональных соединений **2-4**, сочетающих в одной молекуле гетероциклический фрагмент и сульфониламидную группу:



Реакцию соединений **1** с рядом 2-амино-1,3,4-тиадиазолов изучали в среде растворителей, в качестве которых выступали ацетонитрил и 1,4-диоксан. Мольное соотношение **1** : 2-амино-1,3,4-тиадиазол = 1 : 2. Реакцию проводили при кипении реакционной массы.

Реакцию соединения **1** с 2-аминотиазолом и 2-аминобензотиазолом изучали в тех же условиях.



Во всех случаях был зафиксирован высокий выход получаемых продуктов реакции вне зависимости от характера и положения заместителей в молекуле соединения **1** и структуры второго реагента.

Чистота и строение синтезированных соединений **2-4** была подтверждена методом ЯМР ^1H спектроскопии. В таблице представлены характеристики полученных целевых соединений **2-4**.

Таблица – Выход, температура плавления и данные ЯМР ^1H спектроскопии полученных целевых соединений 2-4.

Соед.	R ₁	R ₂	R ₃	Выход, %	T _{пл} , °C	Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д.)
1	2	3	4	5	6	7
2a	H	H	H	85	240-242	2.90 т, 3.65 т (8H _{морфолин}); 7.64 д (1H _{аром.}); 7.72 т (1H _{аром.}); 8.20 д (1H _{аром.}); 8.23 с (1H _{аром.}); 8.95 с (1H _{имидаз.}); 9.25 с (1H _{тиадиазол})
2б	Cl	H	H	73	246-248	3.10 т, 3.65 т (8H _{морфолин}); 7.68 д (1H _{аром.}); 8.10 д (1H _{аром.}); 8.46 с (1H _{аром.}); 8.81 с (1H _{имидаз.}); 9.21 с (1H _{тиадиазол})
2в	CH ₃	H	CH ₃	78	242-244	2.58 с (3H, CH ₃); 2.73 с (3H, CH ₃); 3.05 т, 3.65 т (8H _{морфолин}); 7.47 д (1H _{аром.}); 7.95 д (1H _{аром.}); 8.28 с (1H _{аром.}); 8.69 с (1H _{имидаз.})
2г	CH ₃	H	C ₂ H ₅	82	192-194	1.35 т (3H, CH ₃); 2.60 с (3H, CH ₃); 2.95-3.15 м (4H _{морфолин} ; 2H, CH ₂); 3.65 т (4H _{морфолин}); 7.47 д (1H _{аром.}); 7.89 д (1H _{аром.}); 8.28 с (1H _{аром.}); 8.70 с (1H _{имидаз.})
2д	H	Cl	SC ₂ H ₅	79	155-157	1.40 т (3H, CH ₃); 2.95 т, 3.65 т (8H _{морфолин}); 2.90 м (2H, CH ₂); 7.62 д (1H _{аром.}); 8.48 с (1H _{аром.}); 8.82 с (1H _{имидаз.})
3a	H	Cl	H	80	234-236	2.95 т, 3.65 т (8H _{морфолин}); 7.30 д (1H _{тиазол}); 7.59 д (1H _{аром.}); 7.76 д (1H _{аром.}); 7.94 д (1H _{тиазол}); 8.50 с (1H _{аром.}); 8.56 с (1H _{имидаз.})

Продолжение таблицы.

1	2	3	4	5	6	7
3б	H	H	H	87	188-190	2.90 т, 3.65 т (8H _{морфолин}); 7.32 д (1H _{тиазол}); 7.61 д, 7.98 д (2H _{аром.}); 7.70 т (1H _{аром.}); 8.15 д (1H _{тиазол}); 8.18 с (1H _{аром.}); 8.45 с (1H _{имидаз.})
4a	H	H	—	83	212-213	2.93 т, 3.65 т (8H _{морфолин}); 7.45-7.58 м (2H _{аром.}); 7.64-7.75 м (2H _{аром.}); 8.00-8.06 м (2H _{аром.}); 8.22 д (2H _{аром.}); 9.03 с (1H _{имидаз.})
4б	CH ₃	H	—	81	209-211	2.60 с (3H, CH ₃); 3.08 т, 3.65 т (8H _{морфолин}); 7.37-7.58 м (3H _{аром.}); 7.93-8.04 м (3H _{аром.}); 8.27 с (1H _{аром.}); 8.86 с (1H _{имидаз.})

Таким образом, нами был разработан и реализован способ получения сложнофункциональных соединений 2-4, сочетающих в одной молекуле гетероциклический фрагмент (2-фенилимидазо[2,1-*b*]тиазол, 2-фенилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]тиадиазол, 2-фенилимидазо[2,1-*b*]бензотиазол) и сульфамидную группу. Показано, что 3-(бромацетил)бензолсульфамиды **1** могут служить удобным билдинг-блоком для создания широкого круга новых соединений.

Экспериментальная часть

Спектры ^1H ЯМР записаны на приборе «Bruker DRX 500» с рабочей частотой 500.13 МГц в растворителе DMSO-d_6 , внутренний стандарт ТМС.

Общая методика получения соединений 2-4. В одnogорлую колбу, оснащенную обратным холодильником, помещали 10 ммоль 2-аминотиазола (2-аминобензотиазола) либо 2-амино-1,3,4-тиадиазола (2-амино-5-метил-1,3,4-тиадиазола, 2-амино-5-этил-1,3,4-тиадиазола, 2-амино-5-тиоэтил-1,3,4-тиадиазола) и 5 ммоль соответствующего соединения **1**, растворяли в 10 мл 1,4-диоксана. Реакционную массу выдерживали при кипении в течение 2 – 3 часов, после чего охлаждали до комнатной температуры. Реакционную массу разбавляли водой, выпавший продукт отфильтровывали и перекристаллизовали из смеси растворителей 1,4-диоксан : ДМФА = 4 : 1. Перекристаллизованный продукт отфильтровывали, промывали этанолом (10 мл), водой (30 мл), затем высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы.

Список литературы

1. Kazzouli S. El et al. // Tetrahedron Lett. 2003, 44, 6265-6267.
2. Sittig M. Pharmaceutical manufacturing encyclopedia / M. Sittig. – Westwood, USA, 1988. – P. 1756.
3. Enguehard C. et al. // J. Org. Chem. 2003, 68, 5614-5617.
4. Terzioglu N., Gursoy A. // Eur. J. Med. Chem. 2003, 38, 781-786.
5. Kolavi G. et al. // Bioorg. Med. Chem. 2006, 14, 3069-3080.
6. Gadad A. K. et al. // Eur. J. Med. Chem. 2000, 35, 853-857.
7. Khazi I. A. M. et al. // Drug. Res. 1996, 46, 949-952.
8. Andotra C. S. et al. // J. Indian Chem. Soc. 1997, 74 (2), 125-127.
9. Солдатенков А.Т. Основы органической химии лекарственных веществ / А.Т. Солдатенков, Н.М. Колядина, И.В. Шендрик. – М. : Мир, 3-е изд, 2007. – 191 с.
10. Машковский М.Д. Лекарственные средства: пособие для врачей. М.: Новая волна, 2005. – 1200 с.
11. Юровский А.М., Москвичев Ю.А., Тарасов А.В. // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. – С. 35-39.
12. Юровский А.М. // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 6. – С. 80-85.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.13.01

В.В. Андреев д.т.н., М.В. Турченко, А.А. Абрамов

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева,
Институт ядерной энергетики и технической физики,
кафедра “Ядерные реакторы и энергетические установки”,
Нижний Новгород, vyach.andreev@mail.ru

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
С ЦЕЛЮ ОБОБЩЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ
О ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В ТРУБАХ**

В работе рассмотрена процедура преобразования экспериментальной информации о течении жидкости в каналах, выполняемая с целью получения обобщенных зависимостей для гидравлических характеристик технических систем широкого спектра. Рассмотрены причины, по которым происходит смещение критического числа Рейнольдса на гидравлических характеристиках, а также сложности, возникающие при попытках построения обобщенных зависимостей подобного рода. Представлены оценочные параметры полученной обобщенной зависимости приведенных гидравлических характеристик. Данные результаты получены на основе обработки ограниченного объема экспериментальных данных и данных, опубликованных в литературе.

Ключевые слова: естественная циркуляция, теплоноситель, гидравлическое сопротивление, число Рейнольдса, ламинарное течение, турбулентное течение.

Процессы, происходящие при движении рабочего тела в каналах различного рода, имеют очень важное значение в разных областях техники и представляют большой практический и теоретический интерес.

Развитие энергетики, повышение уровня безопасности (самозащищенности) энергетических установок предполагает все более широкое использование систем, основанных на естественной циркуляции рабочего тела в каналах. Указанный режим работы интересен и как штатный режим функционирования установки, и как способ обеспечения расхолаживания в случае отказа циркуляционного оборудования.

Дальнейшее развитие энергетики требует повышения эффективности энергетических установок. Одним из способов повышения является увеличение рабочих температур процессов преобразования и передачи энергии. Одним из альтернативных видов теплоносителя, позволяющего реализовать ранее указанные функции, являются жидкометаллические теплоносители, а также их бинарные и многокомпонентные системы [1].

Теплоносители этого класса обладают комплексом уникальных тепло-, электро- и ядерно-физических свойств: высокой теплопроводностью, относительно большой теплоемкостью и малой вязкостью, высокой теплотой парообразования и достаточно малой плотностью, хорошими капиллярными и сорбционными свойствами.

Расширение спектра используемых теплоносителей приводит к необходимости накопления все большей экспериментальной базы, к проведению дорогостоящих экспериментов, а также необходимости обработки и обобщения их результатов. В данной работе предлагается альтернативная модель, которая поможет сократить затраты времени и средств при решении указанных задач.

Потеря напора при перекачивании теплоносителя по трубопроводной системе связана с преодолением сил трения. Принято рассматривать различные силы трения - возникающие между соседними слоями жидкости, между стенками трубопровода и пограничным слоем жидкости. Потери напора необходимо учитывать при расчёте различных гидравлических систем для обеспечения заданных параметров. Определение коэффициента гидравлического трения и является, как правило, основной задачей при гидравлическом расчете системы.

Для установившегося ламинарного режима течения коэффициент гидравлического сопротивления определяется по уравнению Пуазейля и зависит только от числа Рейнольдса. Область применимости этого уравнения определяется критическим значением числа Рейнольдса. При превышении критического числа Рейнольдса возникает турбулентное течение, предыдущая зависимость перестает выполняться, появляется необходимость в различных способах учета данного отклонения – требуются другие эмпирические зависимости. В качестве такой зависимости можно рассмотреть, например, уравнение Блазиуса.

Режим течения жидкости зависит от:

- скорости движения жидкости V ;
- плотности жидкости ρ и динамической вязкости μ (кинематическая вязкость $\nu = \mu/\rho$);
- температуры жидкости $t, ^\circ\text{C}$ (от температуры зависит значение кинематической вязкости ν);
- линейных размеров (площади поперечного сечения потока S).

Помимо выше перечисленных факторов, переход от ламинарного течения жидкости к турбулентному зависит также от шероховатости стенок трубы, местного сопротивления, а также возмущений, вносимых в поток со стороны окружающей среды [2].

Режим движения жидкости влияет на степень гидравлического сопротивления.

На сегодняшний момент для расчета тепло-гидравлических характеристик канала используются следующие способы:

- проведение натурного эксперимента по моделированию исследуемого процесса;
- проведение численного эксперимента методом конечных элементов (МКЭ);
- проведение серий аналитических исследований на базе существующих эмпирических или полуэмпирических зависимостей.

Указанные способы обладают своими недостатками, в первом случае, это дороговизна, трудоемкость и необходимость большого резерва времени. Второй и третий способ объединяет недостаток в точности получаемых результатов, во втором случае на точность расчета влияют правильность задания граничных условий, шаг расчета, а в третьем случае распространение эмпирических зависимостей на всевозможные режимы течения.

Движущаяся жидкость всегда испытывает возмущения, которые проникают в поток извне и препятствуют формированию упорядоченных форм течения. Источником такого рода возмущений могут быть как твердые стенки, так и случайные флуктуации потока на входе в систему. Реакция жидкости на эти случайные возмущения является вполне закономерной и обусловлена механизмом процесса. При этом силы внутреннего трения и инерции оказывают на поток противоположное воздействие. Силы трения стремятся упорядочить движение жидкости и подавить любые возмущения, отклоняющие поток от его русла, а силы инерции, наоборот, усиливают влияние возмущений.

В зависимости от того, какое из этих двух воздействий будет доминирующим, течение жидкости может реализовываться в двух различных формах – ламинарной и турбулентной. Первая из них характеризуется упорядоченностью течения, которое полностью определяется конфигурацией стенок, причем движение жидкости в целом и перемещение ее любых сколь угодно малых элементов находится в полном соответствии друг с другом. В противоположность этому для турбулентного потока характерна высокая степень неупорядоченности.

Необходимо отметить, согласно [4], что численная величина критерия Рейнольдса не пропорциональна отношению сил инерции и трения. Значение критерия Рейнольдса следует

рассматривать лишь как некоторую условную меру, означающую только, что его большим значениям соответствуют большие отношения этих сил, а меньшим – меньшие.

Рассматривая опубликованные в литературе зависимости коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса для разных видов теплоносителя, а также различной геометрии канала можно видеть, что указанные зависимости в общем случае обладают определенным сходством.

В работе предлагается процедура предобработки экспериментальных результатов по определению гидравлических характеристик исследуемых систем. Данная процедура заключается в последовательном выполнении следующих операций. Сначала полученную экспериментально зависимость сопротивления от числа Рейнольдса заменяют двумя прямыми, представляя результаты экспериментов в логарифмической системе координат. Правому (турбулентному) режиму течения жидкости будет соответствовать практически горизонтальный участок, а левому (ламинарному) режиму течения будет соответствовать круто наклоненный к оси чисел Рейнольдса участок кривой. Эти участки пересекаются в области, соответствующей критическому числу Рейнольдса. Условно продолжив левый круто наклоненный участок кривой до пересечения с осями координат получим два значения – условный коэффициент гидравлического сопротивления и условное значение числа Рейнольдса. Нормируя на эти значения координаты точки перелома, получим две координаты – приведенный коэффициент сопротивления и приведенное значение числа Рейнольдса. В приведенной системе координат эти два числа дают точку, которую можно считать, в некотором смысле, образом исходной экспериментальной кривой. Проводя аналогичные преобразования для других экспериментальных и расчетных зависимостей коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса и представляя их в той же приведенной системе координат, получим прямолинейную зависимость приведенного гидравлического сопротивления от приведенного числа Рейнольдса.

Совместное рассмотрение полученных результатов с результатами экспериментального определения зависимости сопротивления от чисел Рейнольдса из [3], а также результатами испытаний металлических теплоносителей [1] и сохранение высокого значения коэффициента корреляции в случае совместного рассмотрения всех этих данных (0,9447), позволяют сделать вывод о высокой степени универсальности методики.

Обозначив приведенное сопротивление как A , а приведенное число Рейнольдса как B можно записать уравнение, описывающее связь между указанными характеристиками следующим образом:

$$A=3,398-2,415B.$$

Список литературы

1. Быстров П.И., Каган Д.И., Кречетова Г.А., Шильрайн Э.Э. Жидкометаллические теплоносители тепловых труб и энергетических установок. М.: Наука, 1988г., 263с.
2. Никулин В.А. Гидрогазодинамика течений с тепломассообменом. Ижевск. 1988г.
3. Ртищева А. С. Теоретические основы гидравлики и теплотехники. – Ульяновск. 2007г, УлГТУ, 2007. – 171 с.
4. Гухман А.А., Зайцев А.А. Обобщенный анализ. М.: Факториал, 1998г., 304с.

05.13.06

В.Ф. Беккер к.т.н., М.Г. Гребенева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Березниковский филиал, кафедра автоматизации технологических процессов,
г. Березники, bekker@bf.pstu.ac.ru

АНКЕТИРОВАНИЕ СОТРУДНИКОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Рассматривается человеческий фактор как управляющее воздействие в управлении качеством продукции крупного химического предприятия. Показаны этапы формирования информационной основы такого управления – планирование, методика проведения, получение и анализ результатов анкетирования работников, а также способы получения управляющих воздействий, последовательно и непрерывно реализуемых персоналом в системе менеджмента качества

Ключевые слова: *качество продукции, управление качеством, анкетирование, управляющие воздействия, демотиваторы.*

Целью любого промышленного предприятия является повышение качества продукции, сокращение издержек производства и, в конечном счете, достижение высокой эффективности производственной деятельности [1]. Как было показано в работах [2, 3] управление технологическими составляющими качества продукции может быть эффективно организовано, например, с применением карт Шухарта или построением диаграммы Парето. Однако при этом остается открытым вопрос участия сотрудников предприятия в управлении качеством продукции. Для установления управляющих воздействий, корректирующих участие человеческого фактора в повышении качества продукции, было проведено анкетирование работников крупного химического предприятия. С целью выявления степени их удовлетворенности в сентябре 2011 г. было опрошено 218 человек. Это составляет около 11 % от численности сотрудников, работающих на предприятии на момент проведения анкетирования. Респонденты представляли все категории работников: директора, руководители служб и отделов, ведущие специалисты и инженеры, рабочие. Погрешность опроса составила 7 %.

В ходе анкетирования вопросы были разделены на четыре блока.

1. *Отношение к предприятию в целом, оценка происходящих на нем изменений.*

Большинство опрошенных (69%) респондентов отметили, что за прошедший год на предприятии произошли положительные изменения. Структурный состав этой категории сотрудников иллюстрируется диаграммой, представленной на рис. 1.



Рис. 1. Структурный состав сотрудников, удовлетворенных содержанием работы

Участниками опроса отмечены положительные изменения в увеличении объемов производства (26% ответов), уровне оплаты труда (20%) и увеличении объемов финансирования, направляемых на поддержание инфраструктуры и модернизацию производства (18%).

Для 52%, работа на предприятии не дает уверенности в завтрашнем дне. При ответах четко прослеживается (см. диаграмму, представленную на рис. 2.) их зависимость от статуса – чем ниже должность, тем ниже оценка предприятия в глазах работника.

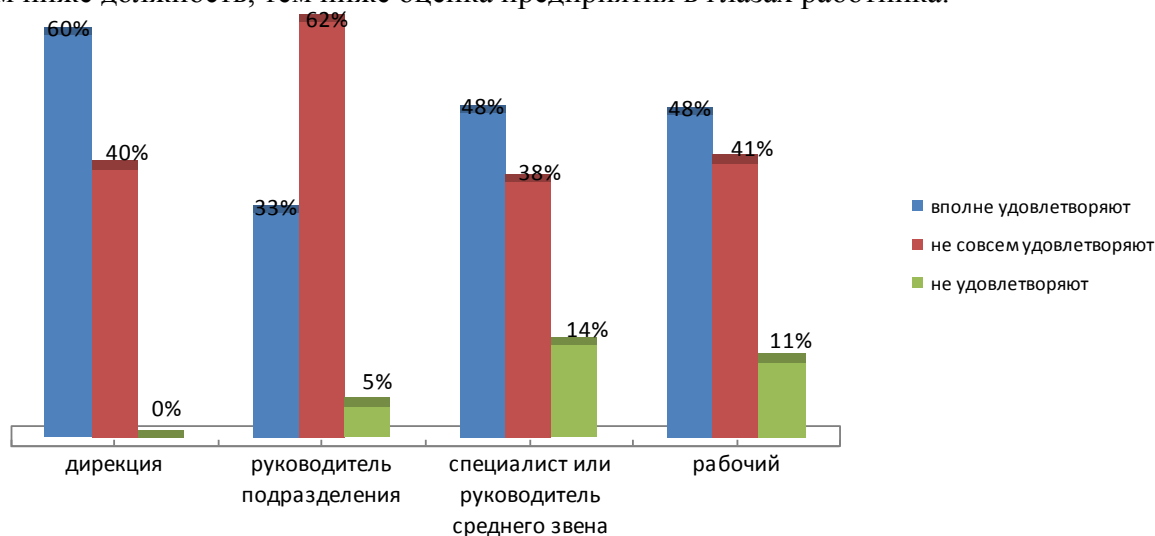


Рис. 2. Распределение сотрудников предприятия по отношению к выполняемой работе

В качестве негативных изменений, произошедших на предприятии за последний период, отмечены: увеличение объемов выполняемых работ – 23% с преобладанием такого ответа у руководителей среднего звена; сокращение социального пакета – 14%; отсутствие информации о ситуации на предприятии, планах и перспективах развития – (13%). Последние два факта отмечены всеми категориями работников, кроме директоров: низкий уровень оплаты труда (13%). Этот вариант ответа преобладал у рабочих. Руководители подразделений в подавляющем большинстве отмечают негативные изменения в атмосфере внутри коллектива.

2. Психологический климат внутри предприятия.

Более половины опрошенных респондентов (55%) ответили, что обстановка и взаимоотношения в коллективе располагают к плодотворному сотрудничеству. В данном случае директоров и руководителей подразделений не удовлетворяют взаимоотношения в коллективе в большей степени, чем рабочих и руководителей среднего звена. Чаще всего

причинами конфликтов с руководителями назывались: необоснованное изменение обязанностей – 20% ответов с преобладанием руководителей подразделений, руководителей среднего звена и специалистов; неудовлетворительное обеспечение необходимыми ресурсами – 19%; невнимательное отношение к нуждам сотрудников – 18%. Последний вариант ответа выбрали в основном рабочие. Руководители подразделений считают причиной конфликтов со своим руководством «стиль управления и грубость с подчиненными». Среди всех категорий респондентов отмечается невысокий показатель удовлетворенности взаимодействием между подразделениями.

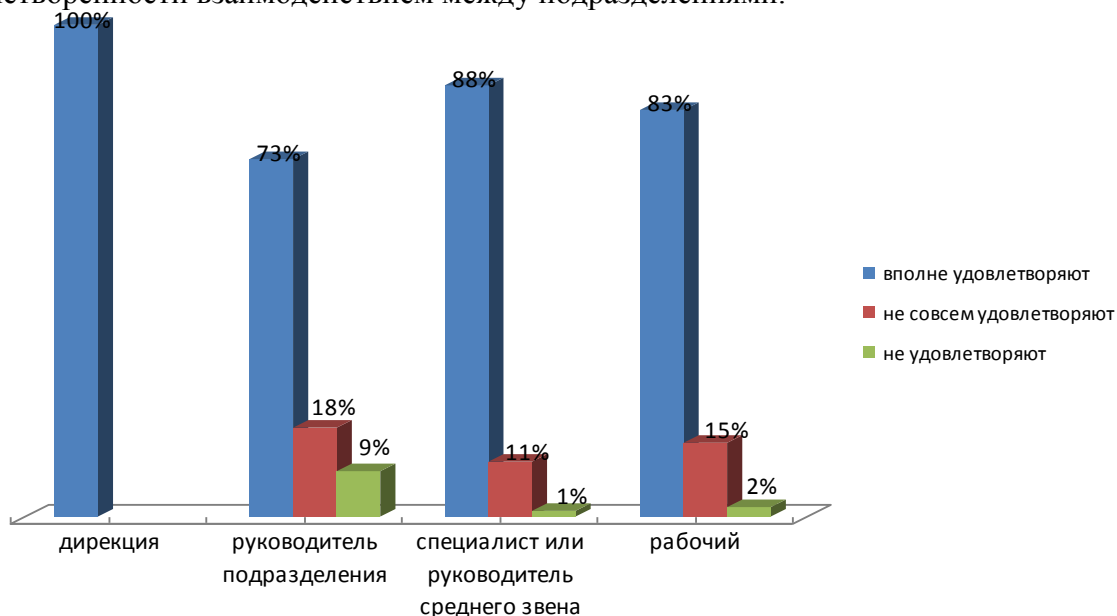


Рис. 3. Отношение к распределению прав и обязанностей

Полностью удовлетворены этим аспектом 12% опрошенных (см. рис. 4). Системой морального стимулирования довольны 8 % респондентов.

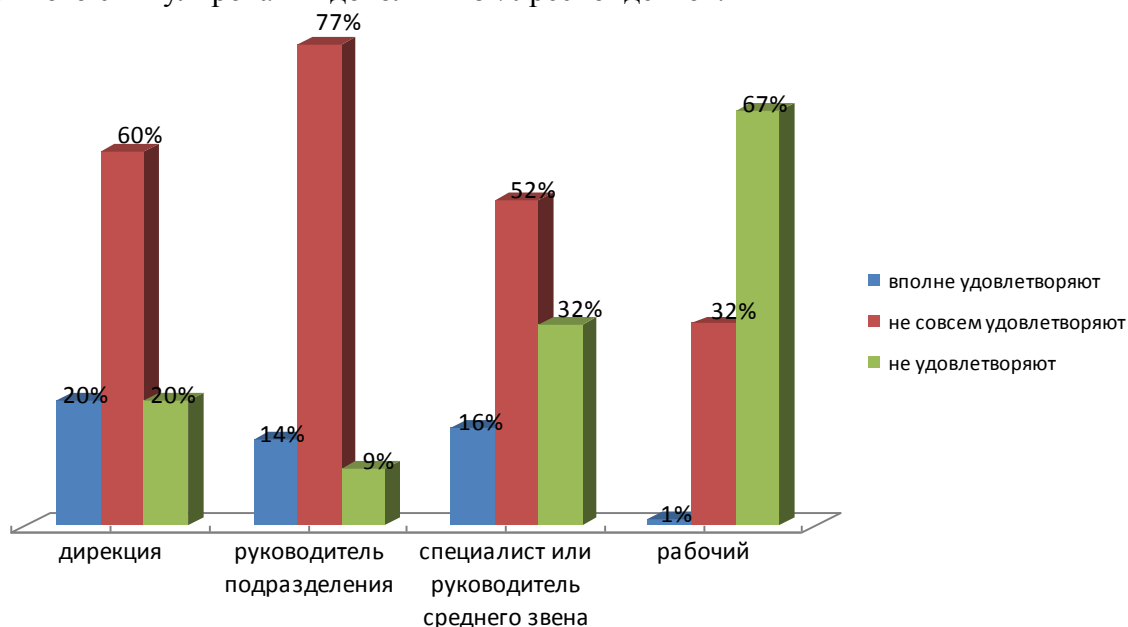


Рис. 4. Оценка взаимодействия между подразделениями

Резервы для повышения эффективности труда (значительные и незначительные) видят 86 % опрошенных и все категории респондентов разделяют эту точку зрения примерно одинаково. 89% участников опроса видят резервы повышения эффективности труда в изменении системы управления персоналом: в организации труда, в проявлении инициативы и в стиле управления. Зависимость оплаты своего труда от проявленной инициативы

ощущают 7% работников. Многие считают, что инициатива зависит от заданных объемов работ и уровня квалификации исполнителей.

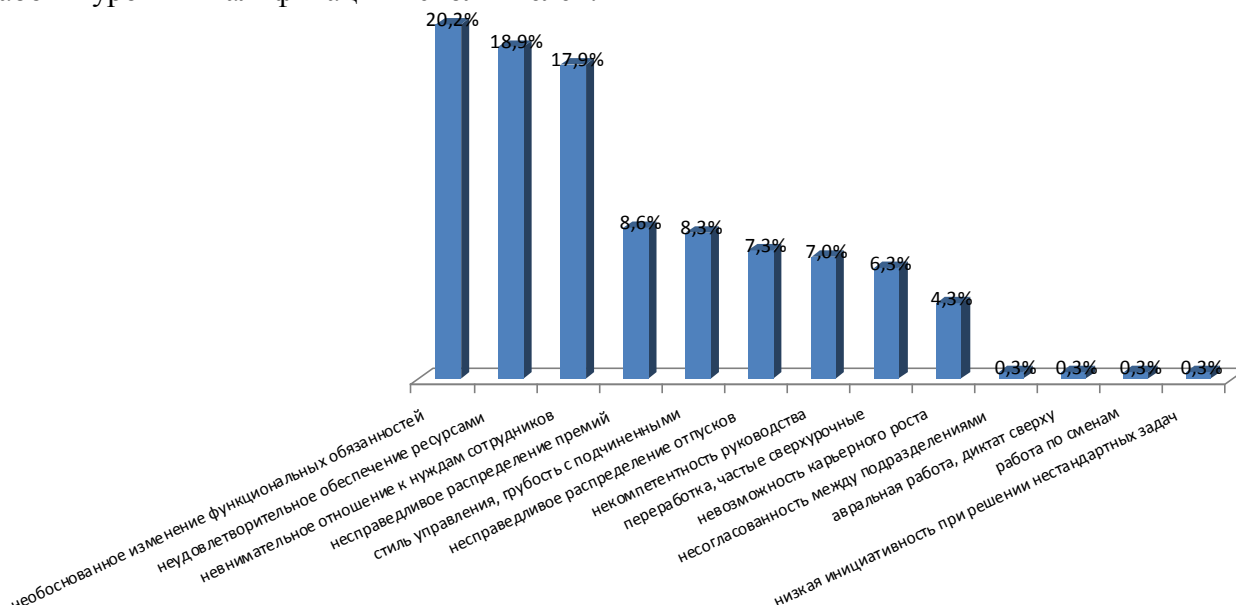


Рис. 5. Причины снижения эффективности труда

Работа нравится 90% участников опроса. Однако 79% из них не устраивает уровень оплаты труда. Больше недовольство этот аспект вызывает у рабочих – 67 % не удовлетворяет уровень оплаты их труда.

Санитарно-гигиеническими условиями работы, уровнем технической оснащенности и социальной защищенности довольны 40, 21 и 29% соответственно опрошенных групп работников. Здесь также видна четкая зависимость от статуса работника – чем ниже занимаемая должность, тем ниже их удовлетворенность этими аспектами.

Большая часть (82%) респондентов ответили, что не планируют в ближайшее время уходить с предприятия. В качестве основных причин, по которым участники анкетирования могли бы сменить место работы, чаще всего отмечались более высокая зарплата на новом месте (33% ответов), хорошие условия и организация труда на новом месте (20%), лучшее социальное обеспечение (13%). От 34 до 36 % респондентов видят возможность своего карьерного роста на предприятии.

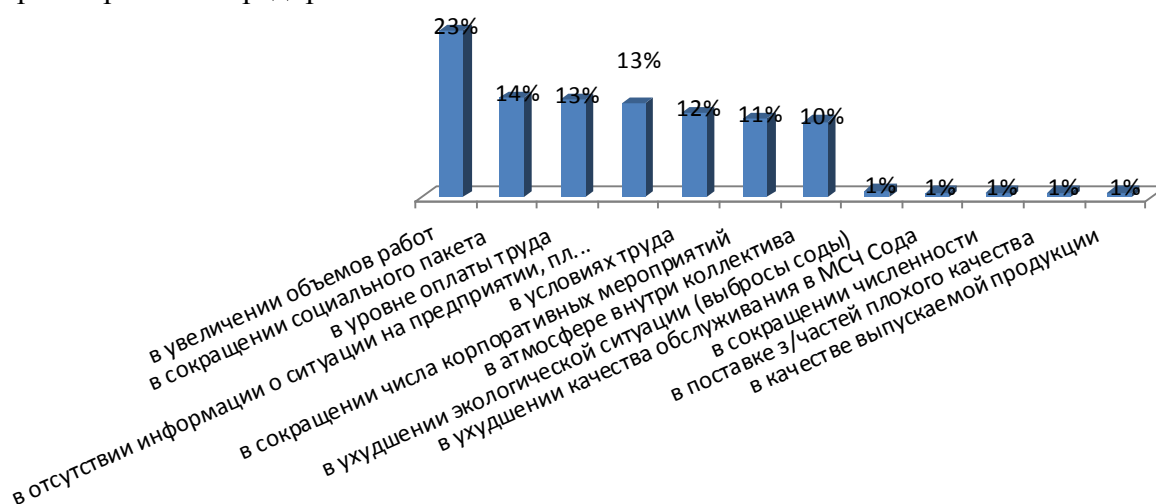


Рис. 6. Причины неудовлетворенности работой сотрудники видят

3. Потребность сотрудников в обучении, социальная защищенность по сравнению с другими предприятиями.

Большинство опрошенных (более 83 %) хотели бы повысить свою квалификацию, причем без отрыва от производственной деятельности (73% респондентов). Зависимость оплаты труда от уровня квалификации ощущают лишь 28 % опрошенных. В общем случае, стремление к совершенствованию у большинства работающих не связано с материальным удовлетворением от результатов своей деятельности. Такие сотрудники могут перейти к другому работодателю при предложении им более выгодных условий. Косвенно это подтверждает факт, что 33% опрошенных готовы сменить работу при предложении им более высокой оплаты труда.

Коллективный договор регулирует наиболее острые вопросы взаимоотношений работников и администрации – сообщили 32 % респондентов. Не видят участия профсоюза предприятия в регулировании трудовых отношений 30 % работников. Это мнение достаточно единодушно выразили все категории. Свою социальную защищенность половина (53%) респондентов оценивают на среднем уровне по сравнению с другими предприятиями города.

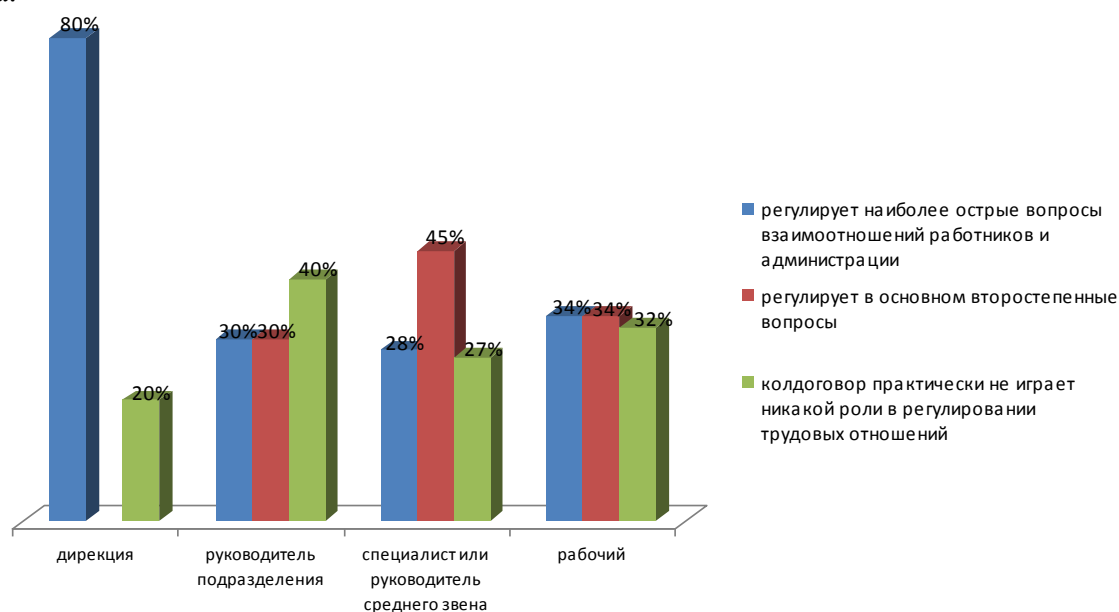


Рис. 7. Оценка роли коллективного договора

Общий анализ результатов анкетирования показывает, что основными демотиваторами всех категорий персонала предприятия являются недостаточный уровень оплаты труда и проблемы во взаимодействии между подразделениями.

Среди работников среднего звена и рабочих неудовлетворенность вызывают: техническая оснащённость – 81%; социальная защищенность – 76%; недостаточное внимание профессиональному росту сотрудников – 67%; слабая информированность о ситуации на предприятии и планах развития – 14%.

У рабочих, доля которых от общего числа работников составляла на момент анкетирования 77%, наблюдаются невысокие показатели удовлетворенности. Руководители подразделений не удовлетворены взаимоотношениями с руководством предприятия и существующей системой морального стимулирования.

Результаты проведенного анкетирования являются основой для уточненных опросов в целях поиска оптимальных решений для различных категорий работников или подразделений и дали старт целому ряду программ: адаптация новых работников; сюрприз-менеджмент; «война за таланты»; командообразование; система развития, обучения и карьерного роста; оптимизация мотивации и другие.

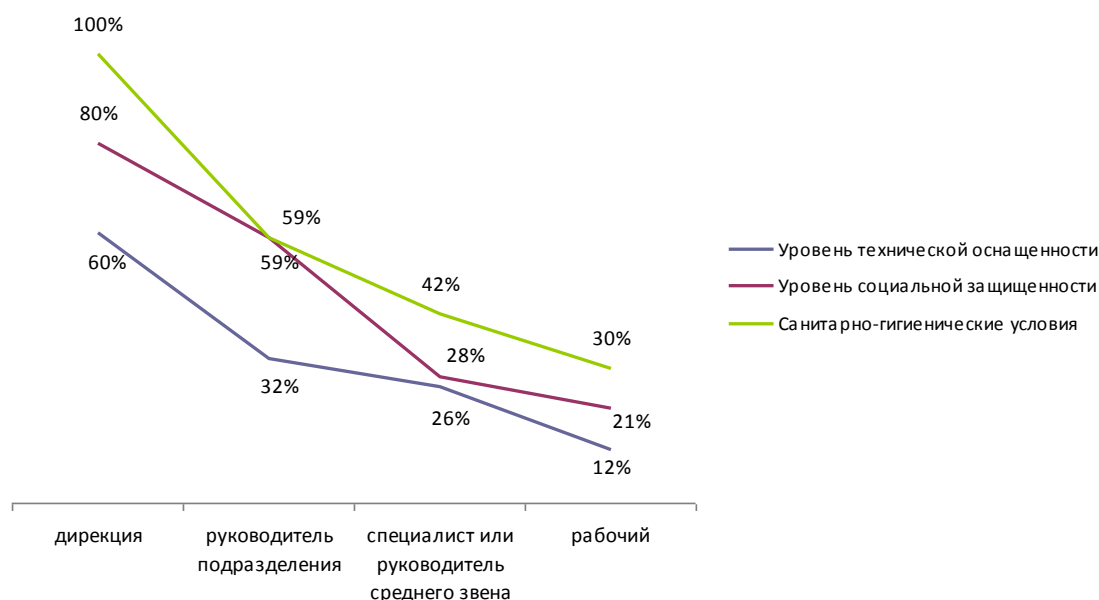


Рис. 8. Оценка состояния действующего производства

Важной особенностью анкетирования является его гибкий характер. Анкетирование позволяет отследить в динамике удовлетворенность персонала по различным показателям. Следовательно, точно определяется эффективность применяемых инструментов и технологий принятия решений в управлении персоналом на разных направлениях. Например, опрос нынешнего года показал, что с началом реализации программы «война за таланты» значительно повысился процент сотрудников, довольных своим развитием.

Практика показала, что возможности использования анкетирования существенно шире. С приобретением опыта обработки результатов анкетирования и анализа этих результатов появилась возможность отслеживать динамику изменения тех или иных показателей по мере вовлечения в проведение опросов других компаний холдинга. С накоплением информации в базе данных выявлена практически прямая зависимость между данными опроса сотрудников и состоянием бизнеса в портфельном активе. В бизнес-направлениях, где наблюдается развитие и улучшение финансово-экономических показателей, результаты опроса на 20-50% лучше, чем в бизнесах стабильных, но «застывших».

В результате проведенного исследования авторы пришли к следующим выводам:

1. Необходимо наладить обратную связь, обеспечивающую сотрудников информацией о результативности и качестве труда.
2. В соответствии с доктриной тотального управления качеством главной целью является изменение культуры на предприятии до состояния, когда каждый работник заботится не просто о выполнении запросов потребителя, а о том, как можно превзойти ожидания потребителя. Такой подход предполагает взаимодействие поставщиков с потребителями.
3. Следует создать благоприятные условия мотивации, чтобы работники были заинтересованы в решении стоящих проблем повышения качества.
4. Руководители подразделений должны создать такой микроклимат, при котором весь персонал – от высшего руководства до рядового сотрудника – должен быть вовлечен в деятельность по управлению качеством.
5. Персонал представляет собой главный ресурс предприятия. Необходимо создать все условия для максимального использования его творческого потенциала.

Принцип вовлеченности проявляется в таких действиях:

- принятие на себя ответственности за решение проблем,
- активный поиск возможностей повышения профессионализма,
- добровольная передача знаний и умений в коллективах,

- рационализаторство и творчество,
- энтузиазм и гордость работников от сознания того, что они являются частью предприятия.

При полной вовлеченности сотрудников достигается мощный эффект, при котором совокупный результат коллективной работы существенно превосходит сумму результатов отдельных исполнителей. При этом весь персонал – от высшего руководства до рядового сотрудника – должен быть вовлечен в деятельность по управлению качеством.

Список литературы

1. Беккер В.Ф., Гребенева М.Г. Управление качеством продукции обжига известняка построением диаграммы Парето. Научно-технический вестник Поволжья – №4, 2011. – С. 97-101.
2. Беккер В.Ф., Гребенева М.Г. Управление качеством продукции обжига известняка с применением карт Шухарта. Научно-технический вестник Поволжья – №5, 2011. – С. 68-73.
3. Беккер В.Ф. Управление технологическими процессами как подсистема управления качеством продукции. «Проблемы теории и практики управления». – №10, 2010. – С. 78-84.

05.13.12

И.А. Бируля

ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН»,
г. Железнодорожный, igo2007@inbox.ru

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ СТАНКОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ

В статье рассмотрены теплофизические факторы обеспечения заданной точности станков с параллельной кинематикой. Показано, что теплофизические факторы становятся особенно значимыми для высокоточных станков. В то же время должен быть обеспечен определенный баланс факторов точности, надежности и эффективности.

Ключевые слова: *Теплофизические факторы; станки с параллельной кинематикой; точность.*

Цель настоящей работы – анализ существующих подходов в задаче исследования теплофизических факторов обеспечения заданной точности станков с параллельной кинематикой.

В настоящее время в отрасли высокотехнологичных станков доминируют следующие основные тенденции:

- повышение показателей качества, эффективности и надежности;
- привлечение комплексной методологии решения задач на основе использования методов информационных и интеллектуальных систем, кибернетических подходов и традиционных решений.

Система показателей точности обрабатываемых изделий наряду с характеристиками надежности и эффективности относится к приоритетным характеристикам станков. Так, для металлорежущих станков достижимая точность обработки находится в диапазоне 1-5 мкм, а в перспективе 10-15 лет может быть достигнут качественно иной уровень 0,1-1 мкм, что предполагает целый ряд концептуальных решений в области проектирования и производства станков, а также систем управления [1].

Создание станков с параллельной кинематикой является перспективной альтернативой традиционному оборудованию благодаря следующим достоинствам:

- меньшие массы и повышенная жесткость, что связано с применением пространственных стержневых систем;
- параллельная передача энергии от ведущего звена к ведомому несколькими кинематическими цепями и механизмами;
- обеспечивают поток движений и сил исполнительного органа станка путем рационального распределения перемещений и нагрузок между несколькими кинематическими цепями;
- повышенная жесткость за счет использования замкнутых кинематических цепей;
- построены на основе бесконсольных конструкций.

Вопросам теплофизического фактора точности высокотехнологичных станков посвящено большое число работ, из числа которых можно выделить исследования [1-4].

Целью работы [2] было повышение точности позиционирования станков с параллельной кинематикой за счет выявления источников тепловыделения, определения характера нагрева деталей механизмов, а также оценки величины температурных деформаций станков.

Одним из актуальных направлений развития механизмов с параллельной кинематикой, расширения и углубления областей их применения является обеспечение показателей точности станков. Точность позиционирования таких механизмов зависит от ряда параметров - механических настроек станка, программного обеспечения и температурного

фактора. Изменение теплофизического режима станка влечет за собой пространственные изменения положения узлов и деталей станков, искажая тем самым первоначальную настройку станка. Теплофизические деформации носят нестационарный характер и могут изменяться как по величине, так и по направлению, что приводит к постоянному воздействию на формирование показателей качества обрабатываемых поверхностей. К основным направлениям исследования теплового состояния станков относятся:

- выявление основных источников теплогенерации;
- анализ возможных путей распространения тепловых потоков с учетом характеристик теплопроводности и теплоемкости узлов и деталей станка;
- исследование и расчеты температурных полей и температурных деформаций в станках;
- разработка методов снижения тепловыделения в узлах станка, снижения температурных деформаций;
- исследования влияния температурных деформаций на выходные характеристики станка.

В [3] рассмотрены алгоритмы расчета температурных деформаций станков-гексаподов. Достоинство гексаподов в том, что основные их звенья – линейные штанги, которые работают только на «растяжение-сжатие», но изменение теплового режима станка влечет за собой пространственные изменения положения узлов и деталей станков, нарушая тем самым первоначальную настройку станка.

Расчет ошибки позиционирования проводился по схеме (см. рис.).

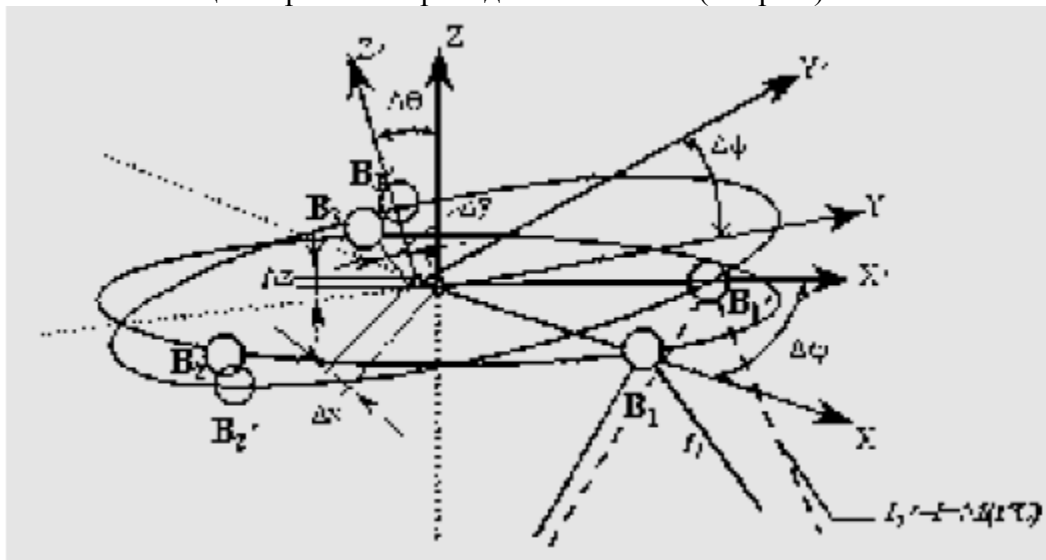


Рисунок. Формирование ошибки позиционирования

С учетом того, что деформация даже одной штанги приводит к изменению положения платформы по шести координатам:

$$\Delta_{pi} = \Delta x_i + \Delta y_i + \Delta z_i + \Delta \varphi_i + \Delta \theta_i + \Delta \psi_i,$$

где первые три составляющие описывают линейные изменения координат, а три последние – угловые.

Для линейных составляющих:

$$\Delta x_i = x' - x = x(l_i + \Delta l_i) - x(l_i);$$

$$\Delta y_i = y' - y = y(l_i + \Delta l_i) - y(l_i);$$

$$\Delta z_i = z' - z = z(l_i + \Delta l_i) - z(l_i);$$

где $x(l_i), y(l_i), z(l_i)$ – идеальные координаты центра платформы; а $x(l_i + \Delta l_i), y(l_i + \Delta l_i), z(l_i + \Delta l_i)$ – действительные координаты, зависящие от времени и температуры.

Для угловых смещений платформы:

$$\cos \varphi = \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}; \cos \theta = \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}; \cos \psi = \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$$

В итоге для системы уравнений для зависимости положения платформы от линейной деформации направляющих штанг:

$$\begin{cases} l_1^2 = (x'_{B1} - x_{A1})^2 + (y'_{B1} - y_{A1})^2 + (z'_{B1} - z_{A1})^2 \\ l_2^2 = (x'_{B1} - x_{A2})^2 + (y'_{B1} - y_{A2})^2 + (z'_{B1} - z_{A2})^2 \\ l_3^2 = (x'_{B2} - x_{A2})^2 + (y'_{B2} - y_{A2})^2 + (z'_{B2} - z_{A2})^2 \\ l_4^2 = (x'_{B2} - x_{A3})^2 + (y'_{B2} - y_{A3})^2 + (z'_{B2} - z_{A3})^2 \\ l_5^2 = (x'_{B3} - x_{A3})^2 + (y'_{B3} - y_{A3})^2 + (z'_{B3} - z_{A3})^2 \\ l_6^2 = (x'_{B3} - x_{A1})^2 + (y'_{B3} - y_{A1})^2 + (z'_{B3} - z_{A1})^2 \\ l_7^2 = (x'_{B2} - x'_{B1})^2 + (y'_{B2} - y'_{B1})^2 + (z'_{B2} - z'_{B1})^2 \\ l_8^2 = (x'_{B3} - x'_{B2})^2 + (y'_{B3} - y'_{B2})^2 + (z'_{B3} - z'_{B2})^2 \\ l_9^2 = (x'_{B1} - x'_{B3})^2 + (y'_{B1} - y'_{B3})^2 + (z'_{B1} - z'_{B3})^2 \end{cases}$$

Для компенсации тепловых ошибок гексаподов предложены следующие пути:

- использование высокоточного измерительного оборудования для контроля изменения линейного размера подвижных направляющих в процессе работы станков;
- контроль изменения температуры в характерных точках станка;
- модернизация конструкции станков с параллельной кинематикой.

В [4] для обеспечения точности шпиндельных узлов (ШУ) прецизионных станков использованы методы термоупругого моделирования.

Существенный рост скоростей резания приводит к повышению тепловой нагруженности ШУ станка, поэтому для повышения его точности применяют либо увеличение теплоустойчивости путем непосредственного уменьшения тепловых погрешностей обработки, либо повышение теплоустойчивости за счет применения систем компенсации возникающих погрешностей обработки.

Реализация первого пути, связанного с уменьшением тепловых погрешностей обработки, требует проведения фундаментальных исследований тепловых процессов в станках и их влияния на выходную точность, результаты исследований могут закладываться как в конструкцию станка на этапе проектирования, так и использоваться для улучшения точности уже готовых станков.

В качестве элемента регулирования теплового поля с естественными обратными связями целесообразно использовать тепловые трубы (ТТ).

Существенно, что предложенная в [4] термоупругая модель ШУ стала действенным инструментом исследования, что позволило сформулировать ряд принципиальных положений:

- установлено, что линейные упругие погрешности ШУ от силовых нагрузок и линеаризованные погрешности, вызванные тепловыми воздействиями в общем балансе точности, не подчиняются принципу суперпозиции;
- анализ механизма взаимного влияния на точность упругих и тепловых факторов дал возможность выявить алгоритмы и рекомендации для рационального размещения ТТ в конструкции ШУ с целью повышения теплоустойчивости ШУ;

- рассчитать и обосновать максимальный перепад температуры наружного кольца подшипника и корпуса ШУ для условия сохранения работоспособности опор ШУ, обеспечения требуемой теплоустойчивости и повысить приведенную жесткость ШУ;

- исследование конструкций ШУ с ТТ показало способность к повышению ее жесткости на 15-40% при заданном превышении температуры опоры и корпуса ШУ до 5 °С;

- аналитическая модель опоры ШУ на шариковых радиально-упорных подшипниках учитывает упругие и упругопластичные контактные силовые смещения, а также силы трения, углы контакта тел качения и колец, что повышает точность расчета жесткости опор.

Можно отметить, что работы [2-4] формируют принципиальные подходы к решению базовой проблемы обеспечения заданной точности станков с параллельной кинематикой с учетом теплофизических факторов. Однако в этих работах не получили достаточного освещения вопросы надежности работы прецизионных станков в условиях активного теплофизического фактора.

Факторы надежности прецизионных станков могут быть исследованы с привлечением обобщенных представлений о структурных моделях металлорежущего оборудования, построенных с учетом воздействия систематических и случайных, силовых и температурных источников, которые определяют изменение его точностных характеристик [1].

В [1] предложена модель теплофизического анализа металлорежущего оборудования, а также его температурного режима и функций поведения на основе теплоактивных элементов с квазитермостабильными связями, позволившая:

- описать процесс формирования закономерностей теплового поведения металлорежущего оборудования и обосновать выбор параметров управления его тепловым поведением;

- обосновать и разработать критерии подобия теплового поведения деталей и узлов металлорежущего оборудования, обеспечивающие информационную и программную интеграцию систем управления тепловым поведением металлорежущего оборудования различного технологического назначения;

- получить решения по определению температурного режима типовых элементов, деталей и узлов металлорежущего оборудования для различных условий их тепловых нагрузок и теплонапряженности.

Таким образом, на основе рассмотренных работ можно заключить, что теплофизический фактор как в станках с параллельной кинематикой, так и в целом в прецизионных станках имеет особое значение в плане обеспечения требуемых показателей точности. В то же время, должен быть обеспечен определенный баланс факторов точности, надежности и эффективности.

Список литературы

1. *Кузнецов А.П.* РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ СОСТОЯНИЕМ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ТОЧНОСТИ: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М., 2011. - 48 с.
2. *Бровкина Ю.И.* Автоматизированная система оценки влияния температурных процессов на точность позиционирования станков с параллельной кинематикой: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.06. М., 2006. - 121 с.: 61 06-5/1139.
3. *Балтаджи С.А., Бровкина Ю.И.* Оценка точности станков-гексаподов в современном машиностроении. Материалы III научно-образовательной конференции «Машиностроение – традиции и инновации» (МТИ-2010). Секция «Оборудование машиностроительных производств». Сборник ДОКЛАДОВ. М.: МГТУ «Станкин», 2010. – 178 с.
4. *Фролов А.В.* Повышение точности шпиндельных узлов прецизионных станков методами термоупругого моделирования при заданной их теплоустойчивости: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 2007. - 284 с.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н.

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

ПРИМЕНЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО СОСТАВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ ДО ОБТОЧКИ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Представлены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния применения триботехнического состава НИОД на повышение ресурса бандажей до обточки колесных пар электровозов и моторных вагонов электропоездов. Выполнен сравнительный анализ долговечности бандажей колесных пар обработанных и необработанных триботехническим составом.

Ключевые слова: электровоз, электропоезд, колесная пара, бандаж, износ, триботехнический состав, обточка, ресурс.

Подбирая соответствующие технологические процессы, можно многократно повысить прочность поверхностного слоя бандажа, стойкость его к напряжению (износостойкость), а, следовательно, увеличить долговечность колесных пар, т. е. их технический ресурс и срок службы. В результате исследований автором были проработаны многочисленные технические и технологические решения повышения износостойкости колесных пар [1–3].

Одним из эффективных принципиально новых методов снижения трения, разработанных в последнее время и реализуемых с помощью несложного оборудования [4, 5], позволяющий не только остановить изнашивание, но и в некоторых случаях восстановить состояние изношенных поверхностей, является обработка трущихся поверхностей триботехническим (самосмазывающим) составом ТС НИОД (нанесение ионного покрытия на детали или наружное ионное обменное действие). Успех применения самосмазывающихся материалов в значительной мере зависит от условий работы, выбора оптимальной для этих условий работы марки материала и конструкций узла трения [6].

Триботехнический состав – это вещество, которое при внесении его в зону трения коренным образом изменяет протекающие там процессы за счет изменения свойств контактирующих поверхностей, он не является смазкой, т. е. веществом, разделяющим поверхности трения. ТС не является и модификатором смазки, поскольку функцией модификаторов является изменение свойств смазки или изменение ее взаимодействия с поверхностями трения (например, удержание смазки на поверхности путем создания на ней пористых или волнистых структур). Отличительной особенностью триботехнических составов является то, что по завершении необходимых процессов, не требуется его дальнейшее присутствие в узле трения, в отличие от смазок, присадок к ним и модификаторов, концентрацию которых в узлах трения необходимо поддерживать постоянно [7].

Этот состав позволяет уменьшить коэффициент трения трущихся поверхностей, повысить износоустойчивость и антикоррозионную устойчивость. Состав НИОД представляет собой многокомпонентную мелкодисперсную минеральную смесь, полученную из сочетания различных минералов, основными из которых являются серпантин, энстанит и магнетит [8].

Это новый класс материалов для узлов трения (создающих на поверхности контртела ориентированные пленки, имеющие малую прочность на срез в поверхностном слое и выдерживающие большое число циклов без разрушения). В процессе трения эта пленка

непрерывно создается и поддерживается, а возникающие деформации локализуются в тонком поверхностном слое [9].

В локомотивных депо проводилась обработка гребней бандажей колесных пар электровозов и электропоездов. Для этого использовались угольные стержни с наполнителем из состава самосмазывающего материала типа НИОД по ТУ 0254–002–23124986–96). Технология нанесения ТС НИОД на гребни колесных пар подвижного состава была разработана под руководством и непосредственным участии автора.

Под воздействием стержня на гребень бандажа ТС НИОД диффундирует в структуру металла, «залечивая» поверхностные дефекты после обточки. В результате обработки на начальном этапе на поверхности гребня бандажа образуется керамическое покрытие, которое снижает коэффициент трения гребня бандажа и рельса [10].

Для сравнения интенсивности изнашивания бандажей колесных пар, обработанных и необработанных составом НИОД в локомотивных депо Свердловск-пассажирский, Свердловск-сортировочный, Ишим, Пермь-сортировочная, Смычка и Нижний Тагил Свердловской железной дороги, Курган и Челябинск Южно-Уральской железной дороги на кафедре «Электрическая тяга» УрГУПС был проведен анализ изнашивания бандажей колесных пар пассажирских электровозов ЧС2 и ЧС7, грузовых электровозов ВЛ10 и ВЛ11, электропоездов ЭР1, ЭР2 и ЭТ2.

Первоначальный анализ интенсивности износа гребней колесных пар электровозов ЧС2 и ЧС7 рассматривал сравнительно малый период времени и небольшое количество данных по семи электровозам разных серий, которое не превышало в сечении реализаций износа тридцати замеров [11]. Поэтому было принято решение об увеличении выборки значений контролируемого параметра. Наблюдения распространили на семьдесят четыре электровоза серии ЧС2 (69 ед.) и ЧС7 (5 ед.), электропоезда ЭР1 и ЭР2 (5 ед.), электропоезда ЭТ2 (5 ед.), гребни колесных пар которых обработаны ТС НИОД.

Причем у двенадцати электровозов ЧС2 начальная толщина бандажа при обработке ТС НИОД составляла 90 мм, восемнадцать электровозов имели начальную толщину бандажа 80 мм, девятнадцать – 70 мм, а шестнадцать электровозов – 60 мм. В качестве контрольных были выбраны 43 электровоза, из них серии ЧС2 – 39 и ЧС7 – 4. Десять электровозов ЧС2 имели начальную толщину бандажа 90 мм, двенадцать электровозов – 80 мм, девять – 70 мм и восемь электровозов – 60 мм. Контрольными электропоездами являлись все остальные (ЭР1 и ЭР2 – 35 ед., ЭТ2 – 2 ед.) из приписного парка локомотивного депо Свердловск-пассажирский. Контрольными грузовыми электровозами являлись все остальные (ВЛ10 – 44, ВЛ11 – 140) из приписных парков локомотивных депо Свердловск-сортировочный, Ишим, Пермь-сортировочная и Смычка Свердловской железной дороги, Челябинск и Курган Южно-Уральской железной дороги.

В результате наблюдения за большим количеством электроподвижного состава различных серий накоплен обширный материал для сопоставительной оценки работоспособности колесных пар (обработанных и не обработанных составом ТС НИОД) при эксплуатации в одинаковых условиях. Контролируемые параметры, характеризующие изнашивание и ресурс бандажей колесных пар до обточки, – это прокат и толщина гребня. При исследовании изменения контролируемых параметров рассматривались пробег L , отсчет которого производился от момента восстановления (обточка) конфигурации профиля бандажей, и условия эксплуатации электроподвижного состава [12]. Контролируемые параметры бандажей измеряли с помощью прибора КИП-03, изготовленного по разработкам автора. Относительная погрешность этого измерительного инструмента не превышает 5% [13].

Теоретически и многочисленными опытами установлено, что случайная величина контролируемого параметра при фиксированном значении пробега хорошо описывается нормальным законом распределения, плотность распределения которого [14]:

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Y-M_y)^2}{2\sigma_y^2}},$$

где M_y – математическое ожидание контролируемого параметра; σ_y – среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра; Y – текущее значение контролируемого параметра.

Для того чтобы прогнозировать процесс изнашивания колесных пар и определить их ресурс, необходимо построить аналитические зависимости числовых характеристик среднего значения M_y и среднее квадратическое отклонения σ_y от пробега вида $y = aL + b$ [15].

Значения всех коэффициентов корреляции полученных аналитических зависимостей изменения значений контролируемых параметров бандажей обработанных и необработанных составом НИОД составляют 0,757–0,999, что свидетельствует об адекватности линейной аппроксимации, т. е. о достаточно тесной линейной связи контролируемых параметров с величиной пробега L в семи локомотивных депо Свердловской и Южно-Уральской железных дорог. С увеличением пробега L возрастает вероятность отказа P [16]. Если восстанавливать конфигурацию изношенного бандажа или производить его замену при наработке (пробеге), не превышающей 95%-ного ресурса ($P = 0,05$), то вероятность отказа бандажа в межремонтном периоде не превысит 5% и отклонение межремонтного пробега от установленной величины также окажется в пределах $\pm 5\%$, т. е. находится в соответствии с относительной погрешностью применяемого в локомотивных депо измерительного инструмента. Поэтому целесообразно ограничить межремонтные пробеги 95%-ым ресурсом [17]. Результаты выполненных расчетов по прогнозированию ресурса бандажей колесных пар электроподвижного состава приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1 – Ресурс бандажей колесных пар до обточки.

Начальная толщина бандажей, мм	95%-ный ресурс бандажей, тыс. км		Увеличение ресурса бандажей, раз
	обработанных составом НИОД	без обработки составом НИОД	
1. Электровозы серии ЧС2 депо Свердловск-пассажирский			
90	199,1	91,0	2,18
80	154,8	86,1	1,79
70	91,6	60,3	1,52
60	66,8	47,6	1,40
2. Электровозы серии ЧС7 депо Свердловск-пассажирский			
–	157,2	65,7	2,41
3. Электропоезда серии ЭР1 и ЭР2 депо Свердловск-пассажирский			
–	158,2	104,9	1,51
4. Электропоезда серии ЭТ2 депо Свердловск-пассажирский			
–	148,8	72,6	2,05
5. Электропоезда депо Свердловск-пассажирский			
–	158,2	104,9	1,51
6. Электропоезда депо Нижний Тагил			
–	125,0	61,1	2,05
7. Электровозы ВЛ10 депо Курган, Челябинск			
–	86,8	84,9	1,02
8. Электровозы серии ВЛ11 депо Свердловск-сортировочный			
–	58,0	49,7	1,16
9. Электровозы серии ВЛ11 депо Пермь-сортировочная			
–	64,2	58,3	1,10
10. Электровозы серии ВЛ11 депо Ишим			
–	68,25	69,0	0,99
11. Электровозы серии ВЛ11 депо Смышка			
–	62,0	61,7	1,01

Как видно из табл. 1 и рис. 1, применение ТС НИОД в депо Свердловск-пассажирский и Нижний Тагил (электровозы ЧС2 и ЧС7, электропоезда ЭР1, ЭР2 и ЭТ2) позволило увеличить ресурс бандажей (колес) до обточки от 40% до 2,41 раз; установлено: чем толще бандаж электровозов ЧС2, тем эффективнее обработка гребней ТС НИОД.

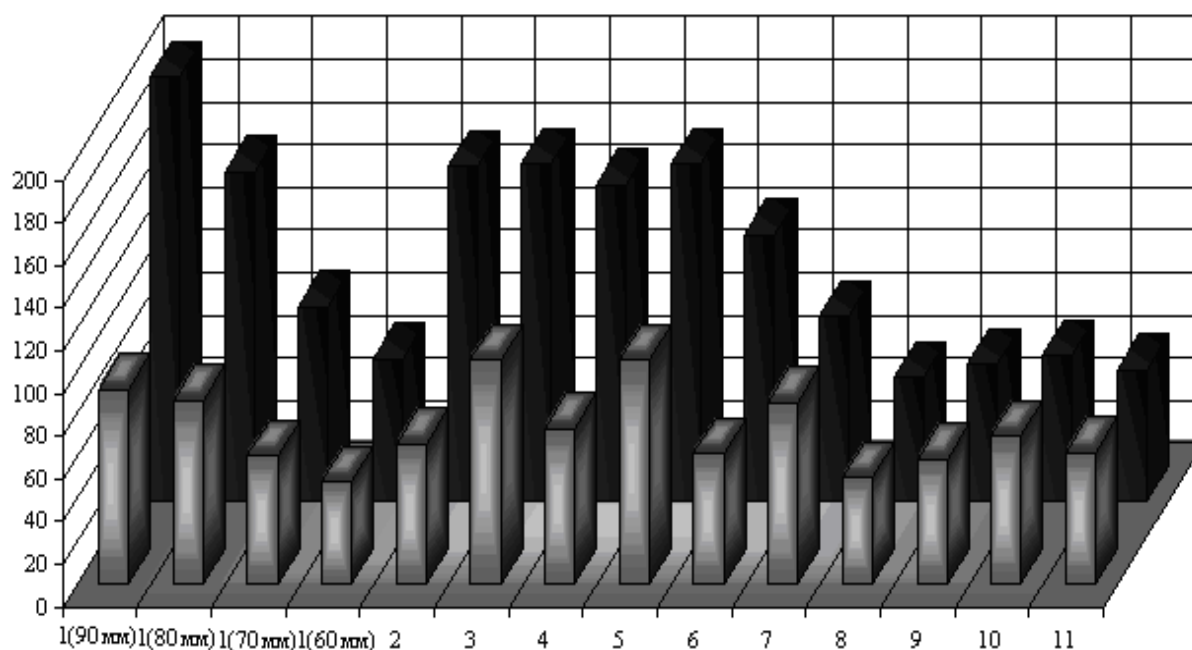


Рис. 1 – Ресурс бандажей колесных пар до обточки:

■ - до обработки ТС НИОД ■ - после обработки ТС НИОД

Эффект от обработки ТС НИОД гребней бандажей электровозов ВЛ10 и ВЛ11 (депо Курган, Челябинск, Свердловск-сортировочный, Пермь-сортировочная и Смычка) более низкий (от 1 до 16 %), или даже отрицательный (ВЛ11 депо Ишим). Это обстоятельство объясняется наличием на грузовых электровозах ВЛ10 и ВЛ11 тормозных гребневых колодок ЛК-275-01. ТС НИОД не успевает диффундировать в структуру металла, «залечить» поверхностные дефекты после обточки, образовавшееся при обработке «стержнем» керамическое покрытие разрушается («сдирается») при торможении гребневой колодкой [18].

В настоящее время под руководством автора на кафедре «Электрическая тяга» УрГУПС заканчиваются лабораторные и экспериментальные исследования по созданию нового триботехнического состава, получивший название – нанопористое антифрикционное покрытие (НАП), применение которого позволит его использовать на электроподвижном составе при наличии тормозных гребневых колодок.

Список литературы

1. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: Дисс. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2011. 455 с.
2. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
3. Буйносов А.П. Еще раз об износе колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. 2010. № 9. С. 23–26.
4. Буйносов А.П., Пышный И.М. Разработан бортовой локомотивный гребнесмазыватель «твердого» типа // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 3. С. 92–96.
5. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Новый гребнесмазыватель твердого типа // Железнодорожный транспорт. 2011. № 10. С. 54–55.
6. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Повышение износостойкости колесных пар электроподвижного состава за счет обработки гребней триботехническим составом // Транспорт Урала. 2011. № 3(30). С. 59–64.
7. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Наноматериал увеличит срок службы бандажей колесных пар // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 266–274.
8. Буйносов А.П., Кузьмин К.А. Обработка бандажей составом НИОД // Локомотив. 1996. № 3. С. 25–26.
9. Буйносов А.П. Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения // Железнодорожный транспорт. – 1994. – № 10. – С. 39–41.
10. Буйносов А.П., Михайлова Н.А., Михайлова О.М. Прибор для контроля рельсов // Путь и путевое хозяйство. 2010. № 10. С. 13–15.
11. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Результаты применения триботехнического состава для уменьшения износа гребней колесных пар электроподвижного состава // Вестник ВЭЛНИИ. 2011. № 2(62). С. 114–125.
12. Буйносов А.П., Стаценко К.А. Повышение ресурса колесных пар электровозов технологическими методами: Монография. – Саарбрюккен, Germany (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2012. 215 с.
13. Буйносов А.П. Разработка и аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Транспорт Урала. 2010. № 3 (26). С. 64–68.
14. Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А. Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85–91.
15. Буйносов А.П. Выбор оптимального остаточного проката бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Транспорт Урала. 2010. № 2(25). С. 45–47.
16. Буйносов А.П. Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения // Железнодорожный транспорт. 1994. № 10. С. 39–41.
17. Балдин В.Л., Буйносов А.П., Тихонов В.А. Повышение долговечности колесных пар за счет упрочнения гребней бандажей локомотивов // Вестник транспорта Поволжья. 2011. № 5(29). С. 57–60.
18. Буйносов А.П. Влияние твердости колеса и рельса на их износ // Локомотив. 1995. № 3. С. 31–32.

05.22.07

А.П. Буйнов д.т.н., А.М. Кислицын

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, alex_teem@mail.ru

ИЗМЕРЕНИЕ И ВЫЧИСЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛОКОМОТИВА

В статье описано измерение с помощью неконтактных ультразвуковых датчиков и вычисления параметров колесной пары при использовании автоматической измерительной системы при движении локомотива.

Ключевые слова: *локомотив, движение, колесная пара, параметры, измерение.*

Автоматическая система обмера колесных пар локомотивов (АСОК-Л) представляет собой многоканальную ультразвуковую локационную систему с использованием неконтактных датчиков [1]. Работа всех измерительных каналов синхронизирована во времени. Движущаяся колесная пара облучается ультразвуковыми импульсами одновременно с нескольких направлений. Отраженные от бандажа сигналы принимаются, подвергаются оцифровке и вводятся в ПЭВМ [2].

При расчете диаметра бандажа и других параметров колесной пары используются методы геометрической акустики. Геометрическая акустика является предельным случаем волновой акустики, она описывает особенности распространения звука в пространстве на основе представления о звуковых лучах как линиях, вдоль которых перемещается звуковая энергия. Законы геометрической акустики позволяют создать упрощенную, но в большинстве случаев достаточно точную методику измерения параметров колесных пар. В АСОК-Л эти законы используются для того, чтобы установить взаимосвязь между запаздыванием ультразвуковых сигналов измерительных каналов и параметрами обследуемого объекта – движущейся колесной пары локомотива [3, 4].

Понятием луча можно пользоваться только в том случае, когда можно пренебречь дифракцией звука на акустических неоднородностях, а это допустимо тогда, когда длина звуковой волны много меньше размера неоднородностей. Для одних ультразвуковых локационных каналов это условие выполняется, тогда как для других – нет. Поэтому толщина гребня рассчитывается в основном с использованием методов волновой теории. Однако и в этом случае методы геометрической акустики используются при решении промежуточной задачи по определению координат точек регистрации волнового поля [5].

При определении взаимосвязи между запаздыванием ультразвуковых сигналов и геометрическими параметрами колеса в АСОК-Л делаются следующие допущения [6, 7]:

- воздух является однородной неподвижной средой, в которой звуковые лучи представляют собой прямые линии;
- поверхность бандажа по отношению к звуковому лучу является идеальным отражающим экраном;
- колесная пара обладает идеальной осевой симметрией, т. е. все сечения колесной пары плоскостями, проходящими через ее центральную осевую линию, одинаковы;
- электромеханические преобразователи рассматриваются как точечные всенаправленные источники и приемники ультразвуковых лучей;
- запаздывание акустического сигнала τ пропорционально расстоянию L , которое звук проходит в воздухе от датчиков до поверхности бандажа и обратно ($\tau = L / V$, где V – скорость звука в воздухе).

Исходя из особенностей трехмерных геометрических построений, текущие дальности в измерительных каналах выражаются через геометрические параметры, а не наоборот [8]:

$$L_n = P(\eta, \mu, \xi, X_n), \text{ для } n = 0, 1, 2, \dots, (n_{\max} - 1), \quad (1)$$

где L_n – набор отсчетов дальности в измерительных каналах, соответствующий n -му измерению; P – нелинейный оператор, определяющий взаимосвязь геометрических параметров и текущих дальностей; n – номер измерения; $n_{\max}$ – количество измерений на интервале наблюдения; η – набор геометрических параметров колесной пары; μ – набор геометрических параметров системы датчиков; ξ – набор геометрических параметров рельсового пути; X_n – n -ый отсчет продольного положения колесной пары относительно центра системы датчиков в моменты измерения дальности.

Прямоугольная матрица отсчетов дальности $L[n]$ вычисляется в процедурах обработки сигналов дальномерных каналов левого и правого колеса. Набор отсчетов L_n соответствует n -му столбцу матрицы $L[n]$ и содержит информацию о текущей дальности, измеренной в каждом из восьми дальномерных каналов в n -ый момент времени.

Нелинейный оператор P преобразует заданные входные параметры в n -ый набор отсчетов дальности L_n . Этот оператор определяет расстояния, которые проходит звук от датчиков до поверхности бандажа и обратно, в соответствии с законами геометрической акустики. В программе обработки данных эти нелинейные преобразования задаются с помощью математической модели измерительной системы [9].

Наборы параметров μ и ξ должны определяться непосредственно при калибровке измерительной системы, так как датчики при их изготовлении и монтаже невозможно установить в заданной точке пространства с точностью ± 1 мм, однако такой точности установки датчиков недостаточно для получения приемлемых значений погрешности при измерении параметров колесной пары; поэтому после монтажа системы, а также в ходе контрольных проверок, требуется измерять и уточнять реальные координаты каждого датчика [10, 11].

К неизвестным величинам, входящим в данное соотношение, относятся массив отсчетов продольного положения $X[n]$ и набор геометрических параметров колесной пары η . Таким образом, вычисление геометрических параметров колесной пары сводится к решению уравнения (1).

Строгое решение уравнения (1) в общем виде представляется довольно сложным, поэтому при вычислении искомых параметров колесной пары используется упрощенный метод решения, суть которого заключается в следующем [6, 12]:

- 1) вводится начальное приближение для всех параметров колесной пары, а именно, считается, что параметры конкретной колесной пары соответствуют параметрам идеальной колесной пары. Под идеальной колесной парой понимается такая колесная пара, профиль бандажа которой полностью соответствует ГОСТ 11018–2000, а диаметр по кругу катания и межбандажное расстояние имеют средние значения из допускаемого ГОСТом диапазона;

- 2) проводится пробное моделирование изменения дальностей в измерительных каналах при текущем состоянии набора параметров колесной пары, с варьированием значения оцениваемого параметра в пределах возможного диапазона его значений;

- 3) по рассчитанным дальностям, соответствующим текущему значению варьируемого параметра, вычисляется соответствующее значение критерия, используемого для оценки данного параметра. Таким образом табулируется зависимость конкретного параметра от критерия при текущем состоянии остальных параметров;

- 4) вычисляются коэффициенты полинома, аппроксимирующего зависимость контролируемого параметра колесной пары от критерия;

- 5) вычисляется критерий для измеренных дальностей;

- 6) с использованием аппроксимирующего полинома, вычисляется значение оцениваемого параметра. Результат заносится в выходной массив;

- 7) пп. 2–6 по очереди выполняются для каждого вычисляемого параметра, при этом последовательно уточняется геометрия колесной пары (значения параметров идеальной

колесной пары постепенно замещаются рассчитанными значениями, соответствующими конкретной колесной паре).

Очередность вычисления параметров выбрана таким образом, чтобы первыми вычислялись параметры, у которых критерий наименее подвержен влиянию мешающих факторов. Параметры вычисляются в следующем порядке [13]:

- межбандажное расстояние;
- поперечное смещение;
- скорость движения колесной пары;
- перекос колесной пары относительно оси пути;
- прокат;
- диаметр по кругу катания;
- текущие координаты установленных датчиков.

При вычислении этих параметров колесных пар вводятся следующие допущения [14, 15]:

1) опирающаяся на рельс поверхность колеса является фрагментом круглой конической поверхности. Считается, что при износе бандажа угол между образующей прямой и осевой линией конической поверхности остается постоянным. Конусность поверхности катания (КПК) – вспомогательный параметр, равный тангенсу этого угла;

2) каждое колесо соприкасается с рельсом в единственной точке, лежащей на линии катания, т. е. в качестве опоры колеса вместо рельса рассматривается линия катания;

3) при движении колесной пары в зоне наблюдения системы датчиков, величина перекоса и поперечного смещения остаются постоянными (т. е. считается, что в общем случае пара движется с проскальзыванием);

4) колесная пара движется вдоль рельсового пути прямолинейно и с постоянной скоростью.

Входными параметрами процедуры являются следующие исходные данные (см. рис. 1):

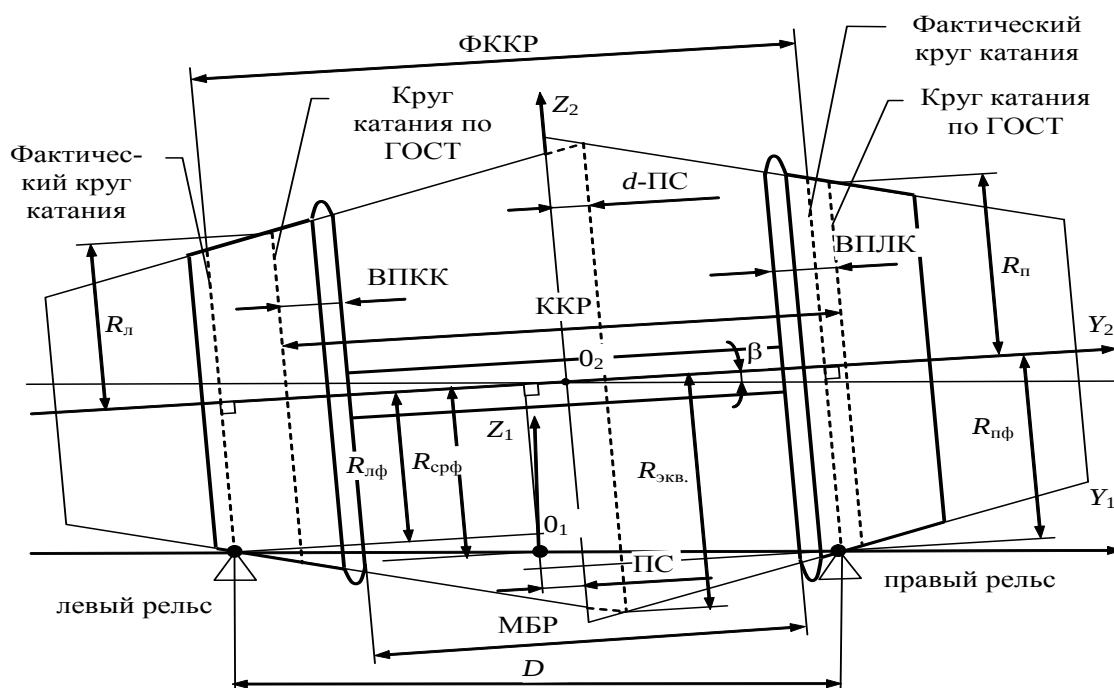


Рис. 1. Перемещение колесной пары в системе координат

- расстояние между внутренней поверхностью рельса и его линией катания (половина ширины головки рельса на уровне 13 мм от вершины), ВПКС;
- расстояние между внутренними поверхностями рельсов (на уровне 13 мм от вершины головок рельсов), МР;

- расстояние между внутренней поверхностью колеса и его кругом катания (70 мм), ВПКК;
- межбандажное расстояние колесной пары, МБР;
- перекося колесной пары, ККП;
- поперечное смещение колесной пары, ПС;
- радиус правого колеса по кругу катания, $R_{\text{П}}$;
- радиус левого колеса по кругу катания, $R_{\text{Л}}$;
- конусность поверхности катания (определяется ГОСТом), КПК.

Сначала процедура «CalcShiftRotParam-3Dcoord» [16] вычисляет вспомогательные параметры (см. рис. 1):

- расстояние между линиями катания рельсового пути $\text{ЛКР} = \text{МР} + 2 \cdot \text{ВПЛК}$;
- расстояние между кругами катания левого и правого колеса $\text{ККР} = \text{МБР} + 2 \cdot \text{ВПКК}$;
- средний радиус колес по кругу катания $R_{\text{ср.}} = (R_{\text{П}} + R_{\text{Л}}) / 2$;
- эквивалентный радиус колесной пары $R_{\text{экв.}} = R_{\text{ср.}} + (\text{ККР} / 2 \cdot \text{КПК})$;
- расстояние между точками соприкосновения колесной пары и рельсового пути $D = \text{ЛКР} / \cos \gamma$;
- полуразность радиусов правого и левого колеса по кругу катания $d-R = (R_{\text{П}} + R_{\text{Л}}) / 2$;
- поперечное смещение колесной пары, соответствующее равным радиусам фактических кругов катания левого и правого колеса $d-\text{ПС} = d - R \cdot \text{КПК}$;
- эквивалентное поперечное смещение $\text{ПС}_{\text{экв.}} = \text{ПС} + d-\text{ПС}$;
- расстояние между фактическими кругами катания левого и правого колеса

$$\Phi\text{ККР} = \sqrt{D^2 - \left(\frac{2 \cdot \text{ПС}_{\text{экв.}}}{\text{КПК}} \right)^2}.$$

После того как рассчитаны вспомогательные параметры производится расчет выходных параметров колесной пары при движении локомотива [17].

Данная разработка – это часть системы контроля колесных пар, созданной в рамках отраслевой комплексной автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом.

Список литературы

1. Буйносов, А.П. Наговицын В.С. Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27–28.
2. Буйносов А.П., Балдин В.Л. Выбор технического решения для автоматизированного измерения параметров колесных пар при движении локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 5. С. 53–62.
3. Балдин В.Л., Буйносов А.П. Автоматическая система мониторинга состояния бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. 2010. № 2. С. 113–125.
4. Буйносов А.П., Калмыков А.А., Елфимов В.И., Наговицын В.С. Бесконтактное измерение бандажей колесных пар // Железнодорожный транспорт. 1995. № 11. С. 34–36.
5. Буйносов А.П., Наговицын В.С. Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1996. № 12. С. 17–19.
6. Наговицын В.С., Буйносов А.П. Балдин В.Л. Измерение параметров колесных пар локомотивов. Автоматизированная система / Монография. – Саарбрюккен, Germany (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2011. 244 с.
7. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: Дисс. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2011. 455 с.
8. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава / Монография. М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2010. 244 с.
9. Буйносов А.П. Разработка и аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Транспорт Урала. 2010. № 3 (26). С. 64–68.
10. Горский А.В., Буйносов А.П., Медведев Н.Ф., Наговицын В.С. Правильно измеряйте износ бандажей // Локомотив. 1991. № 12. С. 36–37.
11. Буйносов А.П., Медведев Н.Ф. Автоматизация измерения проката бандажей колесных пар электровозов // Железнодорожный транспорт. Сер. Локомотивы и локомотивное хозяйство. Ремонт локомотивов. ЭИ/ ЦНИИТЭИ МПС, 1991. Вып. 5. С. 1–9.
12. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: Автореф. дис. докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2011. – 44 с.
13. Буйносов А.П. Контроль бандажей колесных пар // Локомотив. 1991. № 9. С. 36.
14. Буйносов А.П. Как контролировать разность диаметров бандажей колесных пар // Локомотив. 1991. № 3. С. 35.
15. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Измерительная система для контроля параметров бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 77–84.
16. Горский А.В., Воробьев А.А., Буйносов А.П. Система для контроля диаметров бандажей колесных пар // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения в тяжелом машиностроении: Реф. сб./ ЦНИИТЭИтяжмаш. 1990. Серия 9. Вып. 9. С. 38–44.
17. Головатый А.Т., Исаев И.П., Горский А.В., Буйносов А.П. Система ремонта локомотивов на конкретных участках обращения // Железнодорожный транспорт. 1992. № 7. С. 40–44.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., Д.Ю. Козаков

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, buinosov@mail.ru, mozdokskaya18@mail.ru

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ С РЕОСТАТНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ

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

Ключевые слова: *электропоезд, реостатное торможение, аккумуляторная батарея, схема зарядки, стабилизация.*

Для питания цепей низкого напряжения на электропоездах постоянного тока на каждом прицепном вагоне установлена аккумуляторная батарея (АБ) емкостью 125 А·ч, работающая в режиме постоянного подзаряда. АБ служит для питания двигателя вспомогательного компрессора подъема токоприемника и электромагнитных контакторов при запуске электропоезда, для управления поездом в течение некоторого времени при выходе из строя генератора управления головного вагона, а также для питания дежурного и служебного освещения двух вагонов при опущенном токоприемнике или неработающем генераторе управления [1].

Анализ эксплуатации АБ на электропоездах серий ЭР, ЭД и ЭТ с реостатным торможением показал, что они выходят из строя раньше заложенного ресурса, предусмотренного заводом-изготовителем. Основными неисправностями АБ являются: потеря емкости (9 %); прогар элементов, вследствие потери герметичности по причине поверхностного электролиза из-за токов утечки (89 %); прочие (2 %) [2].

Потеря емкости АБ происходит из-за: накопления углекислых солей (карбонатов) в электролите сверх допустимой величины; работы АБ на электролите без добавки едкого лития; эксплуатации АБ при температуре электролита выше +45 °С; загрязнения электролита вредными примесями; коротких замыканий АБ и повышенного саморазряда.

Значительное снижение емкости АБ может быть вызвано неправильным режимом ее эксплуатации: длительная работа оборудования без подзарядки АБ, а также недозарядкой АБ вследствие неправильной настройки регулятора напряжения [3].

Высокая температура электролита при эксплуатации аккумуляторов приводит к потере емкости вследствие пассивации положительных электродов (растворение активной массы в электролите). Активная масса, почти не растворимая в электролите при нормальных условиях эксплуатации, растворяется при высокой температуре и оседает на положительный электрод, вызывая потерю емкости. Высокая температура электролита вследствие неправильно выбранного режима заряда АБ на электропоездах приводит к систематическому их перезаряду.

Короткие замыкания в АБ возникают чаще всего из-за большого количества шлама, образующегося при вымывании активной массы из электродов. Чрезмерное вымывание активной массы, особенно из отрицательного (кадмиевого) электрода, может быть вызвано систематическим перезарядом аккумуляторов. Перезаряд приводит к обильному выделению газов при электролизе воды. Газы увлекают за собой частички активной массы и выносят их с поверхности электродов в электролит. При высокой температуре электролита (50–60 °С)

частицы активной кадмиевой массы частично растворяются в электролите, а затем при охлаждении выделяются и оседают на электродах и сепараторах в виде тонкой металлической пленки. Металлизация сепараторов превращает их в проводники металлического тока и приводит к усиленному саморазряду и к короткому замыканию аккумуляторов [4].

Кроме коротких замыканий внутри аккумулятора, часто возникают короткие замыкания в АБ. Это чаще всего получается тогда, когда сопротивление изоляции АБ ниже нормы [5].

На первичные обмотки трансформатора управления ТРy (рис. 1) подается переменное трехфазное напряжение 220 В от синхронного генератора.

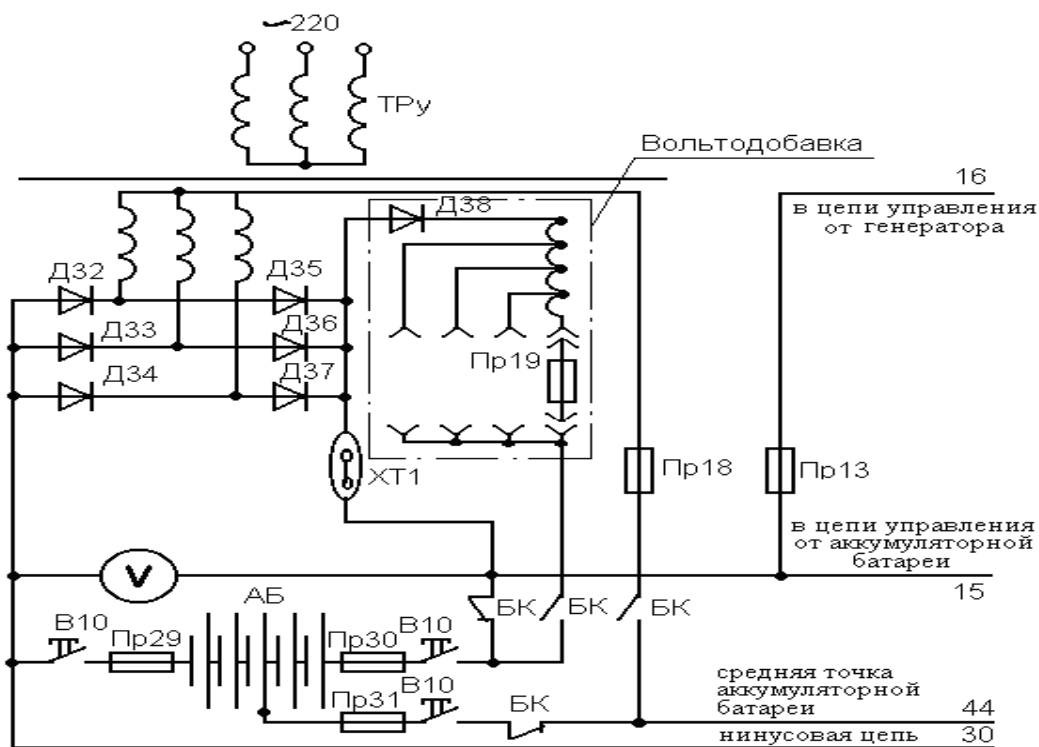


Рис. 1. Схема питания цепей управления и зарядки АБ

Коэффициент трансформации ТРy подобран так, чтобы на выходе выпрямителя Д32–Д37 (между проводами 15 и 30) получить выпрямленное напряжение 110 В. При этом напряжение между нулевой точкой вторичной обмотки и минусовой шиной выпрямителя (провода 44 и 30) составляет 50–55 В. Для нормального протекания режима зарядки АБ требуется повышенное напряжение [6]. Для этого служит так называемая «вольтодобавка» дополнительная обмотка, подключенная через диод Д38, которая в сумме с выходным напряжением ТРy создает напряжение, необходимое для зарядки АБ (140–160 В).

Из вышесказанного следует, что схема имеет очевидные недостатки серьезно затрудняющие нормальную эксплуатацию при полном заряде. При параллельно-последовательном соединении секций наблюдается неравномерный заряд АБ. Это показывает опыт эксплуатации электропоездов постоянного тока. Действительно, первыми при зарядке получают полную емкость заряда секции Б₃, Б₄ и Б₅ (рис. 2). Секции Б₁ и Б₂ к этому моменту времени оказываются не дозаряженными, поскольку токи заряда этих секций примерно на половину ниже. Кроме того внутреннее сопротивление секций Б₁ и Б₂ практически всегда различны. Следовательно $I_{Б1} \neq I_{Б2}$.

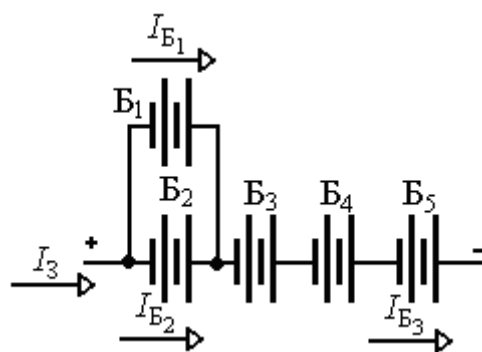


Рис. 2. Соединение секций аккумуляторов в АВ

При такой схеме соединения секций батарей, полный заряд батарей Б₁ и Б₂ приведет к перезаряду Б₃, Б₄ и Б₅.

В случае перезаряда, когда электрохимические процессы заряда в аккумуляторе заканчиваются, продолжающийся ток заряда вызывает электролиз воды, входящей в химический состав электролита аккумулятора, и бурное выделение газов. Одновременно с этим происходит падение напряжения на внутреннем сопротивлении аккумулятора, что приводит к его нагреву. Известно, что нагрев выше 45 °С у щелочных батарей вызывает разрушение пластин. Кроме того, интенсивное газовыделение приводит к выкипанию воды и частичному выбросу электролита на поверхность, что создает благоприятные условия для появления короткого замыкания по поверхности аккумулятора и увеличению токи утечки [7].

На рис. 3 показана упрощенная схема параллельного включения аккумуляторных батарей на электропоездах с реостатным торможением в режиме разряда.

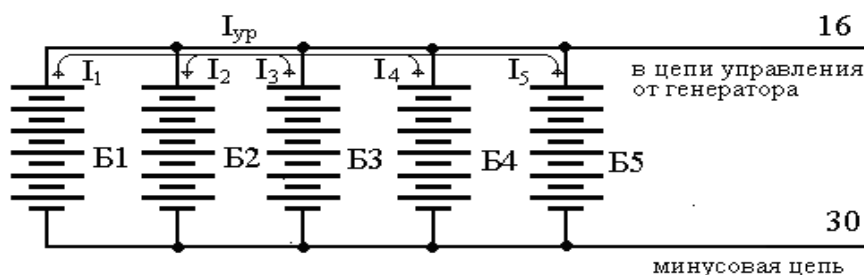


Рис. 3. Упрощенная схема параллельного включения АВ в режиме разряда

Известно, что параллельное соединение аккумуляторных батарей при разряде обладает рядом недостатков. В процессе эксплуатации происходит неравномерный разряд аккумуляторных батарей. По этой причине ЭДС отдельных АВ не равны. Неравенство напряжений у отдельных АВ приводит к появлению уравнивающих токов. Уравнивающий ток заряжая одну АВ одновременно разряжает остальные. Кроме того большой ток в секции приводит к нагреву аккумуляторов, бурному газовыделению и выплескиванию электролита на поверхность аккумуляторов [8].

Из анализа электрических схем зарядки АВ на электропоездах с реостатным торможением видно, что неблагоприятные режимы работы аккумуляторных батарей вызваны большими уравнивающими токами из-за недостатков схемы питания цепей управления и большой величины зарядного тока. Для устранения негативного влияния на работу АВ на электропоездах вышеперечисленных причин, возникающих из-за отсутствия устройства или электрической схемы контроля и стабилизации тока заряда аккумуляторных батарей необходимо: исключить возможность возникновения уравнивающих токов и ограничить ток заряда аккумуляторных батарей до пределов номинального зарядного тока (12,5 А – для аккумуляторов НК55) с последующим поддержание его в заданных пределах [9].

Конструктивно исключить возникновение уравнилельно тока можно применением вентилля Д200 или ВК200 включенным между 15 и 16 проводом (см. рис. 1).

Для ограничения тока заряда аккумуляторной батареи и поддержания его в заданных пределах целесообразно применить тиристорный регулятор с обратной связью по току, включенной непосредственно в цепь аккумуляторной батареи.

При разработке схемы стабилизации зарядки аккумуляторных батарей были произведены расчеты генератора пилообразного напряжения, сравнивающего устройства (компаратора), синхронизирующего устройства, схемы усилителя формирователя (блокинг-генератора), блока питания и схемы управления тиристорами.

Значение параметров схемы проверены практической сборкой схемы и проведено математическое моделирование с применением программы Electronics Workbench 5.0 (программный продукт фирмы Interactive). Расчетная схема и результаты расчета схемы представлены на рис. 4.

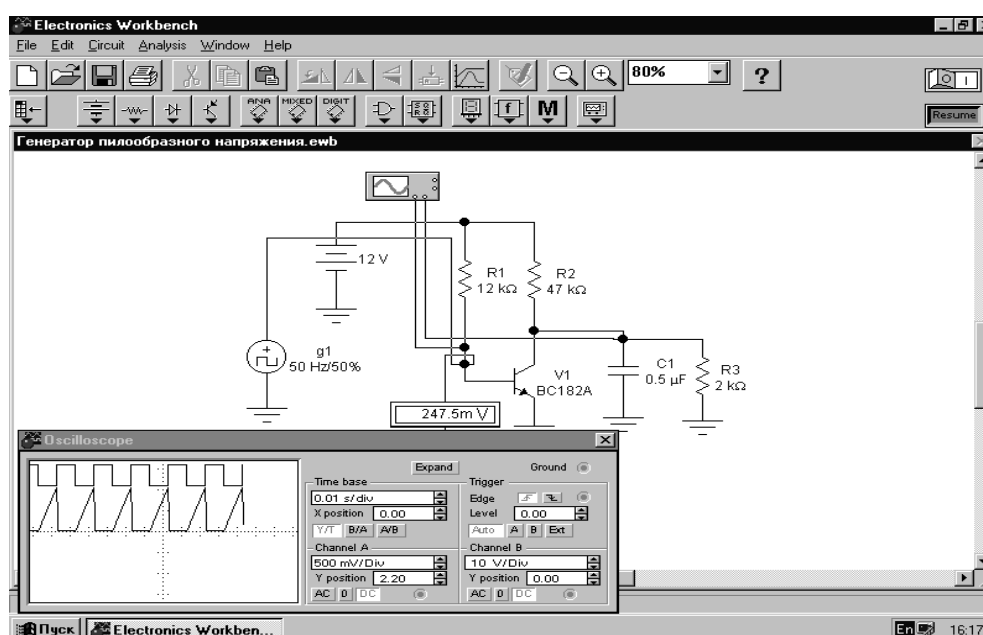


Рис. 4. Расчетная схема генератора пилообразного напряжения, смоделированная в программе Workbench

Опытная эксплуатация схемы стабилизации зарядки АБ электропоездов ЭР2Т, ЭД2Т и ЭТ2Т проходит опытную эксплуатацию на Свердловской и Южно-Уральской железных дорог. После внедрения повышается эффективность использования АБ на подвижном составе и доведения срока службы АБ до нормативного. В случае нарушения работоспособности схемы стабилизации зарядки АБ предусматривается возможность включения зарядки в аварийном режиме. В схеме предусмотрена возможность диагностики технического состояния аккумуляторных батарей [10].

Разработанная система предусматривает совершенствование ремонтного цикла и зарядки АБ в условиях депо с минимальным внесением изменений в основную электрическую схему зарядки АБ электропоездов с реостатным торможением с учетом выполнения требований безопасности движения.

Годовой экономический эффект от внедрения тиристорного стабилизатора тока зарядки АБ на одну секцию электропоезда составил около 60 тыс. руб., чистый дисконтированный доход за пять лет составил 211 тыс. руб. при сроке окупаемости 54 дня.

Таким образом, внедрение тиристорного стабилизатора тока зарядки АБ на электропоездах с реостатным торможением является эффективным мероприятием, осуществление которого позволит сократить расходы, связанные с заменой и покупкой новых аккумуляторов, при выполнении депоовских ремонтов.

Список литературы

1. Буйносов А.П., Наговицын В.С., Боярских Г.С. Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8–10.
2. Кирель Л.А., Буйносов А.П., Наговицын В.С. Создан прибор неразрушающего магнитного контроля // Локомотив. 2001. № 6. С. 20–25.
3. Балдин В.Л., Буйносов А.П. Автоматическая система мониторинга состояния бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Вестник ВЭЛНИИ. 2010. № 2(60). С. 113–125.
4. Буйносов А.П. Модель эксплуатационного износа сложных систем железнодорожного транспорта // Вестник транспорта Поволжья. 2010. № 4(24). С. 21–25.
5. Буйносов А.П., Цихалевский И.С., Трофимов М.Н. Новый измерительный прибор // Локомотив. 1998. № 6. С. 40–41.
6. Буйносов А.П., Наговицын В.С. Диагностика низковольтных цепей электровоза // Железнодорожный транспорт. 1996. № 9. С. 36–38.
7. Головатый А.Т., Исаев И.П., Горский А.В., Буйносов А.П. Система ремонта локомотивов на конкретных участках обращения // Железнодорожный транспорт. 1992. № 7. С. 40–44.
8. Драчев Г.Г. Аккумуляторы подвижного состава. М.: Транспорт, 1970. 28 с.
9. Буйносов А.П. Новые гребнесмазыватели системы «Тракмастер» // Локомотив. 1999. № 12. С. 12–14.
10. Буйносов А.П., Трофимов М.Н., Цихалевский И.С. Эффект лубрикации // Железнодорожный транспорт. 1998. № 5. С. 41–44.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., И.М. Пышный

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, igorkz45@mail.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ГРЕБНЕСМАЗЫВАНИЯ АГС-8 НА ПРОМЫШЛЕННОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по оценке применения системы АГС-8. Показана ее эффективность только после применения разработанного в УрГУПС блока автоматического управления системой гребнесмазывания бандажей колесных пар тепловозов на железнодорожном транспорте необщего пользования.

Ключевые слова: *тепловоз, колесная пара, бандаж, гребнесмазыватель, блок, анализ, результаты.*

Условия эксплуатации локомотивов на путях промышленных предприятий в значительной степени отличаются от эксплуатации на железнодорожном транспорте общего пользования. Во-первых, из-за наличия большого количества кривых малого радиуса (до 60 м) [1].

Интенсивность изнашивания пары «колесо–рельс» на ряде промышленных предприятий все еще большая. Имеет место высокий процент обточек бандажей колесных пар по предельной толщине гребня, а также сменяемость рельсов по боковому износу головки [2].

Для оценки возможности уменьшения износа бандажей колесных пар в течение 2010 года на 7-ми тепловозах ТЭМ2 (№№ 175, 421, 530, 972, 975, 1047 и 7271) и ТЭМ18 № 274 собственности ООО «ЛУКОЙЛ-Транс» был собран статистический материал по изменению контролируемых параметров (износ гребня и нарастание величины проката бандажей). Измерения проводились при помощи прибора КИП-01, относительная погрешность которого не превышает 5 % [3].

Объем выборок значений износа гребня и величин проката бандажей колесных пар тепловозов ТЭМ2 и ТЭМ18 железнодорожного цеха ООО «ЛУКОЙЛ-Транс» составил более 1600 значений, что значительно превышает минимально необходимый объем выборки. Это способствует повышению достоверности результатов статистического анализа и прогнозирования износа гребня бандажей колесных пар тепловозов [4].

Согласно представлениям теории изнашивания, при проведении исследований в железнодорожном цехе ООО «ЛУКОЙЛ-Транс» (г. Пермь) было выявлено, что износ элементов пары колесо–рельс отражает приработочный период, нормальную работу и старение (интенсивный износ). С помощью стратегии ремонтов (переточек) бандажей попадание их в третий этап – старение, как правило, не допускается. Однако специфика работы колесной пары такова, что при одном фиксированном элементе пары второй – всегда переменный [5].

Значения числовых характеристик контролируемых параметров и закон распределения позволяет прогнозировать процесс их изменения при больших значениях наработки (количество месяцев работы тепловозов ТЭМ2 и ТЭМ18), определить ресурс бандажей. Для этого определены аналитические зависимости нелинейных регрессий среднего значения $M(n)$ и среднеквадратического отклонения $\sigma(n)$ износа гребня и нарастания проката бандажей от наработки n вида:

$$M(n) = \sum_{i=0}^m (A_i \cdot n^i), \quad \sigma(n) = \sum_{i=0}^m (B_i \cdot n^i), \quad (1)$$

где A_i и B_i – коэффициенты полиномов зависимостей соответственно среднего значения и среднеквадратического отклонения износа гребней и нарастания проката бандажей колесных пар локомотивов от наработки.

Полученные зависимости, коэффициенты нелинейных уравнений регрессий и коэффициенты корреляции по методике [6] приведены на рис. 1 и 2.

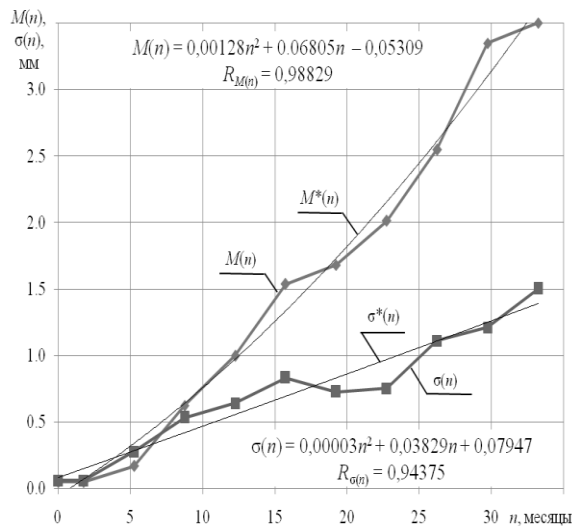


Рис. 1 – Зависимость среднего и среднеквадратического значения износа гребня бандажей колесных пар до применения АГС-8

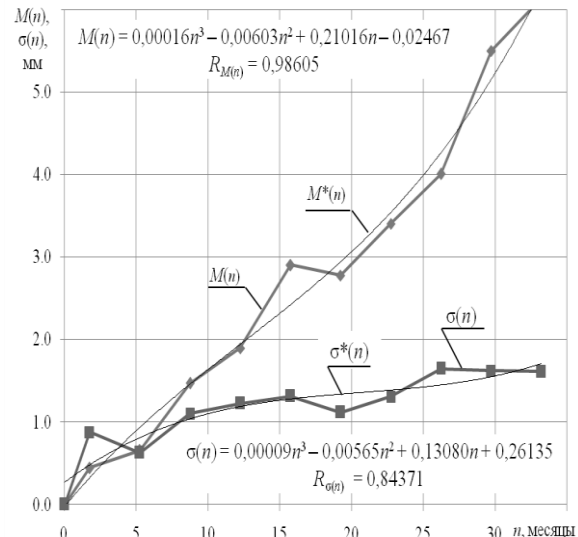


Рис. 2 – Зависимость среднего и среднеквадратического значения нарастания проката бандажей колесных пар до применения АГС-8

Как видно из полученных зависимостей хотя и средняя интенсивность нарастания проката выше скорости износа гребней (после 20 месяцев работы – прокат 3 мм, а износ гребня 1,7 мм), но все эти показатели остаются недопустимо высокими. Имеет место большое количество обточек бандажей колесных пар [7].

Выход контролируемых параметров за установленный допуск классифицируется как отказ работы бандажа, предельный износ. Таким образом, с увеличением наработки n возрастает вероятность отказа P . Для износа гребня вероятность отказа при заданном пробеге равна [8]:

$$P(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{Y_{\text{доп.}}}^{\sum_{i=0}^m (A_i \cdot n^i) + 3 \cdot \sum_{i=0}^m (B_i \cdot n^i)} \frac{1}{\sum_{i=0}^m (B_i \cdot n^i)} e^{-\frac{(Y - \sum_{i=0}^m (A_i \cdot n^i))^2}{2 \left[\sum_{i=0}^m (B_i \cdot n^i) \right]^2}} dy. \quad (2)$$

При выполнении восстановления контролируемых параметров бандажей при пробеге до достижения величины наработки, равной 95%-ного полного ресурса, вероятность отказа бандажа до этого момента не превысит величины 5%. При этом отклонение измеренного значения контролируемого параметра от реальной величины также окажется в пределах $\pm 5\%$, что покрывается интервалом относительной погрешности прибора КИП-01 [9].

Для оценки ресурса бандажей необходимо знать предельное значение контролируемого параметра $Y_{\text{доп.}}$. Установленный допуск для износа гребня бандажа (уменьшение толщины гребня) тепловозов ТЭМ2 и ТЭМ18 составляет 8 мм, предельная величина проката – 7 мм. На основании выполненных расчетов строятся зависимости $P(n)$ и по ним определяется

γ %-ый ресурс колесных пар, то есть такой пробег, которому соответствует вероятность безотказной работы или вероятность отказа $P = 1 - \gamma$ [10].

Результаты расчета 95%-ного ресурса до обточки по предельному прокату бандажей колесных пар тепловозов ТЭМ2 и ТЭМ18 составил 27,85 месяца, по предельному износу гребня – 42,4 месяцев.

Для снижения износа колес локомотивов и рельсов на железнодорожном транспорте общего пользования России применяются следующие методы и решения:

- лубрикация колес и рельсов с использованием бортовых локомотивных систем РИИЖТа (НПП «Фромир»), ДИИТа, ВНИКТИ и др. [3];
- смазка рельсов с помощью специального подвижного состава (вагоны, дрезины, локомотивы и т.д.), разработанного ВНИКТИ, ВНИИЖТом, опытным заводом путевых машин Южно-Уральской железной дороги и др. [3];
- лубрикация рельсов триботехническим составом НИОД [11];
- лубрикация колес с использованием гребнесмазывателей собственной конструкции и гребнесмазывателей KLS (Kipp Lubrication Systems, Madison, Wisconsin, США) Lubriquip (KLS Lubriquip) (КЛС) [12];
- установка в кривых участках пути и перед стрелочными переводами на станциях стационарных путевых лубрикаторов, выпускаемых Екатеринбургским путевым ремонтно-механическим заводом (ЕПРМЗ) [10].

Автоматическая система гребнесмазывания предназначенная для дозированного нанесения смазочного материала на гребни колесных пар тепловозов, тем самым она уменьшает силы трения гребня бандажа о головку рельса и сопротивление движению, поэтому для уменьшения износа бандажей тепловозов ТЭМ2 и ТЭМ18 на железнодорожном транспорте необщего пользования ООО «ЛУКОЙЛ-Транс» (г. Пермь) было предложено использование автоматической системы гребнесмазывания (АГС-8).

В начале 2011 года ООО «ЛУКОЙЛ-Транс» было закуплено 7 комплектов АГС-8 производства НПП «Фромир» (г. Ростов на Дону) и установлено на тепловозах ТЭМ2 (№№ 175, 421, 530, 972, 975, 1047 и 7271) и 1 комплект на тепловозе ТЭМ18 № 274. В качестве смазочного материала в АГС-8 использовалась смазка ТП-22 (И-20).

При эксплуатации тепловозов ТЭМ2 и ТЭМ18 с установленной системой гребнесмазывания АГС-8 на железнодорожных путях ООО «ЛУКОЙЛ-Транс» были выявлены целый ряд недостатков: система гребнесмазывания во время стоянки тепловоза и на нулевой позиции контроллера машиниста продолжает работать; в момент трогания поезда с места тепловозом реализуются большие тяговые усилия и подача смазки снижает коэффициент сцепления колеса с рельсом.

Предлагаемый НПП «Фромир» контроль за работой гребнесмазывателей в пути следования с записью на магнитный носитель для своевременного выявления неисправности не устраняет их основной недостаток – попадание смазки на поверхность катания бандажей колесных пар, что ведет к боксованию. Этим вызвана «боязнь» локомотивных бригад тепловозов ТЭМ2 и ТЭМ18 использовать гребнесмазыватель на железнодорожных путях ООО «ЛУКОЙЛ-Транс».

Применение на тепловозах железнодорожного транспорта необщего пользования автоматической системы гребнесмазывания АГС-8 не дало ожидаемых результатов. Износ бандажей не уменьшился, а на тепловозах ТЭМ2 №№ 421, 972 и 975 увеличился на 25–40 %.

Чтобы обеспечить более устойчивую работу системы гребнесмазывания на тепловозах ТЭМ2 и ТЭМ18 на кафедре «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения было разработано реле пуска блока автоматического управления АГС-8 [13]. Реле пуска выполнено на основе реле времени типа ВЛ-50УЗ. Это дает существенное повышение качества смазывания гребней колесных пар, исключает работу системы гребнесмазывания во время стоянки локомотива и на нулевой позиции контроллера машиниста. Тем самым исключается боксование колесных пар тепловоза как во время трогания так и при движении локомотива с поездом [14].

Разработанный и установленный на всех тепловозах ООО «ЛУКОЙЛ-Транс» блок управления для автоматической системы гребнесмазывания бандажей колесных пар позволил устранить недоработки НПП «Фромир», исключить попадание смазки на поверхность катания бандажей колесных пар.

После установки блоков управления для АГС-8 на тепловозы в течение 2011–2012 гг. вновь были произведены замеры значений контролируемых параметров бандажей (износ гребня и нарастание величины проката) колесных пар от наработки тепловозов. Объем выборки составил 1320 значений.

Полученные зависимости, коэффициенты уравнений нелинейных регрессий и коэффициенты корреляции после применения АГС-8 с блоками управления УрГУПС приведены на рис. 3 и 4.

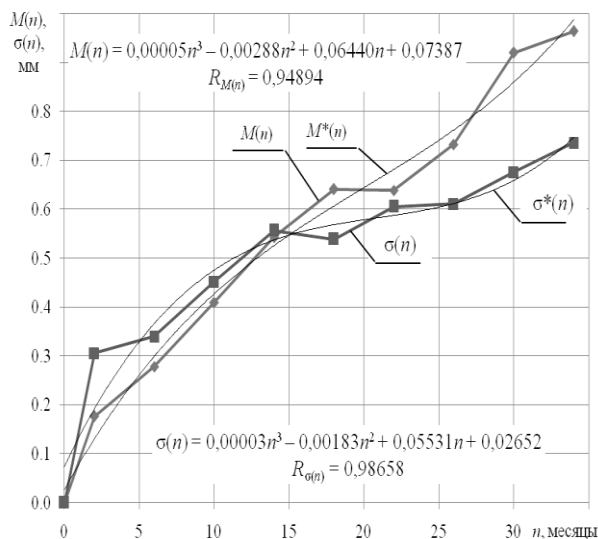


Рис. 3 – Зависимость среднего и среднеквадратического значения износа гребня бандажей колесных пар после применения АГС-8 с блоком управления

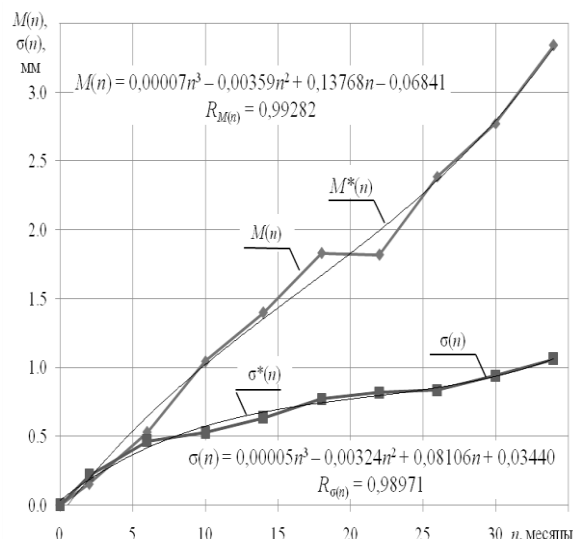


Рис. 4 – Зависимость среднего и среднеквадратического значения проката бандажей колесных пар после применения АГС-8 с блоком управления

95%-ный ресурс до обточки по предельному прокату бандажей колесных пар тепловозов ТЭМ2 и ТЭМ18 после использования АГС-8 с блоком управления УрГУПС составил 42,3 месяца, по предельному износу гребня – 55,5 месяца.

Таким образом можно сделать следующие выводы:

1) применение на тепловозах железнодорожного транспорта необщего пользования автоматической системы гребнесмазывания АГС-8 не эффективно. Износ бандажей не уменьшился, а увеличился на 25–40 %;

2) применение АГС-8 с дополнительной установкой разработанного в УрГУПС блоком управления ресурс бандажей до обточки по предельному прокату увеличился на 52 % (с 27,85 до 42,3 месяцев), по минимальной толщине гребня – на 31 % (с 42,4 до 55,5 месяцев). При этом количество обточек бандажей колесных пар сократилось на 25 %.

Список литературы

1. Буйносов А. П., Худояров Д. Л. Увеличение долговечности бандажей колесных пар электровозов в депо: Монография. – Саарбрюккен, Germany (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2012. – 202 с.
2. Буйносов А. П., Пышный И. М. Выбор профиля бандажей колесных пар тепловозов, исходя из критерия максимального ресурса колесных пар до обточки // Тяжелое машиностроение. 2011. № 4. С. 5–11.
3. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: Диссертация на соиск. уч. ст. докт. техн. наук. Екатеринбург, 2011. 455 с.
4. Буйносов А. П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
5. Буйносов А. П., Худояров Д. Л., Пышный И. М. Выбор профиля поверхности катания бандажей колесных пар промышленных тепловозов // Транспорт Урала. 2011. № 1(28). С. 64–69.
6. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар локомотивов: Монография. – Саарбрюккен, Germany (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2011. 284 с.
7. Буйносов А. П., Пышный И. М. Увеличение срока службы бандажей колесных пар промышленных тепловозов // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. 2011 № 3(103). С.152–156.
8. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Наноматериал увеличит срок службы бандажей колесных пар // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 266–274.
9. Буйносов А. П. Автоматизированный контроль параметров колесных пар тягового подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2010. № 7. С. 52–53.
10. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: Автореф. дис. докт. техн. наук. Екатеринбург, 2011. 44 с.
11. Буйносов А.П., Кузьмин К.А. Обработка бандажей составом НИОД // Локомотив. 1996. № 3. С. 25–26.
12. Буйносов А. П. Новые гребнесмазыватели системы «Тракмастер» // Локомотив. 1999. № 12. С. 12–14.
13. Буйносов А. П., Пышный И. М. Разработка блока управления системы гребнесмазывания тепловозов ТЭМ2 и ТЭМ18 // Научное обозрение. – 2012. – № 3. – С. 77–84.
14. Буйносов А. П., Пышный И. М. Разработан бортовой локомотивный гребнесмазыватель «твердого» типа // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – № 3. – С. 92–96.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., В.А. Тихонов

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, buinosov@mail.ru, va.tikhonov@yandex.ru.

ОПТИМИЗАЦИЯ ОСТАТОЧНОГО ПРОКАТА БАНДАЖЕЙ ПРИ ОБТОЧКЕ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ11

В статье изложены методика и результаты экспериментальных исследований выбора оптимального остаточного проката бандажей исходя из критерия максимального ресурса до обточки колесных пар электровозов ВЛ11 в ремонтном локомотивном депо Пермь.

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, износ, обточка, остаточный прокат, ресурс.

При взаимодействии поверхности катания бандажа и головки рельса основными процессами являются адгезионное и абразивное изнашивание, обусловленные наличием сил трения в механической системе «колесо–рельс» [1]. Параллельно в поверхностных слоях металла имеет место явление пластической деформации. Протекание процесса носит сжимающий характер, обусловленный действием нагрузки на колесную пару со стороны локомотива, и по своему действию аналогично наклепу. В результате повышается усталостная прочность бандажа, что позволяет снизить интенсивность изнашивания, вызванную появлением усталостных дефектов [2].

При дальнейшем взаимодействии поверхности катания бандажа с рельсом и наступлении периода интенсивного износа (старения) процессы изнашивания под действием сил трения приобретают доминирующий характер, и влияние параметра усталостной прочности на общую интенсивность износа уменьшается [3].

Обточка колесных пар без выкатки производится на техническом обслуживании ТО-4, для этих целей в локомотивных депо применяются колесно-фрезерные станки КЖ-20 различных модификаций. Используемые в настоящее время технологии обточки позволяют добиться точности резания профиля 0,2–0,5 мм при шероховатости обрабатываемой поверхности $Ra=12,5$ мкм [4].

При выполнении обточки происходит снятие поверхностного слоя бандажа режущим инструментом (фрезой). При этом имеет место процесс пластической деформации растягивающего характера, что приводит к увеличению концентрации дислокаций в кристаллической решетке и, соответственно, снижению предела выносливости бандажа [5]. При выполнении циклических нагрузок поверхности катания в этом случае значительно ускоряется развитие усталостных деформаций, приводящих к ускоренному износу. Следовательно, обточка бандажа с полным восстановлением профиля приводит к увеличению интенсивности изнашивания в период приработки, что сокращает пробег локомотива между ТО-4 [6].

Таким образом, проведение обточки бандажей колесных пар с восстановлением профиля при остаточном прокате позволяет снизить до минимума период приработки поверхностей колеса и рельса, а также снизить интенсивность изнашивания в периоде нормальной эксплуатации. Однако чрезмерно высокое значение остаточного проката негативно влияет на процесс изнашивания, уменьшая ресурс бандажа [7].

В рамках исследования в ремонтном локомотивном депо Пермь авторами проводились замеры износа гребня и нарастания проката бандажей колесных пар электровозов ВЛ11, прошедших обточку по профилю ДМетИ ЛР [1] с толщиной гребня 30 мм при толщине бандажа 90 мм при проведении плановых технических осмотров и текущих ремонтов в

период с декабря 2010 г. по май 2011 г. Все 86 секций электровозов серии ВЛ11 были условно разделены на четыре группы. В первую вошли 54 секции, бандажи которых не имеют остаточного проката. Для второй (11 секций), третьей (14 секций) и четвертой (7 секций) группы при градации величины остаточного проката после обточки 0,5, 1,0 и 2,0 мм соответственно.

Для каждой группы замеров контролируемых параметров (нарастание проката и снижение толщины гребня) были построены эмпирические зависимости $M_y(L)$ и $\sigma_y(L)$, которые впоследствии были аппроксимированы полиномиальными функциями согласно приведенной методики [8] вида:

$$y(L) = \sum_{i=0}^m (A_i \cdot L^i). \quad (1)$$

где A_i – коэффициенты полиномов; m – порядок полинома.

Преимуществами методики [8] является:

- определение в качестве контролируемых параметров величины нарастания проката (разности между замером и величиной проката после обточки) и износа гребня (разницы между текущим замером толщины гребня и толщиной, оставляемой при обточке) вместо соответственно значений проката и толщины гребня. вместо толщины гребня;

- определение 95%-го ресурса бандажей ввиду использования при проведении замеров бандажей измерительного прибора КИП-03 [9], имеющего относительную погрешность измерения 2–5 %;

- более точное прогнозирование процесса изнашивания по причине использования полиномиальной аппроксимирующей функции для среднего значения контролируемых параметров.

Кроме этого, для каждой зависимости был определены коэффициенты корреляции исходной эмпирической и полученной аппроксимированной зависимостей, а также величины остаточной дисперсии, которые для выборки объемом $(n + 1)$ определяется как [10]:

$$S_0^2 = \frac{1}{n - m} \sum_{i=1}^n [Y^{**}(L_i) - Y_i]^2; \quad (2)$$

где $Y^{**}(L_i)$ – значения аппроксимированной функции параметра от величин пробега, заданных исходной выборкой; Y_i – заданные исходной выборкой детерминированные значения параметра.

Значения коэффициентов корреляции аппроксимированных зависимостей близки к единице (0,913–0,998), что свидетельствует о высокой точности аппроксимации.

На основании выполненных расчетов уравнений и коэффициентов полиномиальной регрессии построены зависимости среднего значения и среднеквадратического отклонения контролируемых параметров бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 от пробега (рис. 1 и 2). На рисунках зависимости 1, 2, 3, 4 – для групп электровозов с остаточным прокатом 0; 0,5; 1,0; 2,0 мм соответственно.

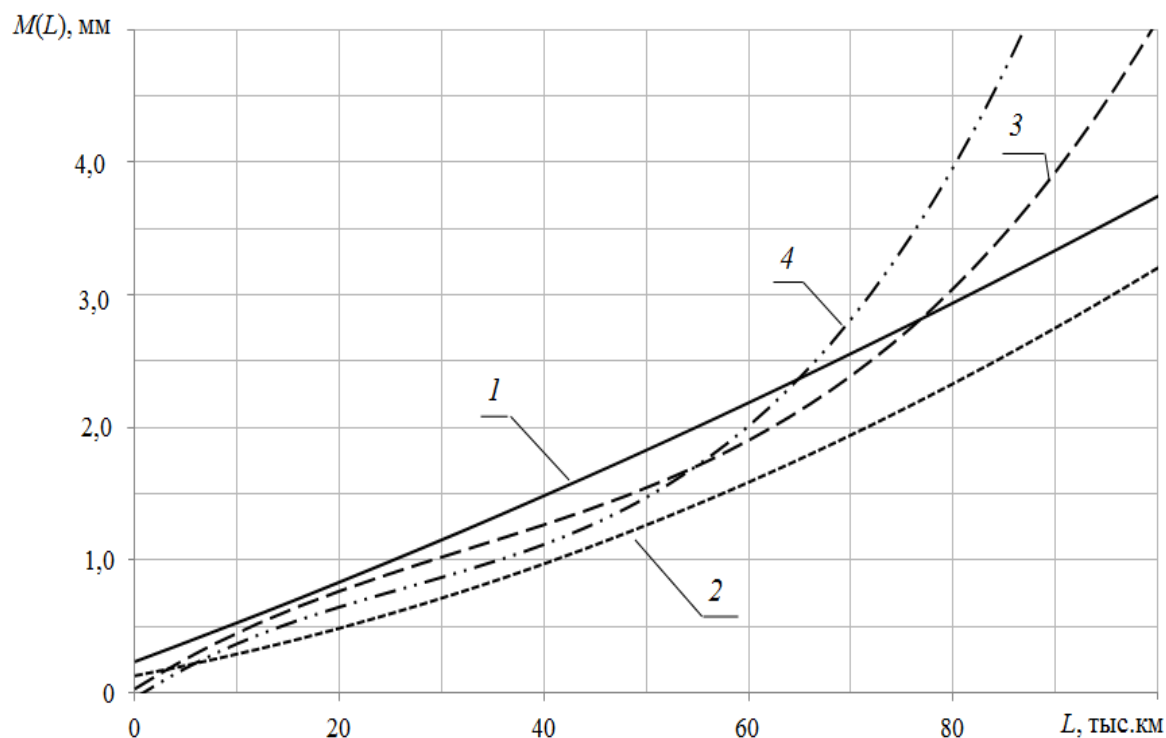


Рис. 1 – Зависимости среднего значения износа гребня бандажей колесных пар от пробега для 4-х групп электровозов ВЛ11

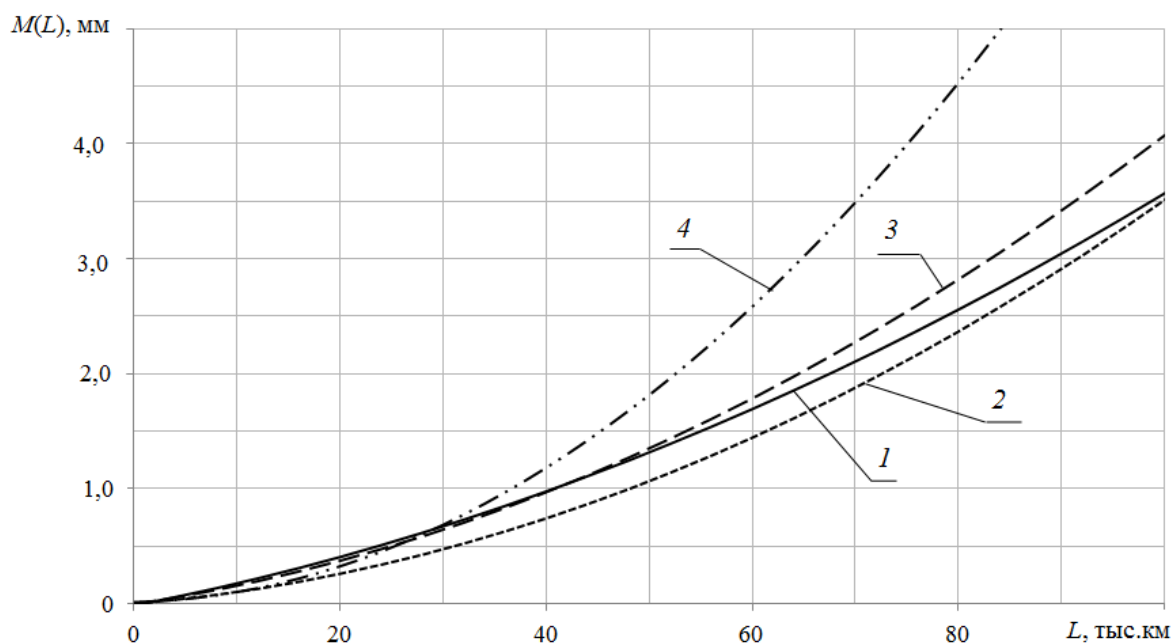


Рис. 2 – Зависимости нарастания проката бандажей колесных пар от пробега для 4-х групп электровозов ВЛ11

Выход контролируемых параметров за установленный допуск классифицируется как отказ работы бандажа, предельный износ [11]. Таким образом, с увеличением пробега L возрастает вероятность отказа P , равная:

$$P(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{Y_{\text{доп.}}}^{\sum_{i=0}^m (A_i \cdot L^i) + 3 \cdot \sum_{i=0}^n (B_i \cdot L^i)} \frac{1}{\sum_{i=0}^n (B_i \cdot L^i)} e^{-\frac{(Y - \sum_{i=0}^m (A_i \cdot L^i))^2}{2 \left[\sum_{i=0}^n (B_i \cdot L^i) \right]^2}} dy. \quad (3)$$

Кроме того, были построены зависимости вероятности отказа бандажа от пробега $P(L)$ [12]. Графически эти зависимости показаны на рис. 3.

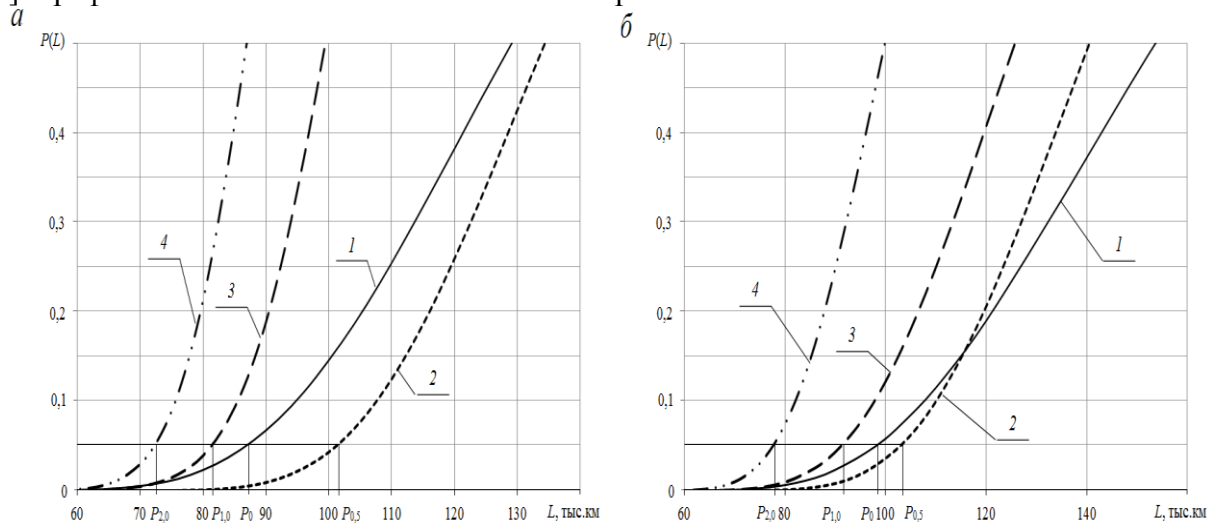


Рис. 3 – Зависимости вероятности отказа бандажей от пробега по минимальной толщине гребня (а) и предельного проката (б) для 4-х групп электровозов ВЛ11

Был определен 95%-ный ресурс колесных пар, то есть такой пробег, которому соответствует вероятность безотказной работы или вероятность отказа $P = 0,05$ [13]. Результаты расчета приведены в таблице, а графически – на рис. 4.

Таблица – Ресурс бандажей до обточки колесных пар электровозов ВЛ11 при различном остаточном прокате

Величина остаточного проката, мм	95%-ный ресурс бандажей, тыс. км	
	обточка по предельному прокату	обточка по минимальной толщине гребня
0	98,3	87,1
0,5	103,1	101,4
1,0	91,4	81,4
2,0	77,6	72,4

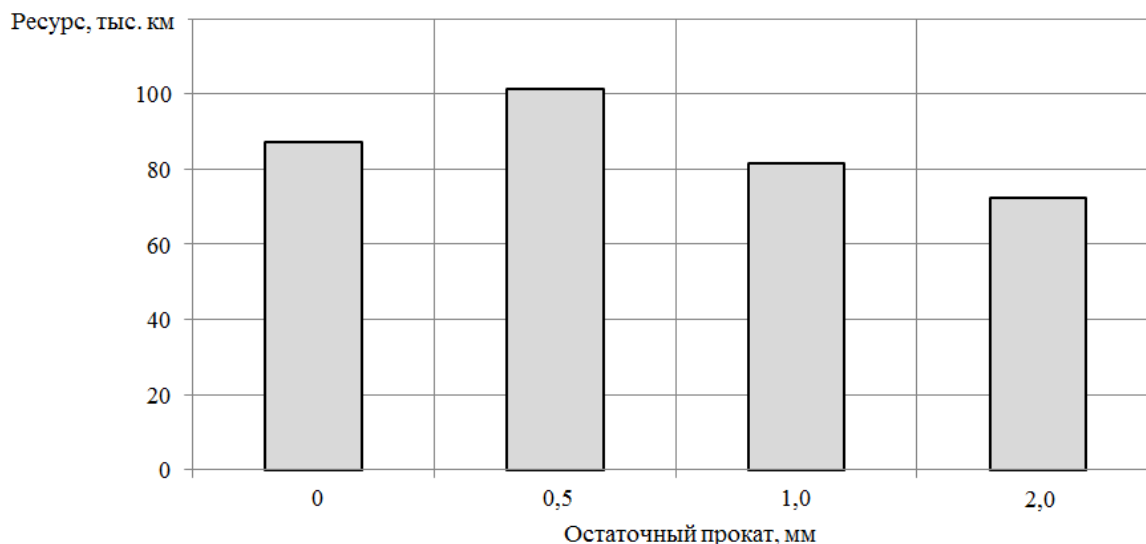


Рис. 4 – Зависимость ресурса бандажей до обточки колесных пар электровозов ВЛ11 от величины остаточного проката

Как следует из таблицы и рис. 4, наибольший ресурс бандажей обеспечивается при наличии после обточки остаточного проката на поверхности катания глубиной 0,5 мм, при этом прогнозируемый ресурс возрастает с 87,1 до 101,4 тыс. км, то есть на 16,4 %. Кроме этого, при остаточном прокате 0,5 мм наблюдается минимальная разница между ресурсом бандажей по предельному прокату и минимальной толщине гребня. Это обеспечивает наиболее эффективное использование бандажной стали при эксплуатации и минимизацию металла, срезаемого при проведении обточки [14]. Кроме того, при остаточном прокате 2,0 мм ресурс уменьшается с 87,1 до 72,4 тыс. км. Поэтому оптимальная величина остаточного проката составляет 0,5 мм.

Список литературы

1. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: дис. докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2011. – 455 с.
2. Буйносов А. П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. – 24 с.
3. Буйносов А.П., Наговицын В.С. Новый смазывающий состав повышает надежность // Локомотив. – 1998. – № 7. – С. 36-38.
4. Буйносов А. П., Тихонов В. А. Новый гребнесмазыватель твердого типа // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 10. – С. 54-55.
5. Буйносов А. П., Тихонов В. А. Наноматериал увеличит срок службы бандажей колесных пар // Научное обозрение. – 2011. – № 5. – С. 266-274.
6. Буйносов А. П. Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения // Железнодорожный транспорт. – 1994. – № 10. – С. 39-41.
7. Буйносов А. П. Выбор оптимального остаточного проката бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Транспорт Урала. – 2010. – № 2(25). – С. 45-47.
8. Буйносов А. П., Тихонов В. А. Выбор профиля поверхности катания бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 2. – С. 46-60.
9. Буйносов А. П. Разработка и аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Транспорт Урала. – 2010. – № 3 (26). – С. 64-68.
10. Буйносов А. П., Стаценко К. А. Повышение ресурса колесных пар электровозов технологическими методами: Монография. – Саарбрюккен, Germany (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2012. – 215 с.
11. Буйносов А. П., Тихонов В. А. Результаты применения триботехнического состава для уменьшения износа гребней колесных пар электроподвижного состава // Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. – 2011. – № 2(62). – С. 114-125.
12. Буйносов А. П., Пышный И. М., Тихонов В. А. Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – Т. 60. – № 1. – С. 85-91.
13. Балдин В. Л., Буйносов А. П., Тихонов В. А. Повышение долговечности колесных пар за счет упрочнения гребней бандажей локомотивов // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 5(29). – С. 57-60.
14. Буйносов А. П. Твердость колеса и рельса, их износ // Локомотив. – 1996. – № 3. – С. 31-32.

05.17.01

¹Р.Н. Габдрахманов, ²А.А. Кетов д.т.н., ¹В.С. Корзанов к.х.н.

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет,
химический факультет, кафедра неорганической химии,
Пермь, KOR494@yandex.ru

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
автодорожный факультет, кафедра охраны окружающей среды

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ХЛОРАТА, БРОМАТА И ЙОДАТА КАЛИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕРХЛОРАТА, ПЕРБРОМАТА И ПЕРИОДАТА КАЛИЯ

Доказано, что технология получения перхлората, пербромата и периодата калия не может быть основана на термическом диспропорционировании соответствующих солей NaI (+5). Представлены результаты термического поведения хлората, бромата и йодата калия, полученные при помощи дифференциальной сканирующей калориметрии комбинированной с термогравиметрическим анализом. Исходя из полученных термограмм, предложена общая схема термического разложения данных солей.

Ключевые слова: хлорат, бромат, йодат калия; термическое разложение, термическая диссоциация, технология.

Использование в разных качествах кислородсодержащих солей, образованных галогенами, от окислителей твёрдых ракетных топлив до компонентов фармацевтических препаратов и добавок в пищевые продукты, обосновывает необходимость глубокого изучения их свойств и поиска технологий простого и эффективного производства.

Если технологии хлората, бромата и йодата калия позволяют производить эти соли с высокими выходами и скоростями, то несколько иначе обстоит дело с перхлоратом, перброматом и перйодатом калия. Так хлорат калия может быть окислен до перхлората электрохимически с высоким выходом. Но освоению данного метода в промышленных условиях препятствуют невысокие скорости электролиза, наличие побочных токсичных компонентов и низкие растворимости перхлората и хлората калия.

Термическое разложение хлората калия с целью получения при диспропорционировании соли перхлората и хлорида калия представляется более высокопроизводительным, но осложнено нестабильностью процесса и наличием значительного количества побочного продукта. Однако данные недостатки могут быть частично устранены при более глубоком изучении процесса термической деструкции хлората калия. Такое исследование открывает дополнительные перспективы получения пербромата и периодата калия термическим разложением.

Хлораты, броматы и йодаты, содержащие галогены в степени окисления +5 в большинстве реакций являются окислителями [1]. С одной стороны, в водных растворах, свойства которых изучены достаточно хорошо, они сохраняют склонность к проявлению окислительных свойств, как в кислой, так и в щелочной средах, о чем свидетельствуют значения стандартных электродных потенциалов (табл). С другой стороны, известны и давно используются окислительные свойства этих солей в разных областях химии, а также при производстве пиротехнических составов, смесевых взрывчатых веществ и твердых ракетных топлив.

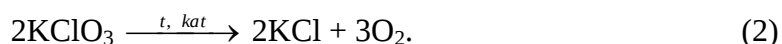
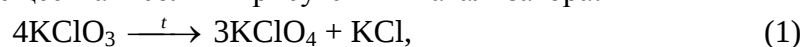
Однако не существует единого мнения о термическом поведении этих солей, находящихся в чистом виде. Например, известно, что результатом воздействия высоких температур на данные соли является диссоциация на соответствующий галогенид и кислород [2], но для

описания процессов, протекающих с начала нагревания до момента полного разложения вещества в литературных источниках предлагаются различные схемы.

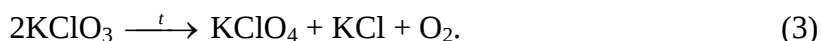
Таблица – Стандартные электродные потенциалы полуреакций восстановления хлорат-, бромат- и йодат-ионов в кислой и щелочной средах [2,3]

№	Полуреакция	Среда	φ° , В
1	$\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	кислая	1,451
2	$\text{ClO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^- + 6\text{OH}^-$	щелочная	0,620
3	$\text{BrO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow \text{Br}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	кислая	1,440
4	$\text{BrO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{e}^- \rightarrow \text{Br}^- + 6\text{OH}^-$	щелочная	0,612
5	$\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow \text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	кислая	1,081
6	$\text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{e}^- \rightarrow \text{I}^- + 6\text{OH}^-$	щелочная	0,253

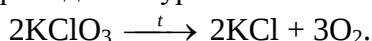
Для хлората калия общепринятыми считаются две схемы термической диссоциации [4,5], отражающие разложение чистого вещества и соли в присутствии катализатора:



Однако есть данные [6], что разложение чистого хлората калия при температуре около 400°C идет по схеме



При повышении температуры разложение хлората ускоряется, образующийся перхлорат так же подвергается распаду, и в диапазоне температур 550 – 600°C термическая диссоциация хлората полностью проходит по уравнению

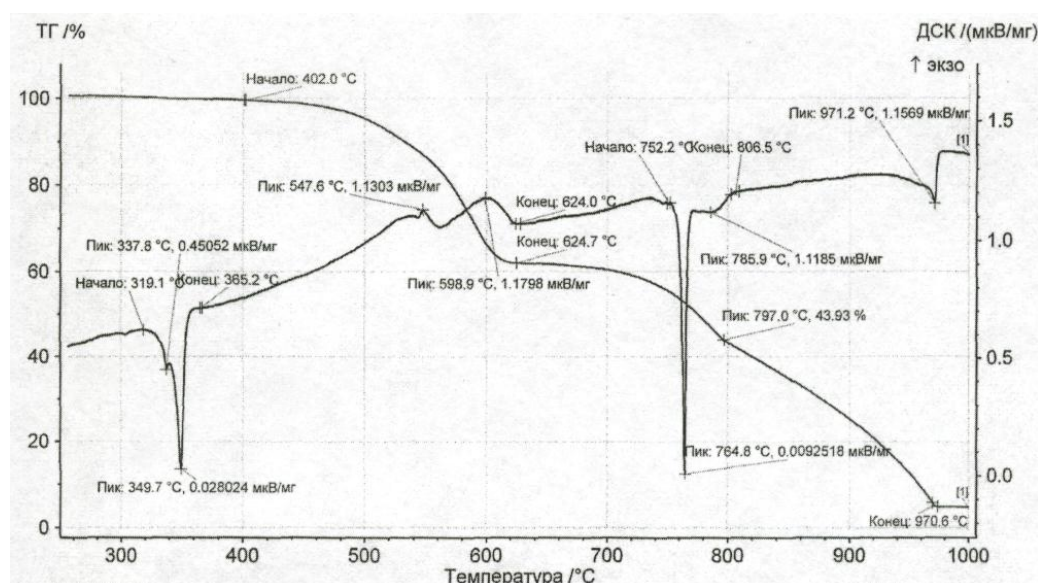


Видно, что схема (3) является суммарной от (1) и (2), а предлагаемая информация вызывает ряд вопросов о зависимости характера разложения от температуры.

Термическому поведению броматов и йодатов в литературе уделяется значительно меньше внимания, что создает широкое поле для возникновения вопросов и реализации экспериментального ответа на них.

С целью выяснения характера термического разложения кислородсодержащих солей галогенов (+5) было проведено исследование термической диссоциации солей калия – хлората, бромата и йодата с использованием прибора синхронного термического анализа STA 449 F1, производства фирмы NETZSCH, позволяющего проводить термическое исследование образца с одновременной регистрацией термогравиметрических и калориметрических характеристик. Исследование проводилось в атмосфере азота, с использованием тиглей выполненных из оксида алюминия и сплава платины с родием. Задаваемая скорость нагревания исследуемых образцов составляла 5°/мин. Квалификация чистоты используемых веществ: KClO_3 – «Ч» (перекристаллизован), KBrO_3 – «ХЧ», KIO_3 – «ХЧ», KCl – «ХЧ», KClO_4 – «Ч», KBr – «ЧДА», KI – «ХЧ».

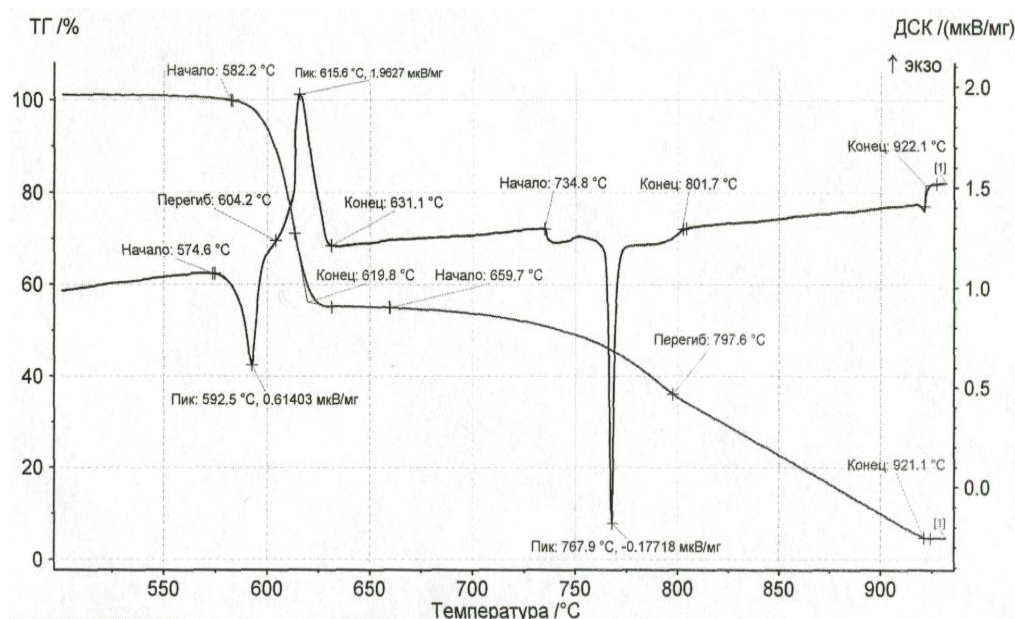
Результаты термогравиметрического и калориметрического исследования представлены в виде термограмм. На рис. 1. приведена термограмма, отражающая поведение хлората калия при нагревании.

Рис. 1 – Термограмма KClO_3

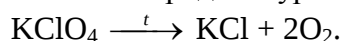
На кривой дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) первый тепловой эффект наблюдается в интервале температур 319,1 – 365,2°C с экстремумом при температуре 349,7°C. Пик обладает эндотермическим характером и соответствует плавлению хлората калия. Первые признаки разложения исследуемого образца на термогравиметрической кривой (ТГ) появляются при 402,0°C. Дальнейший ход ТГ-кривой до температуры 624,7°C, отражает потерю массы образца на 38 – 39 %, которой на ДСК-кривой соответствует два экзотермических пика при 547,6 и 598,9°C. Примечательно то, что окончание экзотермического хода ДСК-кривой на данном участке при 624,0°C, практически совпало со стабилизацией значений массы на ТГ-кривой при 624,7°C.

Расчет показывает, что зарегистрированное снижение массы на первом этапе разложения соответствует полной потере кислорода, теоретическая массовая доля которого составляет 39,18 % от массы соли. При дешифровке термограммы возникло предположение, что на рассматриваемом участке ДСК-кривой отражаются не два последовательных экзотермических эффекта, а конкурирующие экзотермический и эндотермический эффекты, первый из которых вызван разложением соли, а второй – удалением освобождающегося кислорода. По литературным данным разложение хлората калия, независимо от хода реакции протекает с выделением теплоты [4]. Кроме того, на рассматриваемом этапе термической диссоциации исследуемой соли можно предположить образование перхлората калия, и наложение эндотермического эффекта его плавления на экзотермический разложения в течение короткого промежутка времени. Для проверки этих предположений была получена термограмма перхлората калия (рис. 2).

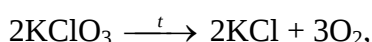
На ДСК-кривой термограммы перхлората калия видно, что эндотермический эффект его плавления начинается при 574,6°C и достигает экстремума при 592,5°C. Приблизительно в это же время (при 582,2°C) на ТГ-кривой регистрируется падение массы образца. Далее наблюдается плавный переход эндотермического вида ДСК-кривой в экзотермический, соответствующий разложению соли и достигающий максимума при 615,6°C.

Рис. 2 – Термограмма KClO_4

Возвращение ДСК-кривой из экзотермической области при $631,1^\circ\text{C}$ совпадает с прекращением потери массы образца, составляющим около 46 %. Массовая доля кислорода в перхлорате калия составляет 46,21 %, следовательно, и в этом случае, уже на первом этапе разложения происходит полное удаление кислорода по уравнению



Сравнение термограмм хлората и перхлората показывает, что явного совпадения вида ДСК-кривых, при похожем характере первой стадии разложения, нет. Кроме того, распад хлората начинается раньше, чем перхлората, но в обоих случаях разложение завершается приблизительно при одних и тех же температурах. Поэтому, предположение об образовании перхлората, в процессе разложения хлората калия, и влиянии тепловых эффектов, сопровождающих превращения перхлората на ход ДСК-кривой термограммы хлората исключать нельзя. И все же, быстротечность такого влияния позволяет считать, что реакция термической диссоциации хлората калия в интервале температур $402,0 - 624,0^\circ\text{C}$ преимущественно протекает по уравнению



что соответствует данным литературного источника [6].

Дальнейший вид кривых, после стадий разложения, на термограммах хлората и перхлората очень похож, до совпадения в деталях. Это позволяет сделать заключение о том, что характер термограмм определяется поведением одного и того же продукта термического разложения солей – хлорида калия. На ТГ-кривых обеих термограмм регистрируется плавное снижение массы образцов выше 660°C . При расплавлении хлорида калия, которому на ДСК-кривых термограмм соответствуют эндотермические экстремумы при $764,8$ и $767,9^\circ\text{C}$ скорость потери массы закономерно возрастает.

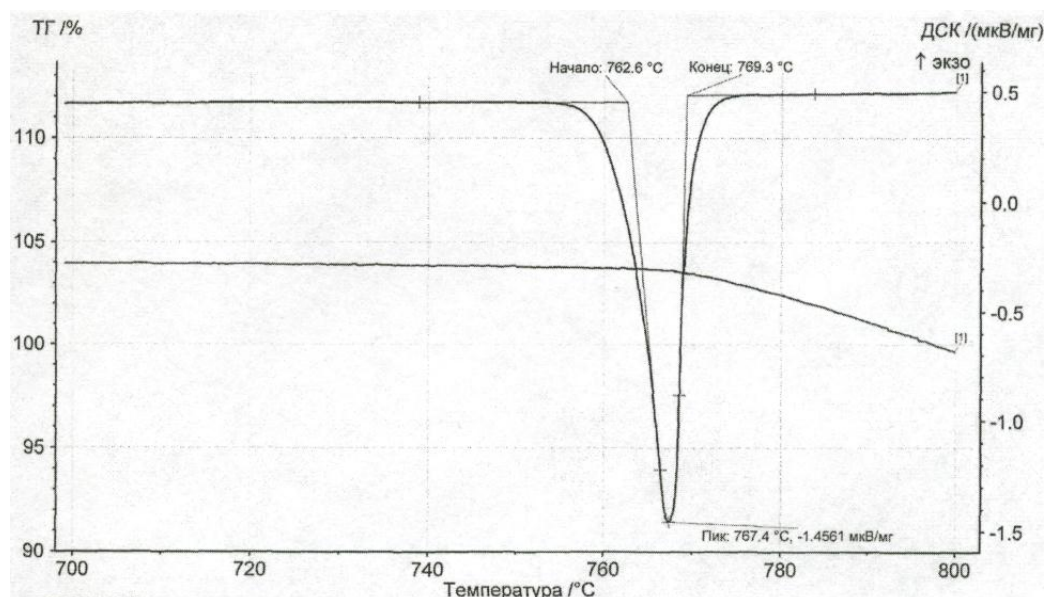


Рис. 3 – Термограмма KCl

Для качественной оценки влияния расплавленного состояния хлорида калия на скорость потери массы, за счет его испарения, получена термограмма хлорида калия (рис. 3). Она показывает, что достижение расплавленного состояния приводит к существенному возрастанию скорости испарения соли и, как следствие, к более стремительному падению массы образца, которое отчетливо регистрируется на ТГ-кривой. Следствием испарения хлорида калия является практически полная потеря массы образцами (рис. 1,2).

Сравнении участков ДСК-кривых термограмм хлората, перхлората и хлорида калия (рис. 1,2,3), отражающих плавление хлорида калия при совпадении температур экстремумов (764,8, 767,9 и 767,4°C соответственно), указывает на явное отличие форм этих экстремумов. Так, экстремумы, отвечающие плавлению хлорида калия на термограммах хлората и перхлората в своих основаниях содержат накладывающийся, растянутый по времени эндотермический эффект, природа которого не понятна. Экстремум на термограмме хлорида калия имеет правильную форму и не содержит признаков постороннего эндотермического эффекта. Кроме того, окончание этих накладывающихся эндотермических эффектов совпадают с точками перегиба на ТГ-кривых (при 797,0 и 797,6°C соответственно), после которых происходит плавное, в случае перхлората, линейное убывание массы. Объяснение этих явлений требует дополнительных исследований.

Конечные этапы термограмм хлората и перхлората калия (рис.1,2) представлены ложными экстремумами на ДСК-кривых и участками стабилизации массы на ТГ-кривых. Видно, что ложные экстремумы совпадают с выходом на участки стабилизации массы, следовательно, они соответствуют окончанию испарения хлорида калия и возвращению ДСК-кривых из эндотермической области на базовую линию. Об окончательном испарении хлорида калия свидетельствует практически полная потеря массы образца.

Как было упомянуто ранее, в литературных источниках отсутствует подробная информация об отклике на термическое воздействие броматов и йодатов, а в справочной литературе приводятся лишь температуры их разложения [2]. В качестве объектов исследования для выяснения термического поведения этих солей были выбраны бромат и йодат калия. На термограмме бромата калия (рис. 4) видно, что термическая диссоциация данной соли охватывает интервал температур от 390 до 458°C. Падение массы, регистрируемое ТГ-кривой в этом интервале температур приблизительно 30 %. Рассчитанная убыль массы, связываемая с потерей кислорода, составляет 28,74 %. Это свидетельствует о полном переходе бромата в бромид. Соответствующая данному участку термограммы ДСК-кривая отображает последовательный переход эндотермического пика плавления бромата калия с экстремумом при 411,3°C в экзотермический пик разложения данной соли с

максимумом при 435,6°C. Даже приблизительное сравнение площадей пиков позволяет сделать заключение об экзотермичности суммарного теплового эффекта реакции термической диссоциации бромата калия. Возвращение ДСК-кривой на базовую линию при 458,1°C совпадает с выходом ТГ-кривой на участок стабильных значений массы.

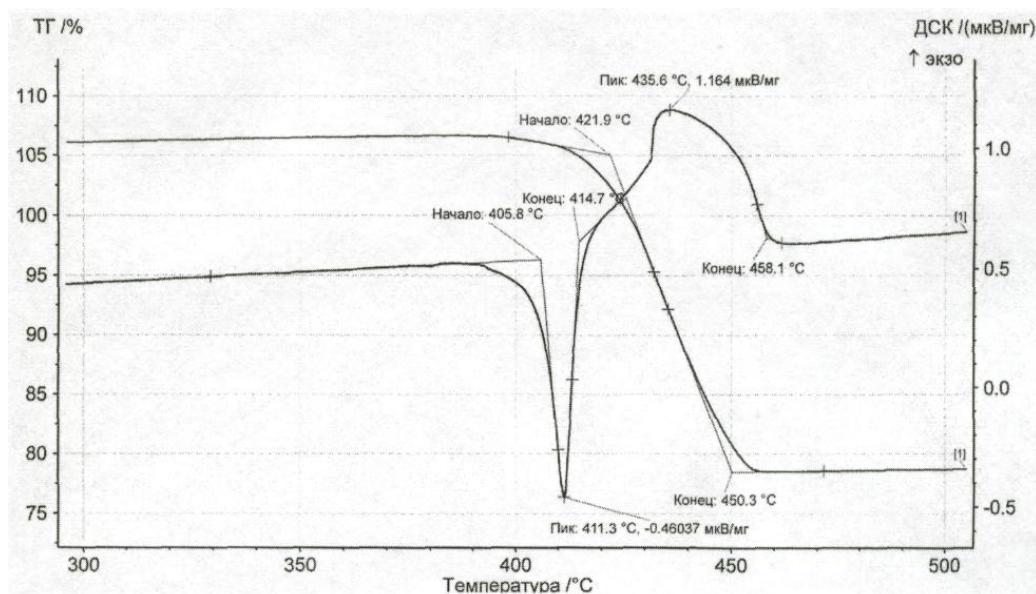
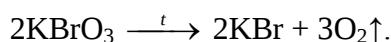


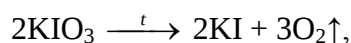
Рис. 4–Термограмма KBrO_3

Полученная термограмма позволяет сделать заключение о том, что термическому разложению бромата калия отвечает схема



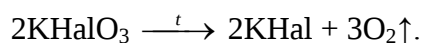
Не смотря на то, что дальнейшая картина термического воздействия на образовавшийся бромид калия очевидна, была получена термограмма этой соли, которая показала, что достижение расплавленного состояния (экстремум ДСК-кривой при 730,6°C), как и в случае хлорида калия, приводит к увеличению скорости испарения соли.

Термограмма йодата калия, при наличии общих элементов с термограммой бромата, имеет и ряд отличий. Так температуры, ограничивающие участок потери массы (530 – 571°C) значительно выше, чем у бромата, что подчеркивает большую термическую устойчивость йодата. Кроме того, ДСК-кривая, с одной стороны, регистрирует эндотермический эффект процесса плавления соли с экстремумом при 534,6°, с другой стороны, возвращаясь к базовой линии проходит по эндотермической впадине, очевидно, являющейся следствием удаления кислорода, а не обнаруживает экзотермический эффект, сопровождающий разложение соли. Это приводит к заключению об эндотермичности реакции разложения йодата калия. Выход ДСК-кривой на базовую линию (при 574,3°C), как и в случае бромата, практически совпадает с участком стабилизации значений массы на ТГ-кривой (при 571,1°C). Убыль массы образца, определяемая по ТГ-кривой, составляет 22 %, что согласуется с рассчитанной, за счет выхода кислорода, теоретической потерей массы – 22,43 %. Следовательно, реакция термического разложения йодата калия идет по схеме



что, на ряду с другими методами [7], можно использовать для получения йодида калия, являющегося важным компонентом пищевых продуктов и фармацевтических препаратов.

Таким образом, термическая диссоциация хлората, бромата и йодата калия соответствует общей схеме



Как и в предыдущем случае, для оценки роста скорости испарения йодида калия была получена его термограмма. Она показала, что достижение расплавления соли сопровождается более значительным снижением массы образца, чем регистрируемые на

термограммах хлорида и бромида. Кроме того, при сравнении термограмм галогенидов калия на себя обращает внимание тот факт, что во всех случаях перегиб ТГ-кривой, характеризующий возрастание скорости потери массы, совпадает с экстремумом на ДСК-кривой. Это наталкивает на вывод о том, что экстремум ДСК-кривой достигается при температуре полного расплавления соли.

Проведенное исследование термического поведения хлората, бромата и йодата калия показывают, что

1) независимо от calorиметрических характеристик этих солей, их термическая диссоциация выражается общей схемой;

2) термический эффект разложения хлората и бромата в целом является экзотермическим, а йодата калия – эндотермическим;

3) продолжение термического воздействия на исследуемый образец приводит к испарению продукта термического разложения (соответствующего галогенида);

4) достижение расплавленного состояния галогенида сопровождается увеличением скорости его испарения;

5) температура полного расплавления соли совпадает с температурой эндотермического экстремума, обусловленного процессом плавления;

6) термическая диссоциация хлората, бромата и йодата калия не идет через перхлорат, пербромат и перйодата калия и не может быть положена в основу технологии получения соответствующих солей.

Список литературы

1. Химия. Большой энциклопедический словарь / *гл. ред. И.Л.Кнунянц*. 2-е изд. М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. С. 231, 233, 235.
2. *Лидин Р.А., Андреева Л.Л., Молочко В.А.* Константы неорганических веществ: справочник. М.: Дрофа, 2006. С.119 –121, 556, 558, 563.
3. *Волков А.И., Жарский И.М.* Большой химический справочник. Мн.: Современная школа, 2005. С. 496–498.
4. *Некрасов Б.В.* Основы общей химии. СПб.: Лань, 2003. Т. 1. С. 253.
5. *Ахметов Н.С.* Общая и неорганическая химия. М.: Высш. шк., 2005. С. 323, 335–336.
6. Краткая химическая энциклопедия. *Под ред. И.Л. Кнунянц и др.* М.: Советская энциклопедия, 1967. Т. 5. С. 714.
7. *Карякин Ю.В., Ангелов И.И.* Чистые химические вещества. М.: Химия, 1974. С. 128–129.

05.07.02

А.М. Гирфанов к.т.н., Д.В. Неделько к.т.н.

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ,
кафедра аэрогидродинамики,
Казань, ndv7350@mail.ru

ИММИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОЛОЗКОВОГО ШАССИ ВЕРТОЛЕТА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Разработан алгоритм построения нейронной сети для формирования имитационной модели ползкового шасси применительно к решению задачи расчета управляемой посадки вертолета. Исследовано влияние топологии нейронной сети на точность моделирования реакций ползкового шасси при посадке на твердую гладкую поверхность. Показана практическая применимость и достоверность разработанной имитационной модели.

Ключевые слова: *Вертолет, ползковое шасси, имитационное моделирование, нейронная сеть.*

В настоящее время многими отечественными и зарубежными специалистами проводятся исследования в области анализа нагружения конструкции ползкового шасси (см. рис. 1 а) и самого вертолета в процессе выполнения им вынужденной авторотационной посадки. Примером таких исследований являются работы [1, 2]. При этом во всех перечисленных работах выполняется моделирование конструкции ползкового шасси с применением метода конечных элементов (МКЭ). Общим недостатком таких конечно-элементных моделей является существенная длительность расчета, которая в зависимости от степени дискретизации модели может варьироваться от нескольких часов до нескольких суток. Согласно требованию норм АП-29, при поглощении энергии посадочного удара допускается образование пластических деформаций материала рессор шасси. Данное обстоятельство приводит к необходимости учета физической нелинейности деформирования материала в расчетной модели. Кроме того, рессоры шасси при поглощении энергии посадочного удара работают в условиях геометрической нелинейности при достаточно больших перемещениях. Перечисленные факторы существенно увеличивают время расчета для конечно-элементной модели. В работе [3], разработана специализированная математическая модель трубчатого ползкового шасси, также учитывающая весь комплекс перечисленных выше факторов, но построенная на основе теории расчета непрямолнейных до деформирования балок. С целью верификации расчетной модели трубчатого шасси выполнен конечно-элементный расчет использованием лицензионных программных комплексов фирмы *MSC.Software* - препроцессора *MSC.Patran 2008r1* и расчетного ядра *MSC.Marc* [3]. Для расчета выбран случай, когда на каждую из точек $B_1, \dots, B_4$ действуют одинаковые вертикальные консервативные силы $P_{y1}, \dots, P_{y4}$, (см. рис. 1 б). Результаты верификации в виде диаграмм обжатия рессор и зависимостей величин изгибных напряжений от обобщенного коэффициента нагрузки k_y приведены на рис. 1 в и 1 г.

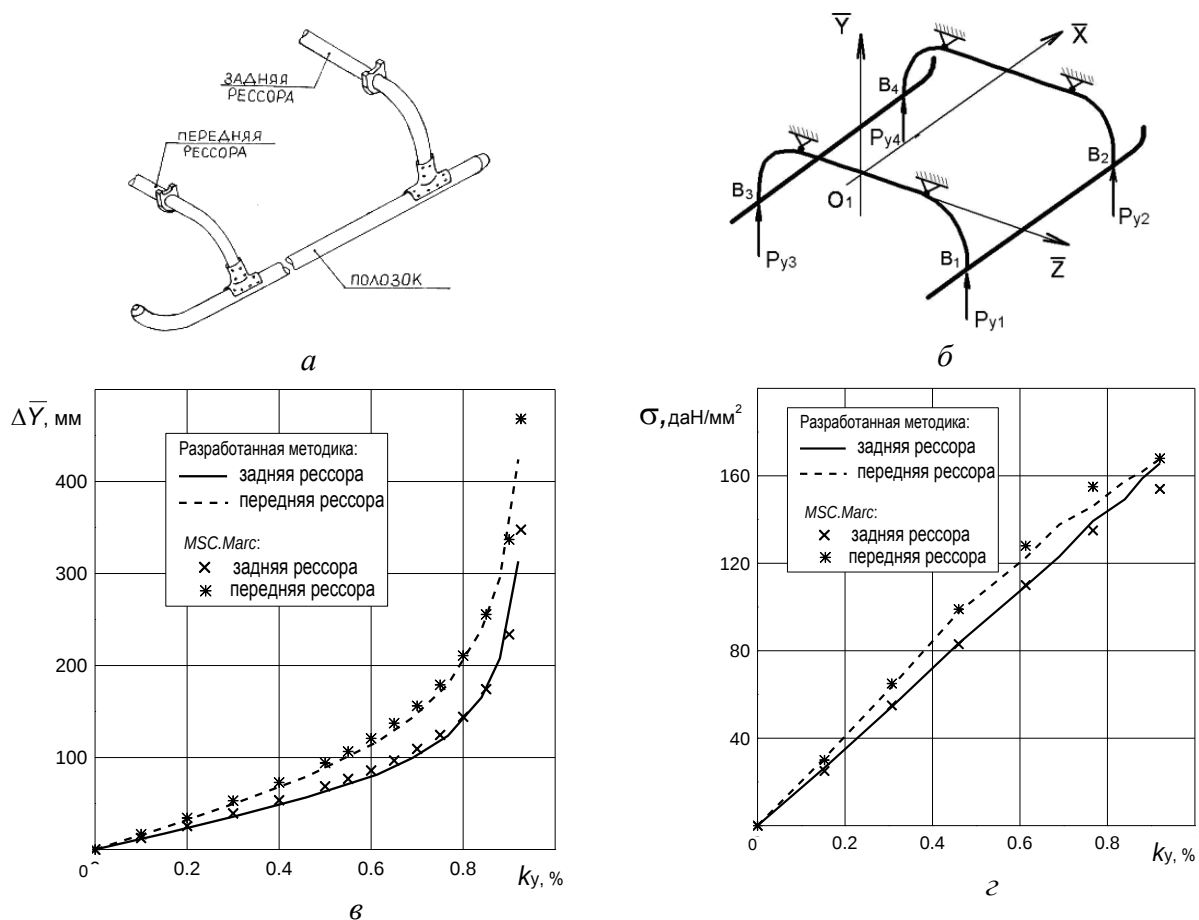


Рис. 1

По данным работы [4], компьютерное время, затраченное на статический и квазистатический расчеты по разработанной модели трубчатого шасси равно 40 с и 564 с соответственно (использовался компьютер с двухъядерным процессором, тактовой частотой 2666 МГц и оперативной памятью 2 Гб). Для проведения упомянутого выше статического расчета по МКЭ (модель на базе *MSC.Marc*) - потребовалось 742 с компьютерного времени, что в 18,6 раза больше, чем при использовании специализированной модели трубчатого шасси. Значительный выигрыш во времени получен за счет того, что была использована балочная модель, учитывающая все необходимые специфические факторы деформирования конструкции ползкового шасси. Однако достигнутый выигрыш по времени расчета оказывается недостаточен в случае применения разработанной специализированной модели шасси для решения задачи численного моделирования динамики управляемой посадки вертолета. В этом случае требуется выполнение многопараметрического расчетного анализа, учитывающего различные темпы перемещения органов управления вертолета (по общему шагу и по продольному и поперечному управлению циклическим шагом лопастей несущего винта). Поэтому требуется дальнейшее сокращение времени расчета нагружения шасси. Данная задача решена с помощью алгоритмов имитационного моделирования. В данной работе для решения задачи имитации реакций, создаваемых ползковым шасси вертолета, применен многослойный перцептрон, нейроны в котором расположены слоями и имеют однонаправленные связи между ними. В качестве активационной функции нейронов выбран сигмоид. Подстройка весовых коэффициентов производится методом обратного распространения ошибки. При правильном построении связей и подборе весовых коэффициентов синапсов нейронная сеть может сколь угодно точно вычислять любую непрерывную функцию от своих входов [5].

В качестве базовой расчетной модели для исследования выбрана динамическая модель посадки вертолета на ползковом шасси, основанная на методе [6] и дополненная моделью

несущего винта, изложенная в работе [7]. Схематическая модель посадки вертолета приведена на рис. 2, где обозначены общеизвестные координатные оси, посадочная поверхность (ВПП) и комплекс сил на втулке несущего винта: T_{HB} – сила тяги несущего винта; S_{HB} – боковая сила несущего винта; H_{HB} – продольная сила несущего винта. В общем случае ко втулке несущего винта могут быть также приложены продольный $M_{прод}$ и поперечный $M_{поп}$ сосредоточенные моменты.

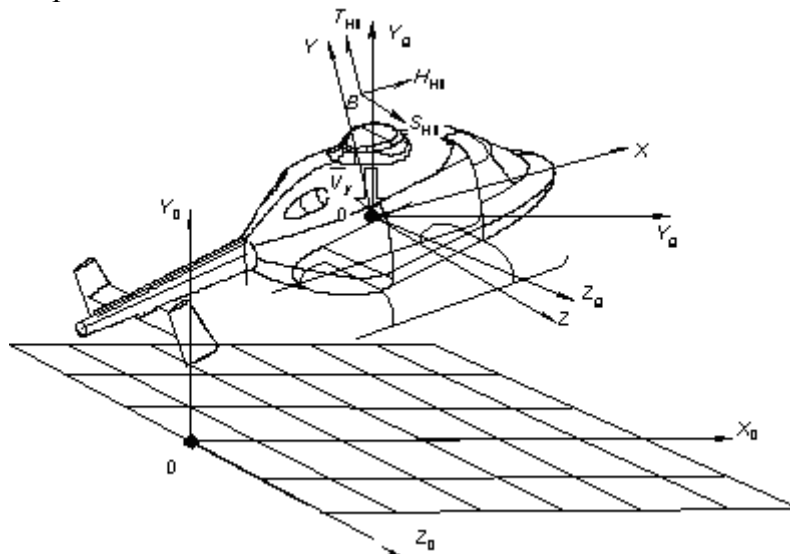


Рис. 2

В качестве входных параметров для модели шасси на основе нейронной сети использованы величины «погружения» четырех точек консолей рессор h_1, h_2, h_3, h_4 , более подробно описанные в работе [6]. В качестве выходных параметров выбраны P_y^*, M_x^*, M_z^* – главный вектор и две компоненты главного момента сил реакций ползкового шасси при контакте с ВПП. Знак (*) означает, что данные величины нормированы, т.е. приведены к диапазону значений от 0 до 1. В расчете трение ползков шасси о ВПП не учитывается (рассмотрен случай посадки на лед).

При разработке расчетной модели шасси на основе ИНС выполнено исследование влияния числа нейронов в двухслойном персептроне на точность моделирования реакций ползкового шасси вертолета. В процессе исследования свойств двухслойного персептрона рассмотрены варианты: по 10 нейронов в слое; по 15 нейронов в слое; по 20 нейронов в слое. При этом оценивалась среднеквадратичная погрешность выходных значений нейронной сети по сравнению с исходной выборкой. В качестве примера выбран параметр $\dot{\theta}_0^*$. По результатам исследования был сделан вывод о недостаточности точности решения при 10 нейронах в слое. При этом количество 15 или 20 нейронов вполне приемлемо, но полученные погрешности в данном случае очень близки по значениям. Поэтому были исследованы также варианты сетей размерности 15x20, и 20x15. Наилучшую точность показал вариант 20x15. При этом по параметру $\dot{\theta}_0^*$ получена наименьшая погрешность, чем по моментным характеристикам.

На рис. 3 показан результат применения имитационной модели шасси на основе выбранной ИНС (○ – исходная модель, × – модель на основе ИНС). В качестве примера выбран процесс изменения угла тангажа вертолета θ в процессе посадки. Момент времени $t = 0$ соответствует моменту касания шасси ВПП.

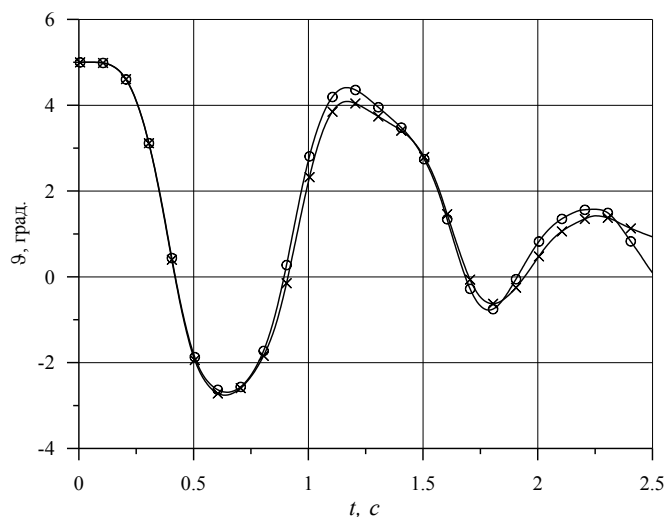


Рис. 3.

Как видно из представленных результатов, полученная имитационная модель ползкового шасси достаточно точно отражает поведение исходной математической модели, что позволяет использовать ее при моделировании процесса управляемой посадки вертолета.

Список литературы

1. Brian E. Stephens, William L. Evans, Application of Skid Landing Gear Dinamic Drop Analysis // American Helicopter Society 55th Annual Forum, Montreal, Quebec, Canada, May 25-27, 1999.
2. Ю.С. Александрин, В.П. Тимохин «Методика и некоторые результаты исследования особенностей характеристик посадочного удара вертолета с учетом свойств поверхности посадочной площадки» // Вертолеты. Труды опытно-конструкторского бюро Московского вертолетного завода им. М.И. Миля. М.: «Машиностроение», 2010. 390 с.
3. Михайлов С.А., Коротков Л.В., Неделько Д.В. К расчету статического нагружения трубчатого ползкового шасси вертолета // Изв. вузов. Авиационная техника. 2010. № 4. С 3-6.
4. Коротков Л.В. Расчетно-экспериментальное обеспечение проектирования и проведения копровых испытаний ползкового шасси вертолета. Автореф. ... канд. техн. наук. Казань, 2011. 20 с.
5. Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных суперпозициями непрерывных функций меньшего числа переменных. // Доклад АН СССР, 1956 Т. 108, № 2 С.179-182.
6. Неделько Д.В. Метод решения задач контакта посадочных устройств вертолета при его посадке на твердую поверхность и приводнении // Авиационная промышленность. 2012. № 2. С. 13 – 17.
7. Гирфанов А.М. Математическая модель сложного пространственного деформирования лопасти несущего винта при произвольном движении вертолета // Вестник СГАУ, №4 (20). 2009 г. С. 26 – 34.

05.02.13

М.А. Донченко к.т.н., Ю.Н. Журавлёв д.т.н., М.С. Шерстюков

ФГБОУ ВПО «Псковский государственный университет»,
г. Псков, delta-t.dma@mail.ru**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА СИСТЕМУ «РОЛИК РОМБОИДА-КУЛАЧОК»
РОТОРНО-ЛОПАСТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВНЕШНИМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ
В РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА**

В данной статье рассматривается режим холостого хода работы двигателя, определена зависимость нагрузок от угла поворота выходного вала, действующих на систему «ролик ромбоида-кулачок».

Ключевые слова: внешний подвод теплоты, кулачок, реакции.

В настоящее время в Псковском государственном университете проводятся научно-исследовательские работы по созданию нового теплового двигателя – роторно-лопастного с внешним подводом теплоты [1]. Одним из ответственных узлов двигателя является рычажно-кулачковый преобразователь движения, преобразующий вращательно-колебательное движение лопастей в однонаправленное равномерное вращение выходного вала. От надёжности работы этого узла зависит надёжность всего двигателя.

Основным элементом преобразователя движения является ромбоид, вершины которого A, B, C, D обкатывают кулачок (рис.1).

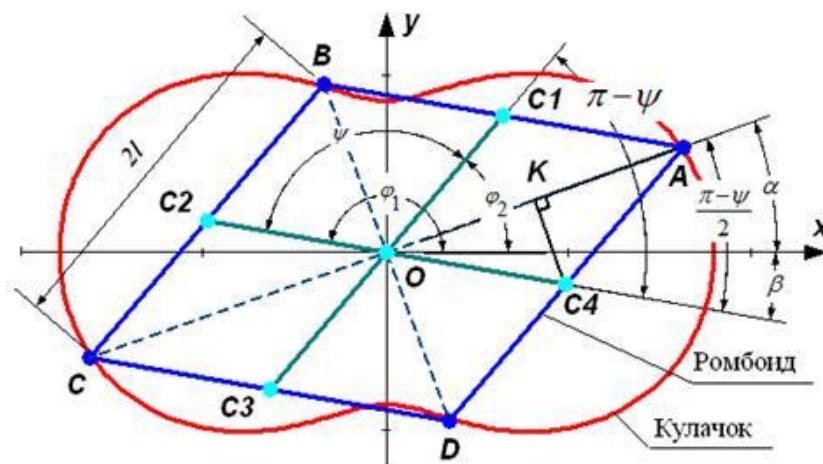


Рис.1. Кинематическая схема ромбоида

В работе [2] запатентована следующая формула, описывающая профиль кулачка в полярных координатах ρ и α :

$$\rho(\alpha) = 2l \sin(a + b \cos 2\alpha), \quad (1)$$

где $2l$ – длина звена ромбоида; $a = \pi/4$, $b = \pi/4 - \psi_{\min}/2$; $\psi_{\min}$ – минимальное значение угла $\psi = \phi_1 - \phi_2$ между осями лопаток C_2C_4 и C_1C_3 (рис.1).

Кинематический анализ преобразователя движения, выполненный в работах [3], [4], [5], базировался именно на формуле (1).

Действительный кулачок, по которому катится ролик ромбоида радиусом r , имеет эквидистантный профиль, равноотстоящий по нормали $\bar{n}$ на расстояние r от теоретического профиля (рис. 2.)

К лопаткам Л1 и Л2, имеющим момент инерции J_L и угловые ускорения $\bar{E}_{Л1}$ и $\bar{E}_{Л2}$, приложены моменты сил инерции $\bar{L}_{Л1} = -J_L \bar{E}_{Л1}$ и $\bar{L}_{Л2} = -J_L \bar{E}_{Л2}$. По условиям задачи моменты на лопатках $M_{Л1}$ и $M_{Л2}$ от газовых сил отсутствуют.

Каждое звено ромбоида нагружено в центре масс C_i главным вектором сил инерции звена $\bar{\Phi}_i = -m_i \bar{a}_{C_i}$ и главным моментом сил инерции $\bar{L}_i = -J_i \bar{E}_i$, $i=1,2,3,4$, где m_i - масса звена; J_i - момент инерции звена; $\bar{a}_{C_i}$ и $\bar{E}_i$ - линейное и угловое ускорения. К вершинам ромбоида, кроме неизвестных пока реакций кулачка R_A, R_B, R_C и R_D , приложены силы инерции $\bar{\Phi}_A, \bar{\Phi}_B, \bar{\Phi}_C$ и $\bar{\Phi}_D$. Последние создаются массой m_p ролика и $m_{п}$ линейного подшипника.

При определении реакций кулачка отсоединим ромбоид от маховика и будем рассматривать реакции кулачка R_A, R_B, R_C, R_D как внешние силы, приложенные к ромбоиду. Придадим ромбоиду бесконечно малое угловое перемещение $\delta\alpha$ и приравняем элементарную работу реакций кулачка к элементарной работе сил инерции Φ и моментов сил инерции L :

$$\delta A(R_A, R_B, R_C, R_D) = \delta A(\Phi, L). \quad (2)$$

При определении элементарной работе сил инерции Φ и моментов сил инерции L исходим из следующих соображений. Элементарная работа инерционных нагрузок всей рассматриваемой системы равна левой части уравнения Лагранжа, составленного для этой системы, взятая со знаком минус и умноженная на $\delta\alpha$

$$\delta A(\Phi, L) = - \left[\frac{d}{dt} \frac{\partial T^*}{\partial \dot{\alpha}} - \frac{\partial T^*}{\partial \alpha} \right] \delta \alpha, \quad (3)$$

где $T^* = \dot{\alpha}^2 (J_C^* - J_V \cos 4\alpha) / 2$ - кинетическая энергия двигателя без учёта энергии маховика, получено в [6]; J_C^* - постоянная составляющая без учёта моментов инерции маховика; J_V - амплитуда гармонической составляющей. Вычисляя уравнение Лагранжа, имеем:

$$\delta A(\Phi, L) = -\dot{\alpha}^2 4J_V \sin 2\alpha \cos 2\alpha - \ddot{\alpha} (J_C^* - 2J_V \sin 2\alpha \cos 2\alpha). \quad (4)$$

Делаем допущение, что угловая скорость $\dot{\alpha} = \omega = \text{const}$ и ускорение $\ddot{\alpha} = 0$, тогда уравнение (4) принимает вид

$$\delta A(\Phi, L) = -\omega^2 4J_V \sin 2\alpha \cos 2\alpha. \quad (5)$$

Реакции кулачка R_A и $R_C = -R_A$ создают момент $M(R_A, R_C) = 2h_A R_A$, работа этого момента на перемещении $\delta\alpha$ равна

$$\delta A(R_A, R_C) = 2h_A R_A \cdot \delta \alpha, \quad (6)$$

где $h_A = ON = |\rho_A \rho'_A| / \sqrt{\rho_A^2 + \rho'_A{}^2}$ - плечо силы R_A , равное длине перпендикуляра ON , опущенного из центра O на нормаль AN к теоретическому профилю в точку A (рис. 3.); $\rho_A = 2l \sin(a + b \cos 2\alpha)$; $\rho'_A = -4bl \sin 2\alpha \cos(a + b \cos 2\alpha)$.

Реакции кулачка R_B и $R_D = -R_B$ создают момент $M(R_B, R_D) = -2h_B R_B$, работа этого момента на перемещение $\delta\alpha$ равна

$$\delta A(R_B, R_D) = -2h_B R_B \cdot \delta \alpha, \quad (7)$$

где $h_B = |\rho_B \rho'_B| / \sqrt{\rho_B^2 + \rho'_B^2}$; $\rho_B = \rho_A(\alpha + \pi/2) = 2l \sin(a - b \cos 2\alpha)$;
 $\rho'_B = 4bl \sin 2\alpha \cos(a - b \cos 2\alpha)$.

Подставляем в (2) уравнения (5), (6) и (7), сокращая $\delta\alpha$ имеем:

$$2h_A R_A - 2h_B R_B = -\omega^2 4J_V \sin 2\alpha \cos 2\alpha. \quad (8)$$

Каждая из двух реакций R_A и R_B неотрицательна, поэтому решения уравнения (8) зависит от знака правой части. Если правая часть отрицательна, то $R_B > 0$, $R_A = 0$, если положительна, то $R_A > 0$, $R_B = 0$.

Подставляем h_A и h_B в (8) и, делая некоторые сокращения имеем:

$$\left. \begin{aligned} R_B &= \frac{\omega^2 4J_V \cos 2\alpha}{8bl\rho_B \cos(a - b \cos 2\alpha)} \sqrt{\rho_B^2 + \rho'_B^2}, R_A = 0 \text{ при } 0 \leq \alpha \leq \pi/4 \\ R_A &= \frac{\omega^2 4J_V |\cos 2\alpha|}{8bl\rho_A \cos(a + b \cos 2\alpha)} \sqrt{\rho_A^2 + \rho'_A^2}, R_B = 0 \text{ при } \pi/4 \leq \alpha \leq \pi/2 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

График зависимостей реакций кулачка $R_A(\alpha)$ и $R_B(\alpha)$ от угла поворота вала α в режиме холостого хода при $\psi_{\min} = 51,4^\circ$, $2l = 20$ см, $\Delta\psi = 1,348$ рад, $M_1 = 6576$ Нм, $M_2 = 5021,5$ Нм показан на (рис. 4).

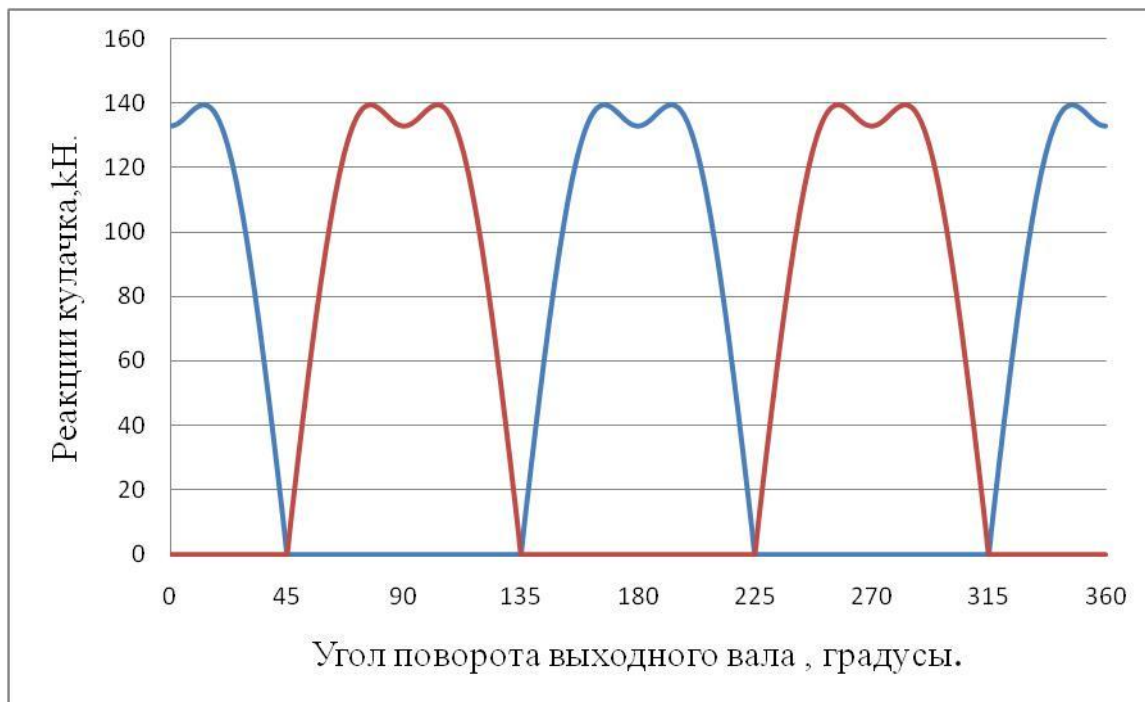


Рис. 4. Значение реакций кулачка в режиме холостого хода

Выводы

В настоящей статье определены нагрузки на ролики ромбоида в режиме холостого хода, когда вращающий момент пренебрежимо мал по сравнению с моментами сил инерции звеньев. Снижение инерционных нагрузок при заданной угловой скорости ω может быть достигнуто двумя путями: 1) изменением длины звена ромбоида $2l$; 2) уменьшением момента инерции J_V , в котором преобладающим является момент инерции лопаток J_L . Кулачок является неудерживающей связью, из (рис.4) видно, что на периоде изменения угла поворота выходного вала $0 \leq \alpha \leq 45^\circ$ не нулевыми являются реакции R_B и $R_D = -R_B$, а реакции R_A и $R_C = -R_A$ равны нулю, при этом на периоде $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ наоборот, не нулевыми являются реакции R_A и $R_C = -R_A$, а реакции R_B и $R_D = -R_B$ равны нулю. Расчёт значений реакций R_A и R_B достаточно произвести только в диапазоне $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$, поскольку при $\alpha = 90^\circ$ вершина A займёт место вершины B , вершина B – место вершины C , и т. д.

Список литературы

1. Патент РФ №2387844 МПК F01C 1/077, F02G 1/044. Роторно-лопастной двигатель с внешним подводом тепла/ Ю.Н. Лукьянов, Ю.Н. Журавлев, И.В. Плохов. и др. Оpubл. 27.04.2010 г. Бюл. №12.
2. Патент РФ №2374526 МПК F16H 25/04. Механизм для преобразования движения/ Ю.Н. Лукьянов, Ю.Н. Журавлев, И.В. Плохов и др. Оpubл. 27.11.2009 г. Бюл. №33.
3. *Гринев Д.В., Донченко М.А., Перминов А.Л., Иванов А.Н.* Обзор и анализ рычажных механизмов преобразования движения для роторно-лопастных машин. Известия ТулГУ. Технические науки: Вып. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. Ч. 1. С. 28-34.
4. *Гринев Д.В., Донченко М.А., Журавлев Ю.Н., Перминов А.Л.* Синтез и кинематический анализ рычажно-кулачкового механизма преобразования движения роторно-лопастного двигателя с внешним подводом тепла. Справочник. Инженерный журнал. 2008. №12. С. 30-35.
5. *Гринев Д.В., Донченко М.А., Журавлев Ю.Н.* Кинематический анализ рычажно-кулачкового механизма преобразования движения роторно-лопастного двигателя с внешним подводом тепла. Сб. науч. трудов XV международной научно-технической конференции. Машиностроение и техносфера XXI века» в г. Севастополе 15-20 сентября 2008 г. Донецк: ДонНТУ, 2008. Т. 1. С. 264 – 268.
6. Разработка математической модели протекания термодинамического цикла с внешним подводом тепла, позволяющей создать экологически чистый двигатель роторно-лопастного типа: Отчёт по НИР /ФГУП «ВНТИЦ»; Руководитель И.В. Плохов. УДК 621.486, № госрегистрации 01200850182.2008. Ч. 1-3.

05.13.18

А.В. Дорошенко

Московский государственный строительный университет,
кафедра информатики и прикладной математики,
Москва, pochta.avd@gmail.com

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВЫХ ПОТОКОВ ВОКРУГ ЖИВОЙ ИЗГОРОДИ

В работе описаны результаты численного моделирования ветровых потоков вокруг живой изгороди. Модель представлена как изотропная пористая область и основывается на уравнении потери импульса. Приведены результаты натурных испытаний моделируемой живой изгороди. Подобран коэффициент потери, при котором расхождение результатов численного моделирования и натурных испытаний минимально.

Ключевые слова: численное моделирование, натурные испытания, аэродинамика, живая изгородь, пористая область.

При некоторых формах застройки в пешеходных зонах возникают сравнительно интенсивные местные воздушные течения, которые неблагоприятно воздействуют на человека, а в некоторых случаях являются опасными. Если установлено, что на некоторых участках приземные ветры слишком сильны и, тем самым, вызывают недопустимые дискомфортные условия для пешеходов, то необходимо принимать меры по защите пешеходов от неприятного воздействия ветра [3].

Посадка деревьев и живых изгородей является одной из наиболее популярных мер по снижению ветрового воздействия на человека [2].

При численном моделировании зеленых насаждений возникает проблема моделирования самой области дерева, которая связана с тем, что дерево пропускает через свою крону часть воздушных потоков.

В данной работе описаны построение численной модели живой изгороди и сравнение результатов с натурными испытаниями, проведенными в Японском архитектурном институте.

Была рассмотрена задача о ветровых потоках вблизи живой изгороди, превышающий человеческий рост.

Японскими учеными под руководством А. Мочиды, Й. Тобато был проведен натурный эксперимент о влиянии деревьев на ветровые потоки [1]. В данной работе используются полученные ими результаты.

Модель, для которой проводились натурные испытания, представлена на рисунке 1. Высота изгороди составляет 7 м., ширина 2 м, набегающий поток задан. Расчетная схема представлена на рисунке 1.

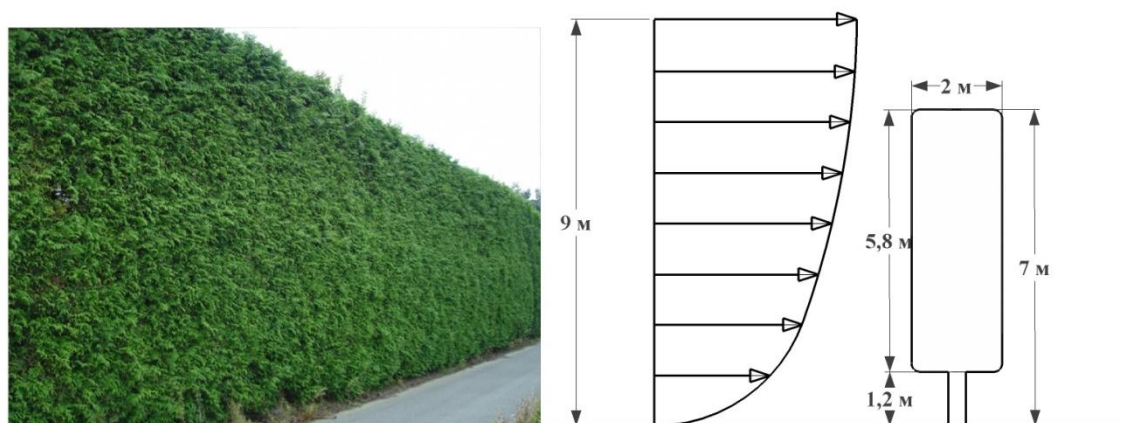


Рис. 1- Моделируемый объект и расчетная схема

Замеры проводились на расстояниях 0,25H, 0,5H, H, 2H, 3H, 4H, 5H от модели в четырех точках по высоте: 1,5м, 3м, 4,5м, 6м. Измерялись приведенная скорость и приведенная кинетическая энергия турбулентности (Результаты в таблицах 1 и 2).

Таблица 1- Приведенная скорость (натурные испытания)

	X/H						
Z[m]	0,25	0,5	1	2	3	4	5
1,5	0,386	0,412	0,475	0,521	0,533	0,500	0,473
3	0,547	0,455	0,403	0,408	0,451	0,466	0,462
4,5	0,600	0,488	0,404	0,386	0,449	0,492	0,495
6	0,462	0,494	0,457	0,463	0,526	0,582	0,586

Таблица 2- Приведенная кинетическая энергия турбулентности (натурные испытания)

	X/H						
Z[m]	0,25	0,5	1	2	3	4	5
1,5	0,011	0,013	0,016	0,020	0,037	0,034	0,040
3	0,021	0,016	0,014	0,015	0,031	0,033	0,043
4,5	0,026	0,025	0,014	0,018	0,037	0,044	0,054
6	0,026	0,025	0,027	0,034	0,052	0,069	0,072

Поставленная задача решалась в двумерной постановке в программном комплексе ANSYS CFX. Были заданы следующие граничные условия: на "входе" в модель задавался поток, который был измерен при натурных испытаниях; на "выходе" задавались мягкие граничные условия по Нейману, на верхней границе – условие симметрии, на нижней границе – "стенка" с условием "no slip". Использовалась модель турбулентности SST (Shear Stress Transport). Живая изгородь была задана, как изотропная пористая область. Потери импульса, через которую могут быть сформулированы на основе проницаемости и коэффициентов потери следующим образом:

$$\begin{aligned}
 S_{M.x} &= -\frac{\mu}{K_{perm}} U_x - K_{loss} \frac{\rho}{2} |U| U_x \\
 S_{M.y} &= -\frac{\mu}{K_{perm}} U_y - K_{loss} \frac{\rho}{2} |U| U_y \\
 S_{M.z} &= -\frac{\mu}{K_{perm}} U_z - K_{loss} \frac{\rho}{2} |U| U_z
 \end{aligned}
 \quad (\text{Уравнения 1})$$

где K_{perm} - проницаемость и K_{loss} - коэффициент потерь. Линейный член отвечает за вязкие потери, квадратичный член представляет инерциальные потери.

Так как вязкими потерями в случае живой изгороди можно пренебречь уравнения 1 примут вид:

$$S_{M.x} = -K_{loss} \frac{\rho}{2} |U| U_x$$

$$S_{M.y} = -K_{loss} \frac{\rho}{2} |U| U_y$$

$$S_{M.z} = -K_{loss} \frac{\rho}{2} |U| U_z$$

При численном решении задачи нами подбирался коэффициент потерь таким образом, чтобы результаты были наиболее близки к результатам натурного эксперимента. Оценивалась эквивалентная скорость $V_e = V + 1.5TKE$.

При оценке подбора коэффициента оценивалась средняя арифметическая ошибка для всех точек замера. В результате были получены результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 3- Отклонение результатов, полученных при численном моделировании для различных коэффициентов проницаемости и натуральных испытаний.

K_{loss}	0,1	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	4	5	6
%	8,76	2,72	1,99	1,71	1,65	1,7	2,01	2,36	2,66	2,95	3,89	4,57	5,11

Как видно, наиболее точный результат получен при коэффициенте $K_{loss} = 1,75 m^{-1}$.

Ниже представлена таблица с результатами ошибки для выбранного коэффициента по всем точкам.

Таблица 4- Сравнительная таблица результатов, полученных при численном моделировании для коэффициента $K_{loss} = 1,75 \text{ m}^{-1}$ и натурных испытаний.

№п.п.	Х/Н	Z	V_e (Численное моделирование)	V_e (Натурные испытания)	Погрешность, %
1	0,25Н	1,5	1,725278	1,5525	11,13
2		3	1,673089	1,7285	3,21
3		4,5	1,677731	1,789	6,22
4		6	1,679589	1,651	1,73
5	0,4Н	1,5	2,880385	2,7315	5,45
6		3	2,799261	2,779	0,73
7		4,5	2,792179	2,8255	1,18
8		6	2,821419	2,8315	0,36
9	Н	1,5	4,008653	3,949	1,51
10		3	3,919878	3,874	1,18
11		4,5	3,906531	3,875	0,81
12		6	3,970828	3,9475	0,59
13	2Н	1,5	5,110894	5,151	0,78
14		3	5,039675	5,0305	0,18
15		4,5	5,045046	5,013	0,64
16		6	5,152345	5,114	0,75
17	3Н	1,5	6,228097	6,3385	1,74
18		3	6,183089	6,2475	1,03
19		4,5	6,217574	6,2545	0,59
20		6	6,344908	6,354	0,14
21	4Н	1,5	7,353825	7,451	1,30
22		3	7,34386	7,4155	0,97
23		4,5	7,403591	7,458	0,73
24		6	7,534372	7,5855	0,67
25	5Н	1,5	8,490189	8,583	1,08
26		3	8,51577	8,5765	0,71
27		4,5	8,590753	8,626	0,41
28		6	8,718118	8,744	0,30
29	Средняя арифметическая ошибка по всем точкам измерения, %				1,65

При анализе результатов можно сделать следующий вывод: на расстоянии 0,25Н на высоте 1,5м результаты численного моделирования сходятся меньше всего, вероятнее всего это связано с тем, что ствол дерева, имеет отличную проницаемость от кроны. Тем не менее, ошибка в 11,1% является удовлетворительной для данного класса задач.

Далее представлены изолинии эквивалентных скоростей ветра и приведенной кинетической энергии турбулентности при коэффициенте потери $1,75 \text{ m}^{-1}$.

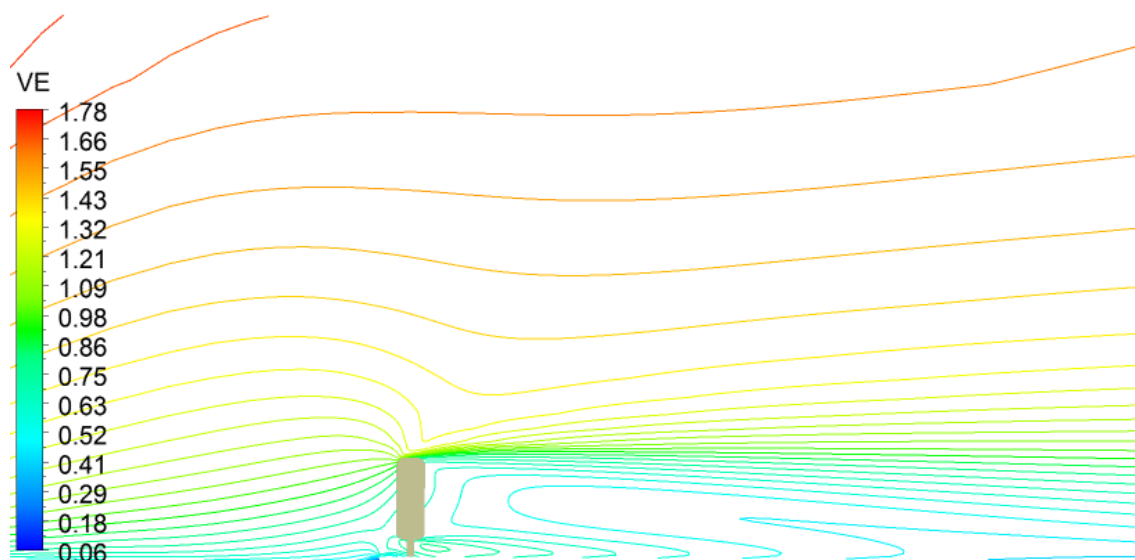


Рис. 2- Изолинии эквивалентных скоростей ветра

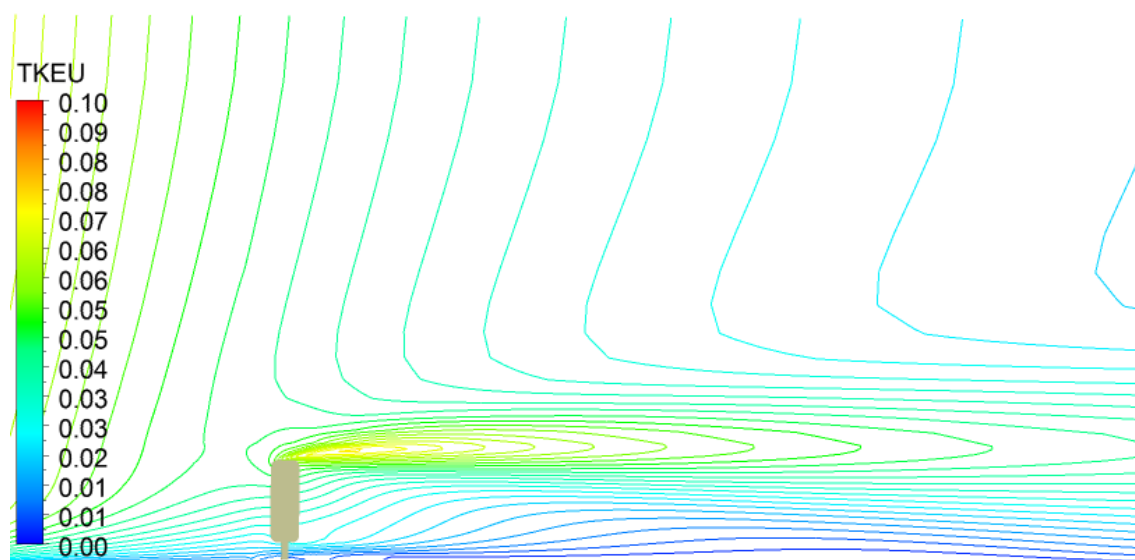


Рис. 3- Изолинии приведенной кинетической энергии турбулентности

В результате проведенного сравнения результатов натурных испытаний и численного моделирования был подобран коэффициент потери, при котором отклонение результата в среднем составляет 1,65%. Таким образом, проведенное исследование позволит в дальнейшем использовать данную модель при численном моделировании жилых застроек для более точной оценки воздействия ветра на пешеходов, а так же для рекомендаций по улучшению ветрового режима территории.

Список литературы

1. Guidebook for Practical Applications of CFD to Pedestrian Wind Environment around Buildings URL: http://www.aij.or.jp/jpn/publish/cfdguide/index_e.htm (дата обращения: 20.07.2012).
2. Дубинский С.И. Влияние посадки деревьев на структуру приземного воздушного потока внутри городской застройки / Дубинский С.И., Дорошенко А.В. Вестник Московского государственного строительного университета. – 2011. - №. – С. 45-50.
3. Симуэ Э. Воздействие ветра на здания и сооружения / Э.Симуэ, Р.Сканлан. – М.: Стройиздат, 1984. – 358с.

05.17.01

¹С.Х. Загидуллин д.т.н., ¹Е.Н. Ненашев, ²Ф.М. Кузнецов к.т.н., ¹В.Л. Долганов к.т.н.¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет²Пермская государственная сельскохозяйственная академия
имени академика Д.Н. Прянишникова,
Пермь, zsh@cpl.pstu.ru

ГРАНУЛИРОВАНИЕ ПЫЛЕВИДНЫХ ФРАКЦИЙ ФЛОТАЦИОННОГО ХЛОРИСТОГО КАЛИЯ МЕТОДОМ ОКАТЫВАНИЯ

Проведены экспериментальные исследования процесса гранулирования пылевидного хлористого калия методом окатывания со связующими добавками в различных типах грануляторов. Изучены основные физико-химические и физико-механические характеристики получаемых гранул. Результаты исследований могут быть использованы для проектирования опытно-промышленной грануляционной установки.

Ключевые слова: *пылевидный хлористый калий, гранулирование, смачиваемость, поверхностно-активные вещества, метод окатывания.*

В производстве хлористого калия методом флотации из сильвинитовых руд образуется большое количество мелкодисперсных фракций с размером частиц менее 100-150 мкм, которые значительно ухудшают физико-механические свойства удобрения, приводят к потерям при транспортировании и загрязнению окружающей среды. Перспективным направлением переработки мелкодисперсных фракций является гранулирование. Однако из-за мелкодисперсного состава гранулирование данного продукта традиционным методом прессования-дробления затруднено.

Одним из возможных методов гранулирования такого материала является окатывание в присутствии связующих добавок. Необходимым условием образования однородных по размерам и прочности гранул при окатывании является хорошая смачиваемость порошковых материалов связующей жидкостью [1]. Вместе с тем процесс смачивания мелкодисперсных частиц хлористого калия заметно осложняется из-за наличия на их поверхности значительных количеств гидрофобных флотореагентов, в частности, алифатических аминов.

Нами проведены экспериментальные исследования возможных путей улучшения смачиваемости данного материала. Смачиваемость изучали по методике, основанной на измерении объемной скорости пропитки слоя порошка исследуемым раствором. Опыты проводили с использованием усовершенствованной экспериментальной установки [2, 3]. Количественно смачиваемость оценивали по величине краевого угла смачивания (θ), который рассчитывали по методу, описанному в работе [4], по уравнению:

$$\cos\theta = \frac{V_1^2 \cdot \rho_1^2 \cdot \mu_1 \cdot \sigma_1}{V_2^2 \cdot \rho_2^2 \cdot \mu_2 \cdot \sigma_2},$$

где V_1 и V_2 – объемные скорости пропитки образца исследуемым раствором и бензолом; ρ_1 и ρ_2 – плотность исследуемого образца и бензола; μ_1 и μ_2 – динамический коэффициент вязкости исследуемого раствора и бензола; σ_1 и σ_2 – поверхностное натяжение исследуемого раствора и бензола на границе жидкость-газ.

Вязкость и поверхностное натяжение исследуемых растворов определяли, соответственно методом капиллярной вискозиметрии и методом Вильгельми [5].

В опытах использовали пробы мелкодисперсного хлорида калия, полученную в промышленных условиях Первого Березниковского калийного рудоуправления ОАО «Уралкалий» при сушке в пневматической трубе-сушилке технического флотоконцентрата (проба № 1) и имеющие следующий химический состав (масс. %):

KCl – 94,3; $NaCl$ – 3,0; $MgCl_2$ – 0,5; $CaSO_4$ – 1,5; нерастворимый остаток – 0,682; алифатические амины – 0,018. Дисперсный состав (масс. %): фракция от 800 до 315 мкм – 8; от 315 до 200 мкм – 15; от 200 до 100 мкм – 35; менее 100 мкм – 42. Удельная поверхность образцов, измеренная на приборе Дерягина, составляла $0,16 \text{ м}^2/\text{г}$.

Основные результаты изучения смачивания и смачиваемости, сведенные в таблицу 1, показывают, что скорость пропитки образца № 1 насыщенным раствором хлористого калия для принятых условий испытаний составляет всего 0,41 мл/мин, а краевой угол смачивания 89 градусов.

Таблица 1 – Результаты исследования смачивания и смачиваемости мелкодисперсных фракций хлористого калия при 25°C

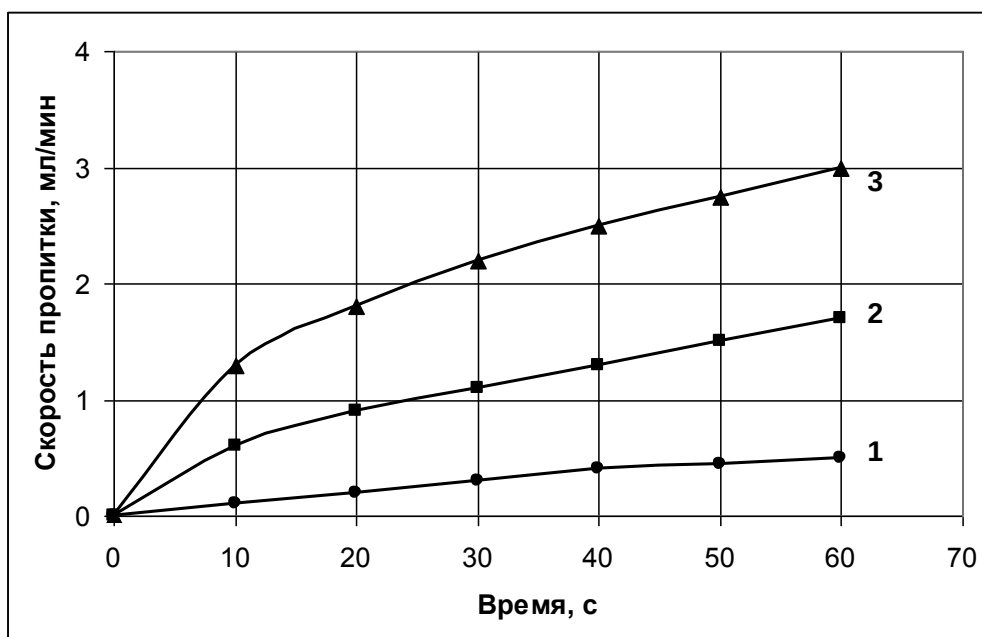
Номер образца	Смачивающая жидкость	$\sigma_{ж-г}$, мН/м	V_1 , мл/мин	θ , град.
1	Насыщенный раствор KCl	72	0,41	89
2	Насыщенный раствор KCl	72	4,76	43
1	Насыщенный раствор KCl +1 масс. % ЛСТ	36	2,76	64

Для дезаминированного продукта (образец № 2) скорость пропитки возрастает до 4,76 мл/мин, а угол смачивания уменьшается до 43 градусов. Дезаминирование проводили промывкой образца № 1 горячим этиловым спиртом до остаточного содержания реагента не более 0,0005 масс. %.

Известно, что смачиваемость гидрофобных материалов может быть улучшена за счет добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ) [2]. В качестве ПАВ нами использованы технические лигносульфонаты (ЛСТ) – побочный продукт ОАО «Соликамскбумпром». Выбор этого реагента обусловлен его доступностью и высокими поверхностно-активными и пластифицирующими свойствами, а также отсутствием негативного влияния на свойства удобрения [6].

Из таблицы 1 видно, что введение в исходную смачивающую жидкость небольших количеств ЛСТ в количестве 0,7-1,0 масс.% снижает поверхностное натяжение с 72 до 36 мДж/м^2 и тем самым улучшает смачиваемость образца № 1. При этом краевой угол смачивания снижается с 89 до 64 градусов.

Так как пылевидные фракции хлорида калия, выделяемые при конвективной сушке готового продукта, имеют повышенную температуру, нами изучено влияние этого параметра на кинетику пропитки. Опыты проводили в воздушном термостате, точность термостатирования составляла ± 2 град. Экспериментальные результаты представлены на рис. 1.



**Рис. 1. – Кинетика пропитки образца № 1 насыщенными водными растворами хлористого калия при различных температурах:
1 – 25 °C; 2 – 40 °C; 3 – 50 °C**

Как и следовало ожидать, скорость пропитки мелкодисперсного хлористого калия с повышением температуры от 25 до 50 °C возрастает в 3-6 раз. Этот фактор также положительно влияет на процесс гранулирования.

Полученные данные были использованы для оптимизации процесса гранулирования мелкодисперсных фракций флотационного хлорида калия.

На первом этапе опыты проводили на лабораторных моделях барабанного и дискового (тарельчатого) аппаратов периодического действия. Диаметр барабанного гранулятора составлял 0,3 м, длина 0,4 м; диаметр тарели – 0,6 м, высота борта – 0,1 м. Навеску пылевидного хлористого калия при коэффициенте заполнения аппаратов 0,15-0,20 помещали в грануляторы и обрабатывали тонкораспыленным водными растворами ЛСТ различной концентрации.

После увлажнения материала до определенного предела и перемешивания его по внутренней поверхности гранулятора в режиме «переката» начиналось интенсивное гранулообразование. Для уплотнения гранулы дополнительно окатывали в течение 2-3 мин и затем высушивали в воздушном термостате при температуре 135-140 °C.

Результаты исследований показали, что в тарельчатом и барабанном аппаратах достигается практически полное гранулирование материала. Общая продолжительность процесса не превышает 3-5 мин.

Как показали результаты исследования, большое влияние на прочность получаемых гранул оказывает состав связующей жидкости. С увеличением концентрации ЛСТ в связующей жидкости до 20-25 масс.% статическая прочность на раздавливание и динамическая прочность гранул на истирание значительно возрастают (рис. 2).

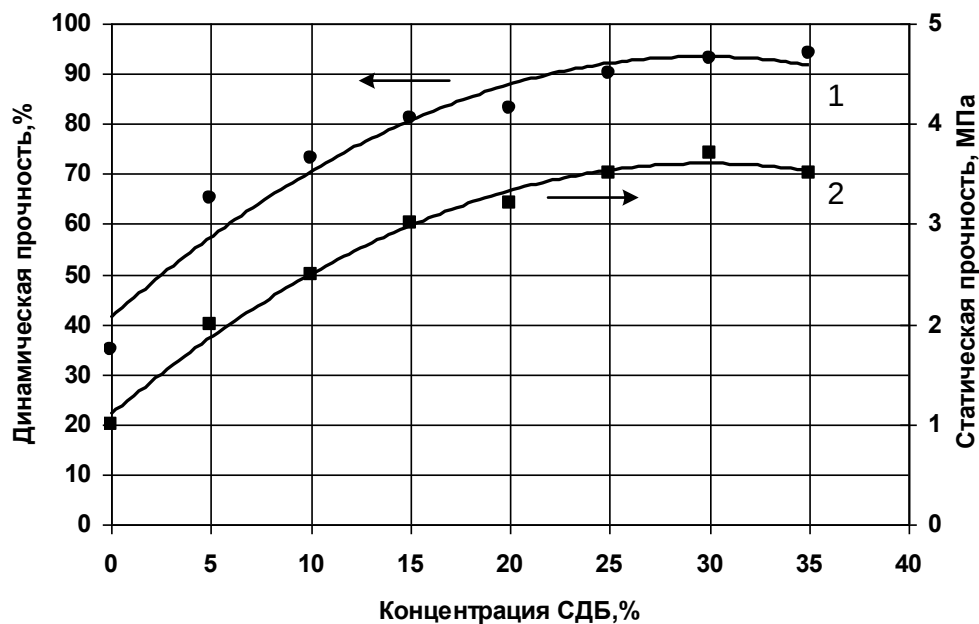


Рис. 2 – Зависимость динамической (1) и статической (2) прочности гранул (фракция -3+2) от концентрации ЛСТ в связующей жидкости

Это объясняется тем, что добавки ЛСТ, во-первых, улучшают смачиваемость, во-вторых, выполняют роль пластической смазки, снижая взаимное трение частиц внутри образующихся гранул. В результате гранулы лучше формируются и уплотняются, а при сушке образуются более прочные кристаллизационные контакты, армирующие внутреннюю структуру гранул.

В тарельчатом грануляторе, благодаря ярко выраженному эффекту сегрегации гранул по размерам, получаемый продукт отличается повышенной однородностью. Выход гранул товарного продукта размером от 1 до 4 мм достигает 80-90 %, по сравнению с 45-60 % для барабанного аппарата. Кроме того, гранулирование на тарелях отличается большей по сравнению с барабанным аппаратом гибкостью процесса. Определяющими параметрами являются величина угла наклона и частота вращения тарели, а также место подачи связующей жидкости в аппарате. Например, с увеличением угла наклона от 30 до 55° и частоте вращения от 20 до 25 мин⁻¹ удастся целенаправленно уменьшить эквивалентный диаметр образующихся гранул от 2,3 до 1,6 мм. Размер образующихся гранул уменьшается также при подаче связующей жидкости в верхнюю часть тарели.

Дальнейшее исследование проводили на стендовых установках непрерывного действия, включающие в себя укрупненные модели барабанного и тарельчатого грануляторов с устройствами для непрерывного дозирования исходного материала и распыления связующей жидкости. Характеристики грануляторов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики укрупненных моделей грануляторов непрерывного действия

Параметры гранулятора	Единицы измерения	Барабанный гранулятор	Тарельчатый гранулятор
1. Диаметр	м	0,6	0,8
2. Длина барабана	м	1,6	
3. Высота борта тарели	м	-	0,05-0,25
3. Частота вращения	мин ⁻¹	5-40	10-45
4. Угол наклона	град.	±4	30-70

Полученные результаты подтвердили высокую эффективность гранулирования пылевидного хлористого калия методом окатывания.

В ходе экспериментов были определены оптимальные условия гранулирования в тарельчатом аппарате в непрерывном режиме: концентрация ЛСТ в связующей жидкости 15-20 % масс., степень увлажнения сырцовых гранул – 9-10 масс. %, угол наклона тарели – 50-55 град., высота борта – 0,15 м, частота вращения – 22-28 мин⁻¹. При этом прочность высушенных гранул находится на уровне 3,5-4,5 МПа, что обеспечивает их сохранность при бестарном хранении и транспортировании. Производительность аппарата составляла 100-120 кг/ч.

Исследованиями, проведенными с барабанным гранулятором, установлено, что выход гранул товарной фракции в данном аппарате не превышает 40-45 %. Этот недостаток может быть частично минимизирован за счет уменьшения угла наклона барабана в сторону выгрузки продукта.

Интересно, что этот эффект становится наиболее заметным при работе гранулятора с так называемыми «отрицательными» углами наклона, равными 3-4 град. В этих условиях выход гранул товарной фракции возрастает до 70-75 %. Такие положительные изменения объясняются появлением при «отрицательных» углах наклона эффекта сегрегации образующихся гранул по длине барабана. Средняя производительность аппарата при этом несколько снижается и составляет 140-150 кг/ч.

Для определения условий бестарного хранения и транспортирования продукта были изучены его гигроскопические свойства и слеживаемость.

Исследования гигроскопичности проводили в гигростате ПО-34М в условиях интенсивной циркуляции насыщающего воздуха через тонкий слой гранул. Заданную относительную влажность насыщающего воздуха поддерживали с точностью ± 2 %. Температура опытов составляла 25⁰С. О сорбционных свойствах судили по изменению массы удобрения во времени.

На рис. 3 приведена изохрона гигроскопического увлажнения продукта за 8 часов в зависимости от относительной влажности воздуха.

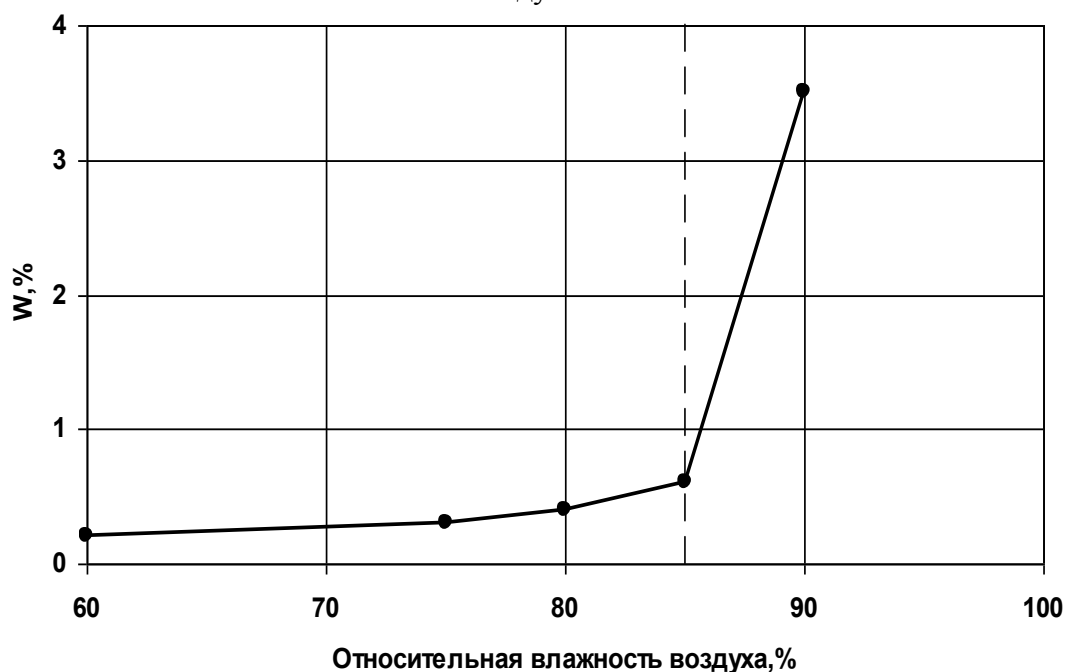


Рис. 3 – Изохрона сорбции влаги в зависимости от относительной влажности воздуха

Принятая длительность опытов оказалась достаточной для практически полного насыщения продукта.

Из этого рисунка видно, что при увеличении относительной влажности воздуха до 85% количество гигроскопической влаги в продукте не превышает 0,6-0,8 масс.%. Дальнейшее повышение влажности воздуха вызывает резкий сдвиг сорбционного равновесия.

О слеживаемости продукта судили по величине усилия, необходимого для разрушения слежавшегося образца. Для этого образцы удобрения увлажняли до определенной влажности и помещали в специальные пресс-формы строго заданной формы, где уплотняли под давлением 200 кПа и высушивали в течение 8 часов при температуре 75 °С. Указанные условия подготовки проб в максимальной степени моделировали условия бестарного хранения калийных удобрений в насыпях высотой до 20 м в крытых не отапливаемых складах. Полученные брикеты удобрения разрывали при постоянной скорости наложения нагрузки. Для сопоставления была определена также слеживаемость образцов гранулированного KCl , полученных по традиционной для калийной промышленности технологии прессования.

Из рис. 4 видно, слеживаемость гранул KCl , полученных методом окатывания, заметно ниже, чем для гранулированных продуктов Первого Соликамского и Третьего Березниковского калийных рудоуправлений (СКРУ-1 и БКРУ-3) ОАО «Уралкалий».

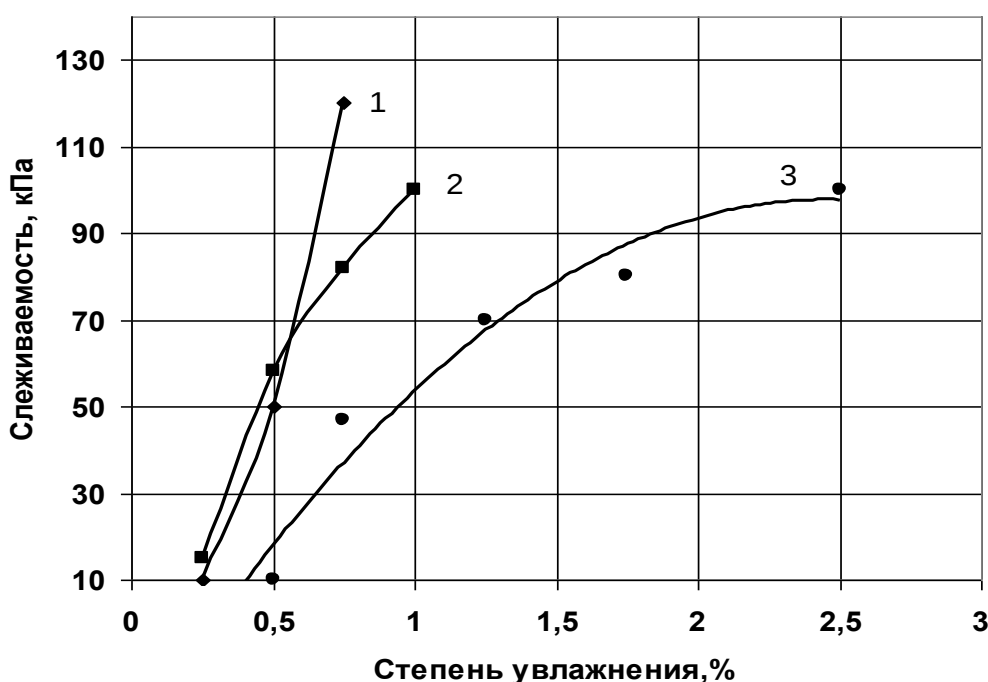


Рис. 4 – Зависимость слеживаемости гранулированных продуктов от степени увлажнения: 1 – продукт СКРУ-1; 2 – продукт БКРУ-3; 3 – гранулы, полученные методом окатывания.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют заключить, что гранулирование мелкодисперсных фракций флотационного хлористого калия методом окатывания в присутствии добавок ЛСТ характеризуются высокой эффективностью, а получаемый продукт по физико-механическим свойствам соответствует требованиям сельского хозяйства.

Результаты исследований могут быть использованы для проектирования опытно-промышленной грануляционной установки.

Список литературы

1. *Классен П.В.* Гранулирование / П.В. Классен, И.Г. Гришаев, И.П. Шомин. – М.: Химия, 1991. – 238 с.
2. *Зимон А.Д.* Адгезия жидкости и смачивание. – М.: Химия, 1974. – 416 с.
3. А.С. 1046656 СССР. Способ определения смачивающей способности порошковых материалов / С.Х. Загидуллин, Е.Л. Шкловская, В.М. Каштанов, Н.П. Наговицына. Оpubл. в Б.И. № 37, 1983.
4. *Гиматудинов Ш.К.* Физика нефтяного пласта. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 274 с.
5. *Адамсон А.* Физическая химия поверхности. М.: Мир, 1979. – 568 с.
6. *Маньковский М.А., Равич Б.М., Окладников В.П.* Связующие вещества в процессах окускования горных пород. М.: Недра, 1977. – 183 с.

05.22.10

Н.С. Захаров д.т.н., В.Г. Логачев д.т.н., В.А. Тюлькин к.т.н., И.В. Яблочкин

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедры сервиса автомобилей и технологических машин,
Тюмень, tyulkinva@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ОСАДКОВ НА СКОРОСТНОЙ РЕЖИМ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО МАГИСТРАЛЬНЫМ ДОРОГАМ

В работе рассматривается вопрос влияния факторов атмосферно-климатических условий на скорость движения автомобилей. Для описания распределения скорости автомобиля при движении по магистральным дорогам предложен ТР-закон.

Ключевые слова: средняя скорость движения автомобилей, атмосферно-климатические условия, атмосферные осадки, влияние условий эксплуатации.

Как известно, на скорость движения автомобиля, помимо его конструктивных особенностей, влияет большое количество внешних факторов. При этом объективная оценка скоростного режима движения автомобилей позволяет оптимально планировать маршруты движения, определять время в пути, что увеличивает эффективность работы транспортного предприятия. Также, в зависимости от скорости движения автомобиля изменяется и удельный расход топлива. В настоящее время, при расчете норм расхода топлива изменение режимов движения учитывается не в полной мере. Вследствие этого, планируемый расход топлива может отличаться от фактического.

При движении автомобиля по магистрали значительное влияние на скорость оказывают атмосферно-климатические условия. Авторы работ [1, 3, 4] отмечают, что в зависимости от климатических условий изменяется состояние дорожного покрытия, видимость и ширина проезжей части, что сказывается на скоростном режиме и экономичности работы автомобиля. В исследованиях В.В. Сильянова [3, с. 112] установлено, что существенное снижение скоростей движения наблюдается при ухудшении условий видимости, при уменьшении коэффициента сцепления и изменении геометрических характеристик дорог.

Известно, что во время выпадения осадков уменьшается коэффициент сцепления колес с дорогой, а также ухудшается видимость, вследствие чего скорость движения автомобиля снижается. Причем зимой, во время снега, снижение скорости более значительно, чем летом, во время дождя.

Автор работы [3, с. 112], ссылаясь на наблюдения, проведенные А.П. Васильевым и В.П. Расниковым, отмечает, что скорость на прямолинейном горизонтальном участке при мокром покрытии снижается на 10%, при снежном накатанном – на 22%. По данным [1, с. 98] на дорогах с мокрым асфальтовым покрытием средняя техническая скорость на 8 ... 9% ниже, чем на сухом.

Таким образом, одним из основных факторов, характеризующих атмосферно-климатические условия, являются осадки.

Для изучения влияния осадков на скорость автомобилей при движении по магистральным дорогам был проведен эксперимент. При оценке влияния условий эксплуатации на скоростные свойства автомобиля наиболее объективным измерителем является средняя скорость. При этом она должна рассчитываться как отношение пути ко времени, из которого вычтено время всех остановок.

Испытания проводились на трассе Р404 (Тюмень – Тобольск). В испытании участвовало два автомобиля: Валдай-278422 и КамАЗ-53212. Транспортные средства находились в исправном техническом состоянии. Протяженность маршрута составляла 100 ... 150 км. Для исключения влияния интенсивности движения испытания проходили в рабочие дни недели.

Эксперимент проводился в светлое время суток, поскольку по данным [1, с. 98] в ночное время при движении по неосвещенным дорогам средняя скорость обычно на 5 ... 10% меньше, чем при дневном освещении.

Зимой во время испытания температура окружающего воздуха принимала значения в интервале от -20 до -10 °С, летом – от +10 до +20 °С.

Для контроля скоростного режима движения автомобилей во время испытания использовалась навигационная система мониторинга транспорта «АвтоГРАФ-GSM». В контроллер данной системы установлен GPS-чипсет «SiRF Star III», при использовании которого погрешность измерения скорости не превышает 0,1 м/с. Данные о местонахождении и скорости движения автомобилей передавались на сервер, откуда, впоследствии были считаны и проанализированы.

В результате эксперимента получены распределения скоростей движения двух автомобилей во время дождя, снега и в отсутствие осадков. Для описания эмпирического распределения скорости автомобиля при движении по магистральным дорогам наиболее подходящим является TP-закон [2]. На рис. 1 и рис. 2. представлены плотности распределения скорости движения автомобиля Валдай-278422, а на рис. 3 и рис. 4. – автомобиля КамАЗ-53212.

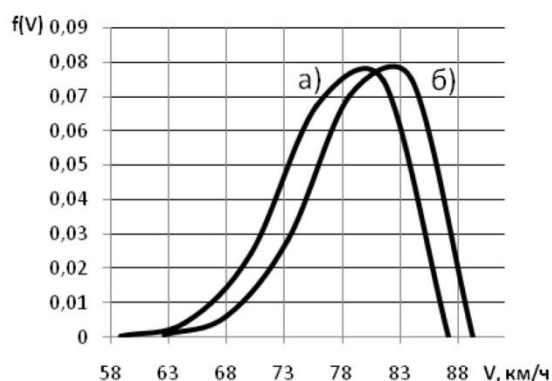


Рис. 1- Плотность распределения скорости при движении автомобиля Валдай-278422:
а) во время дождя; б) без осадков

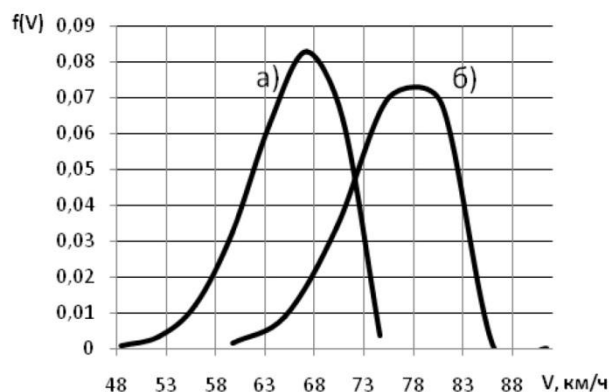


Рис. 2- Плотность распределения скорости при движении автомобиля Валдай-278422:
а) во время снега; б) без осадков

Объем выборки для каждого из распределений в среднем был равен 200. Абсолютная ошибка средней выборочной при вероятности 0,95 не превышала 0,7 км/ч, относительная – 1 %. Все эмпирические распределения скоростей согласуются с теоретическими по критерию Пирсона.

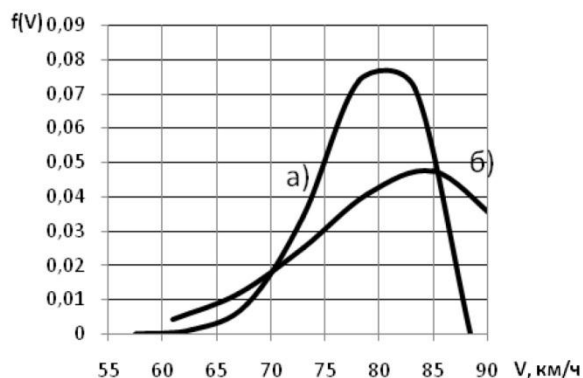


Рис. 3- Плотность распределения скорости при движении автомобиля КамАЗ-53212:
а) во время дождя; б) без осадков

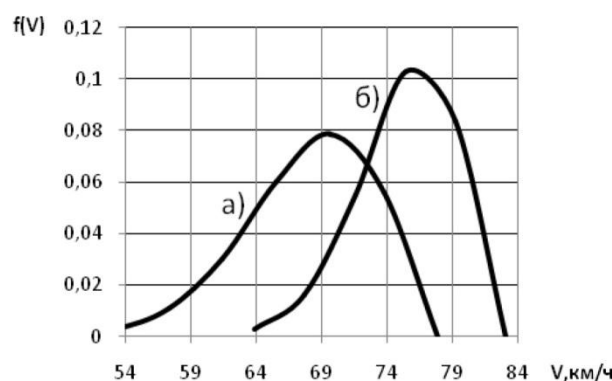


Рис. 4- Плотность распределения скорости при движении автомобиля КамАЗ-53212:
а) во время снега; б) без осадков

Как видно из результатов эксперимента, во время осадков средняя скорость движения автомобиля уменьшается (рис. 5, рис. 6). Так летом во время дождя средняя скорость снижается на 3 ... 4%, зимой во время снега на 10 ... 13%.

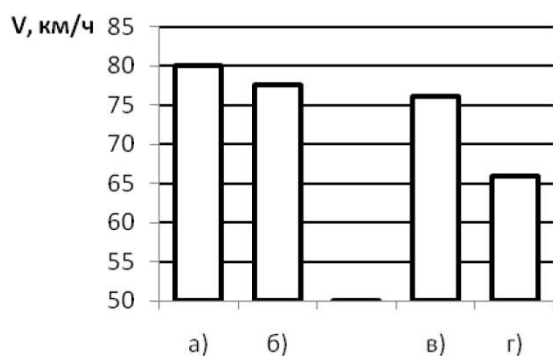


Рис. 5- Средняя скорость автомобиля Валдай-278422:
а) летом без осадков;
б) летом во время дождя;
в) зимой без осадков;
г) зимой во время снега

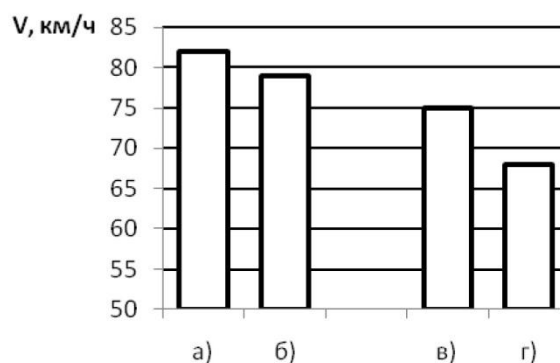


Рис. 6- Средняя скорость автомобиля КамАЗ-53212:
а) летом без осадков;
б) летом во время дождя;
в) зимой без осадков;
г) зимой во время снега

Таким образом, для объективной оценки скоростного режима движения автомобилей и расхода топлива важно учитывать влияние осадков на скорость автомобиля.

Список литературы

1. Автомобильные транспортные средства / Под ред. Д.П. Великанова. – М.: Транспорт, 1977. – 326 с.
2. Захаров Н.С. Использование ТР-распределения при моделировании процессов изменения качества автомобилей // Известия вузов. Нефть и газ. – 1999. - №3. – С. 105-111.
3. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 352 с.
4. Токарев А.А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля. – М.: Машиностроение, 1982. – 222 с.

05.22.10

Н.С. Захаров д.т.н., В.Г. Логачев д.т.н., В.А. Тюлькин к.т.н., И.В. Яблочкин

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
Тюмень, tyulkinva@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА НА СКОРОСТНОЙ РЕЖИМ ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЕЙ ПО МАГИСТРАЛЬНЫМ ДОРОГАМ

В работе рассматривается вопрос влияния температуры окружающего воздуха на скорость движения автомобилей. Для описания влияния температуры окружающего воздуха на скорость движения автомобиля предложен квадратичный вид математической модели.

Ключевые слова: средняя скорость движения автомобилей, температура окружающего воздуха, влияние условий эксплуатации.

В настоящее время большое внимание уделяется повышению эффективности работы транспортных предприятий. При этом объективная оценка скоростного режима движения автомобилей позволяет оптимально планировать маршруты движения, определять время в пути, учитывать расход топлива, что приводит к снижению расходов транспортного предприятия.

Установлено, что скоростной режим движения автомобилей существенно меняется в зависимости от условий эксплуатации. При движении автомобиля по магистрали значительное влияние оказывают атмосферно-климатические условия. Во многих работах, посвященных исследованию автомобильных дорог, установлено, что в зависимости от климатических условий изменяется коэффициент сцепления, видимость, геометрические характеристики дорог. При этом в работе [6, с. 112] отмечается, что данные факторы оказывают существенное влияние на скорость движения автомобиля.

Как известно температура окружающего воздуха является основным климатическим фактором. Изменение температуры воздуха в течение года приводит к значительным изменениям условий эксплуатации.

Так, в переходные периоды года наблюдается уменьшение ширины проезжей части: весной – вследствие таяния снега, осенью – вследствие выпадения большого количества осадков. По данным Васильева А.П. [2, с. 37] при неукрепленных обочинах сокращение проезжей части из-за загрязнения достигает 0,6 ... 1,2 м. При этом согласно модели, приведенной [4, с. 24] скорость легкового автомобиля при ширине полосы 3,5 м составляет около 90 км/ч, а при ширине 3 м – около 65 км/ч. Также для переходных периодов характерно возникновение гололеда, что существенно снижает скорость движения автомобиля.

Зимой на скорость движения автомобиля оказывают влияние низкие температуры, гололед, уменьшение продолжительности светового дня. В зимний период ширина проезжей части может колебаться в больших пределах. Автор работы [2, с. 38] отмечает, что в районах с длительным зимним периодом, частыми снегопадами и метелями при регулярной снегоочистке автомобили могут двигаться по прикромочным полосам обочин, тем самым фактически используемая ширина покрытия увеличивается. Однако, если при очистке дороги снег сваливается на обочины, то происходит заметное сужение дорожного полотна.

При низких температурах воздуха снижается КПД двигателя, увеличивается сопротивление трансмиссии и шин, повышается аэродинамическое сопротивление. Вследствие этого уменьшается максимальная скорость движения автомобиля, ухудшается приемистость автомобиля.

Летнему периоду характерны наиболее благоприятные условия движения: в основном чистое и сухое дорожное покрытие, сухие обочины.

Таким образом, наблюдается изменение скоростного режима в различные периоды года.

Изучив результаты предварительных исследований, проанализировав литературные источники, выдвинута гипотеза о том, что изменения скорости движения автомобилей при изменении температуры окружающего воздуха описывается квадратичной моделью:

$$V = a + b \cdot (t - t_0)^2, \quad (1)$$

где V – скорость движения автомобиля, км/ч;
 a и b – параметры модели;
 t – температура окружающего воздуха, °С;
 t_0 – оптимальная температура, соответствующая минимальной скорости движения, °С.

Для подтверждения адекватности модели исследуемому процессу был проведен эксперимент.

Испытания проводились на трассе Р404 (Тюмень – Тобольск). В испытании участвовало два автомобиля: Валдай-278422 и КамАЗ-53212. Транспортные средства находились в исправном техническом состоянии.

Для контроля режима движения автомобилей во время испытания использовалась навигационная система мониторинга транспорта «АвтоГРАФ-GSM». Координаты местонахождения автомобилей и текущее время передавались на сервер раз в минуту. Значение средней скорости рассчитывалось как отношение пути ко времени, из которого вычтено время всех остановок. По расчетам погрешность при использовании данного метода определения скорости не превышает 0,24 км/ч.

Для исключения влияния интенсивности движения испытания проходили в рабочие дни недели. По данным [1, с. 98] в ночное время при движении по неосвещенным дорогам средняя скорость обычно на 5 ... 10% меньше, чем при дневном освещении. Поэтому эксперимент проводился в светлое время суток. Также были исключены дни, во время которых наблюдались осадки.

Обработка экспериментальных данных выполнялась с помощью программы «REGRESS 2.5» [4]. Методом наименьших квадратов были установлены закономерности влияния температуры воздуха на среднюю скорость автомобилей Валдай-278422 и КамАЗ-53212.

В результате эксперимента были получены значения средних скоростей движения автомобилей в течение года, а также при различной температуре окружающего воздуха.

На рис. 1. представлены сезонные изменения средних скоростей автомобиля Валдай-278422 при движении по трассе Р404 (Тюмень – Тобольск). Как видно, наиболее высокие скорости движения автомобиля наблюдаются в летний период года, наиболее низкие – в зимний.

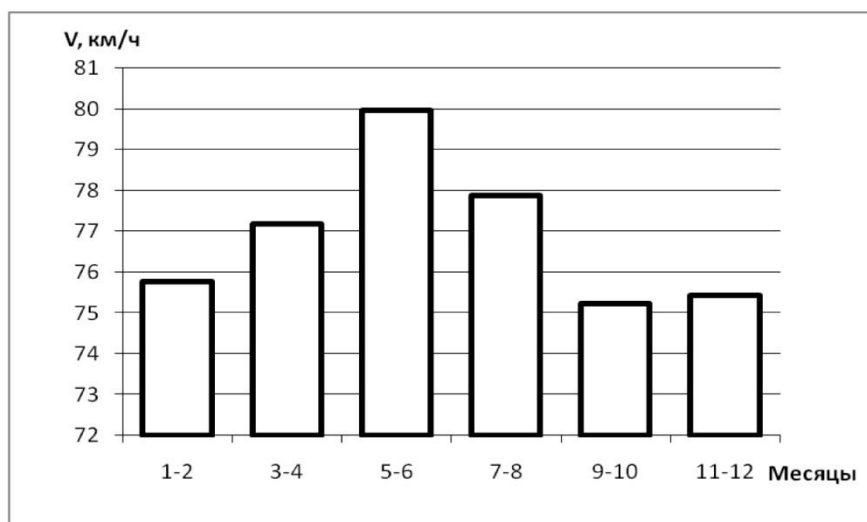


Рис. 1- Сезонные изменения средних скоростей автомобиля Валдай-278422 при движении по трассе Р404 (Тюмень - Тобольск)

График зависимости средней скорости от температуры окружающего воздуха при движении автомобиля Валдай-278422 представлен на рис. 2, автомобиля КамАЗ-53212 – на рис. 3. Значения основных статистических характеристик представлены в табл. 1.

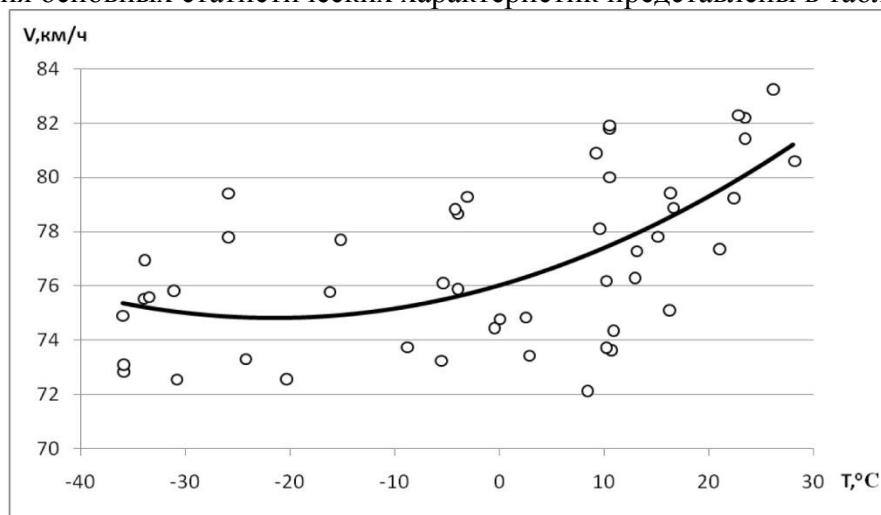


Рис. 2- Влияние температуры окружающего воздуха на скорость движения автомобиля Валдай-278422

Таблица 1

Статистические характеристики математических моделей влияния температуры воздуха на скорость движения автомобилей

Наименование характеристики	Значение для автомобилей	
	Валдай-278422	КамАЗ-53212
Коэффициент корреляции	0.60	0.71
Коэффициент детерминации	0.35	0.50
t-статистика коэффициента корреляции	5.10	4.16
Уровень значимости коэффициента корреляции	0.99	0.99
Средняя ошибка аппроксимации, %	2.65	2.27
Остаточная дисперсия $S_{ост.}$	2.49	2.67
Дисперсионное отношение Фишера	1.49	1.80
Уровень адекватности	0.9	0.9
Коэффициент эластичности	0.026	0.023
Коэффициент влияния	0.61	1.21

Математическая модель влияния температуры воздуха на скорость движения автомобиля Валдай-278422:

$$V = 74,82 + 0,00261 \cdot (t + 21,5)^2, \quad (2)$$

где V – скорость движения автомобиля, км/ч;
 t – температура окружающего воздуха, °C.

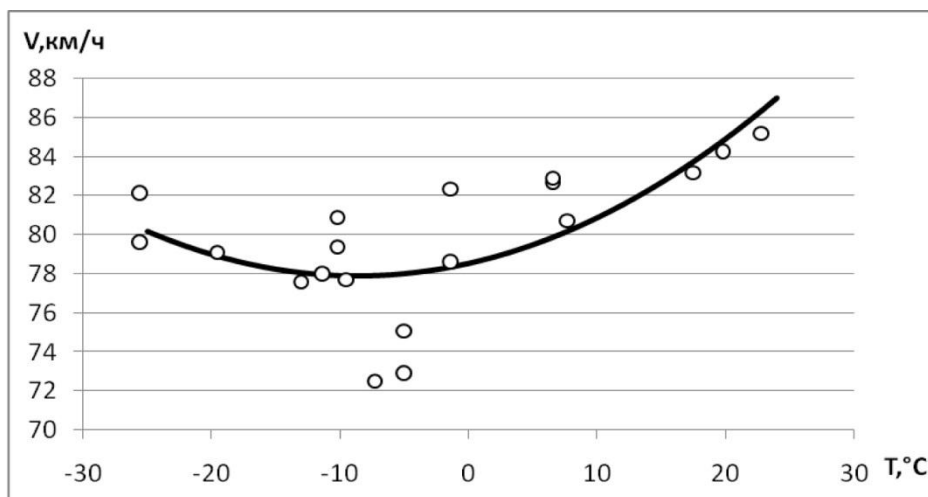


Рис. 3- Влияние температуры окружающего воздуха на скорость движения автомобиля КамАЗ-53212

Математическая модель влияния температуры воздуха на скорость движения автомобиля КамАЗ-53212:

$$V = 77,90 + 0,0085 \cdot (t + 8,6)^2, \quad (3)$$

где V – скорость движения автомобиля, км/ч;
 t – температура окружающего воздуха, °C.

Расчеты показали, что средняя ошибка аппроксимации не превышает 3 %, что свидетельствует об адекватности моделей. Дисперсионные отношения Фишера составляют 1,49 и 1,80, поэтому с вероятностью 0,9 можно сделать вывод об адекватности моделей экспериментальным данным. Таким образом, анализ статистических характеристик показал адекватность моделей влияния температуры воздуха на скорость движения автомобилей Валдай-278422 и КамАЗ-53212.

Таким образом, разница в скоростях движения при различной температуре окружающего воздуха достигает 5 ... 7 км/ч. При таком изменении средней скорости удельный расход топлива изменится на 10 ... 15% [3]. В настоящее время, при расчете норм расхода топлива влияние температуры воздуха на скорость движения автомобилей не учитывается. Вследствие этого, планируемый расход топлива может отличаться от фактического.

Список литературы

1. Автомобильные транспортные средства / Под ред. Д.П. Великанова. – М.: Транспорт, 1977. – 326 с.
2. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения: Учебник для вузов; Под. ред. А.П. Васильева. – М.:Транспорт, 1990. – 304 с.
3. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. – 312 с.
4. Захаров Н.С. Программа «REGRESS». Руководство пользователя. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 39 с.
5. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов.- 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
6. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 352 с.

05.16.07

А.М. Игнатова, А.О. Артемов, С.В. Наумов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
механико-технологический факультет,
кафедра сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

ИНФОРМАТИВНОСТЬ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ И ВЫБОРА ПЕТРУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

В работе представлены результаты изучения современных методов оценки петругигического сырья, предложен алгоритм наиболее информативной оценки, сформулирован полный перечень требований к петругигическому сырью.

Ключевые слова: Петругигия, каменное литье, оценка сырья, характеристика петругигических расплавов, требования к петругигическому сырью.

В настоящее время, все чаще рассматривается возможность организации петругигического производства с использованием в качестве сырья вторичных техногенных промышленных отходов. В связи с этим возникает необходимость адаптации существующих методов оценки сырья. Известно несколько подходов оценки петругигического сырья, однако, одного универсального метода не выработано, а применяемые сейчас не достаточно информативны, кроме того, каждый из методов обладают существенными недостатками, поэтому, что бы получить наиболее точную оценку приходится использовать сразу несколько различных способов оценки. Из-за этого увеличивается время оценки сырья, требуется большой комплекс подготовительных мероприятий по установлению исходных характеристик сырья. Совершенствование методов оценки петругигического сырья в направлении повышения их информативности, а так же уточнение требований к сырью и алгоритма его оценки является актуальной задачей петругигии.

Основная цель исследования авторов заключается в разработке научных основ переработки вторичных техногенных ресурсов металлургии и горно-обогатительного комплекса Урала и Предуралья по созданию сырьевой базы для петругигической промышленности регионов и обеспечения его каменным литьем, техническими и декоративными симиналами.

В рамках поставленной цели решается ряд задач, одна из которых заключается в рассмотрении известных методов оценки с выявлением их достоинств и недостатков, формирование алгоритма использования этих методик и создание наиболее полного перечня требований для петругигического сырья, обеспечивающих физико-механические, технологические и эксплуатационные свойства камнелитых изделий.

Объектом исследования являются все существующие методики оценки петругигического сырья и перечни требований к нему, предложенные за последнее столетие.

Анализ научно-технической информации и производственного опыта позволил установить хронологию появления методов оценки сырья, появление новых методов было связано с уточнением требований к петругигическому сырью по мере развития петругигии. Основные данные по хронологии появления методов, их достоинствах и недостатках, а также необходимые исходные данные для проведения оценки по данному методу и предшествующие, появлению метода, изменения требований к сырью представлены в табл.1.

С развитием и накоплением научных знаний в области петругигии все подробнее уточнялись требования к сырью. В начале достаточно было просто близости состава сырья к рекомендованному, затем стала необходимость в равномерном и мономинеральном составе сырья и литья, затем появились требования к технологическим параметрам сырья (обеспечите температуры плавления, кристаллизационной способности, вязкости и т.д.),

возникла необходимость в учете технологии изготовления, которые гарантировали определенные свойства расплава и готовых изделий.

Таблица 1

Методы оценки петругического сырья

Наименование метода и год его появления	Исходные данные необходимые для проведения оценки	Достоинства	Недостатки	Требования к сырью
1	2	3	4	5
Ф.Ю. Левинсон-Лессинг (1898) Расчет отношения числа атомов кислорода, связанного в кремнекислоте, к количеству атомов кислорода в других окислах [1]	Оксидный и химический состав	Простота использования	Не предназначен для оценки сырья, использовался для оценки кислотности пород	Начальный этап, необходимо было установить какую либо сравнительную характеристику сырья
А.С. Гинзберг (1934) Проекционная треугольная диаграмма [2]	Оксидный состав	Простота проведения, наглядность результатов, дает представление о вязкости и других литейных свойствах расплава	Не учитывает реальный минеральный состав сырья, не дает представления о фазовом составе и структуре литья	Близость сырья по составу к эталонным образцам на основе базальта
А.Н. Заварицкий (1941) Петрохимический анализ, вектора на тройной диаграмме [3]	Оксидный и минеральный состав	Дает представление о соотношении минеральных компонентов	Не учитывает качественной разницы между пироксенами и плагиоклазами, учитывает только равновесную кристаллизацию, не учитывает роли трехвалентного железа	Минеральный состав близкий к составу литья, мономинеральный состав литья
Н.Н. Ормонт (1951) Не симметричная диаграмма на основе схемы Боуэна [4]	Оксидный и минеральный состав	Учитывает возможность совместной кристаллизации пироксена и плагиоклаза	Применяет только для маложелезистого сырья с содержанием SiO_2 свыше 44%	Минеральный состав близкий к составу литья, мономинеральный состав литья
А.Г. Котлова Расчет на пироксен [5]	Оксидный и минеральный состав	Предполагает выбор сырья, гарантировано обеспечивающего мономинеральный пироксеновый состав	Учитывает только равновесную кристаллизацию, не учитывает роли трехвалентного железа	Близость сырья по составу к эталонным образцам на основе базальта, минеральный состав близкий к составу литья, мономинеральный состав литья
Г.А. Рашин, С.Д. Четверикова (1964) Пересчет по Ниггли [6]	Оксидный и минеральный состав	Учитывается технологический режим изготовления изделий, учитывается что при разных режимах достигается разная структура и свойства	Не учитывает отдельной роли разнородных катионов в процессе минералообразования	Близость фигуративной точки сырья к фигуративной точки литых камней полученной при определенной термообработке

1	2	3	4	5
Б.Х. Хан (1968) Пироксеновый модуль [7]	Ионные количества различных катионов	Простота интерпретации результатов, учитывается роль разнообразных катионов в минералообразование, Позволяет определить все технологические свойства	Не учитывает технологии изготовления литья	Сырье должно обеспечивать получения расплава с оптимальными показателями вязкости, температуры плавления и при определенной обработке гарантировано обеспечивать мономинеральный состав и свойства литья
Г.А. Лебедева, Г.П. Озерова, Ю.К. Калинина (1979) Классификация литья по положению фигуративной точки на диаграмме Ниггли и катионной диаграмме [8]	Данные о расчете на пироксены и расчете по Ниггли	Сочетание возможностей нескольких методов, возможность выбора наиболее рационального способа обработки для конкретного вида сырья	Не учитывает отдельной роли разнородных катионов в процессе минерало- образования	
В.П. Чернов (1998) Метод определения технологических характеристик по уровню содержания отдельных оксидов [9]	Оксидный состав, минеральный состав	Простота интерпретации результатов, позволяет определить все технологические свойства	Не учитывает комплексного влияния оксидов на технологические свойства	

Уточнение требований стимулировало совершенствование методов оценки сырья, однако, практически все исследователи основывались на весьма скудных входных данных, используя данное о химическом и минералогическом составе. Вероятнее всего это можно объяснить, тем, что уровень развития исследовательской техники на тот период времени не позволял на практике определять другие параметры сырья.

В настоящее время, наши исследования с применением современных технических возможностей, что наилучшие результаты по оценке сырья можно получить используя практический, а не аналитический подход.

В частности для оценки технологических свойств сырья, а именно температуры плавления, кристаллизационной способности, интервала кристаллизации, а так же поведение расплава при определенной скорости охлаждения могут быть проведены исследования по методу термического анализа. Минеральный состав и соотношение минеральных фаз могут быть определены при рентгенофазовом анализе и растровой электронной микроскопии.

Однако, проведение столь обширных и трудоемких исследований для каждого предполагаемого образца сырья не целесообразно. Следовательно, для повышения информативности оценки сырья и ее рационализации необходимо комбинировать аналитические практические методы, требуется составить определенный алгоритм.

Предлагаемый нами алгоритм оценки петругического сырья согласованный с перечнем требований представлен на рис. 1.

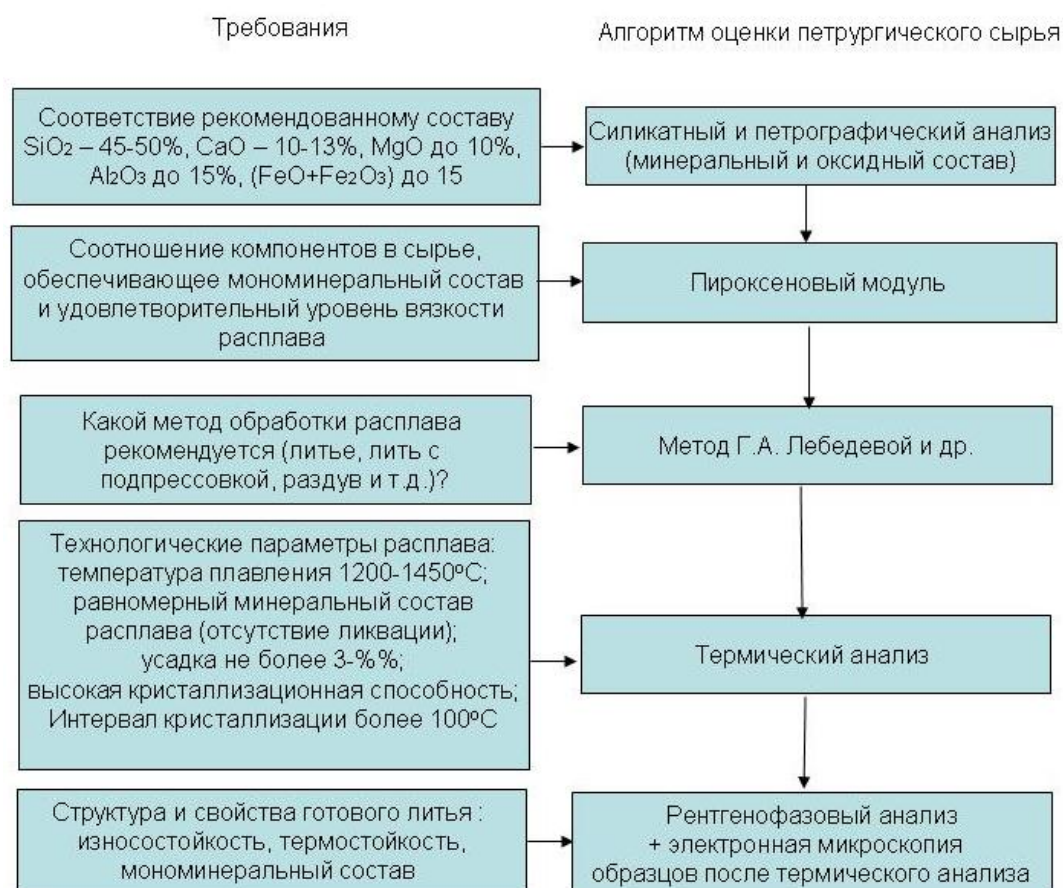


Рис. 1. Требования и алгоритм проведения оценки и выбора петругического сырья

Таким образом, проведен анализ существующих методик оценки петругического сырья, выявлены их достоинства и недостатки, определен наиболее полный перечень требований к петругическому сырью и предложен алгоритм, учитывающий не только аналитические, но и практические способы оценки, в алгоритм включены наиболее современные и информативные методы. Предложенный алгоритм пригоден для оценки вторичных техногенных ресурсов металлургического и горно-обогатительного комплекса Урала и Предуралья.

Список литературы

1. Проблемы магмы и генезиса изверженных горных пород. // Сб. под ред Афанасьева Г.Д. и др. – М.: Изд-во АН СССР. – 1963. - 272 с.
2. Гинзберг А.С. Влияние изменения химического состава различных окислов на свойства плавленных горных пород //Труды Петрографического института АН СССР, вып. 1. – М.: Изд-во АН СССР, 1938. – 45-67 с.
3. Заварицкий А.Н. Изверженные горные породы – М.: Изд-во АН СССР. – 1962. - 487 с.
4. Ормонт Ю.Ф. О применении несимметричных диаграмм состояния при исследовании сложных систем// ЖФХ. – 1946, № 9. – 21 -39 с.
5. Котлова А.Г. Некоторые данные по кристаллизации базальтовых и пироксеновых расплавов и стекол//Тр. Ин-та геологии руд. месторождений, петрографии, минералогии и геохимии.-1958. -Г 30. -С. 56-87.
6. Рашин Г.А. Петрохимический метод оценки сырья для каменного литья//Изв. высш. уч. завед. Геология и разведка - 1964, № 9. - с.71-80.
7. Хан Б.Х. Оценка технологических характеристик петругических расплавов при использовании пироксенового модуля//Сб. Проблемы каменного литья. - Киев: Наукова Думка, 1975. - 184-192 с.
8. Игнатова А.М., Юдин М.В. Аналитическая оценка пригодности нерудных материалов Пермского края для камнелитейного производства. – Тр. VIII Всерос. школы-семинара с международным участием «Новые материалы. Создание, структура, свойства-2008». – Томск: ТПУ, 2008. – с. 228 -231.
9. Чернов В.П. Влияние химического состава и технологических факторов на структуру и механические свойства шлако-каменного литья// Вопросы прикладной химии: Межвуз. сб. тр. — Магнитогорск: МГТУ, 1999.-с. 135-142.

05.02.10

**А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов д.т.н., А.Н. Шаманов,
А.В. Коврижных, А.В. Канина, А.И. Черняев**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
механико-технологический факультет,
кафедра сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
ОАО «Камасталь»,
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

**КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СТАЛИ 09Г2С НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПЕРЕДЕЛА**

В работе представлены результаты изучения качественных изменений неметаллических включений в стали на всех этапах получения заготовки от переплава металлома до получения проката.

Ключевые слова: *неметаллические включения, сталь, металлургический передел.*

Наибольшей проблемой при производстве стали является обеспечение ее качества путем снижения вредных примесей и неметаллических включений (НВ). Неметаллические включения представляют собой большую проблему, чем вредные примеси (сера, фосфор) [1-6]. Актуальными являются исследования для разработке мероприятий по минимизации количества и размеров включений.

В данной статье преследуется цель представить последовательные изменения морфологии и состава включений, их дисперсность и долю в основном металле, на разных этапах металлургического передела в динамике.

Основные этапы металлургического передела – выплавка жидкой заготовки, доводка расплава по химическому составу и температуре (продувка газом, вакуумирование) и непрерывная разливка.

Изменения химического состава основного металла на разных этапах металлургического передела представлены в табл. 1. С каждым из этапов в металле постепенно снижается концентрация углерода, серы и алюминия, концентрация фосфора остается неизменной, а концентрация остальных легирующих компонентов возрастает.

Для того что бы подробно изучить все характерные изменения, происходящие с неметаллическими включениями была составлена программа исследований. Вначале оценивалась общая доля включений и их фракционный состав с помощью аппаратного комплекса «ВидеоТест-Металл 1.0», затем проводилась растровая электронная микроскопия (РЭМ) с применением рентгеноспектрального анализа для определения химического состава.

По данным «ВидеоТест-Металл 1.0» установлено, что общий объем включений по отношению у основному металлу в образцах сталей в значительной степени изменялся после дугового переплава, в дальнейшем общий объем значительно не изменяется (рис. 1). Однако, на различных этапах замечены изменения фракционного состав включений, а так же обнаружено сужение диапазона фракционного состава (рис. 2).

Таблица 1

Изменения химического состава стали 09Г2С										
Вид этапа	Химический состав, % мас.									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	Al
Дуговой переплав	0,05-0,12	0,08-0,09	0-0,01	0,012-0,013	0,057-0,063	0,13-0,14	0,14-0,15	0,029-0,031	0-0,001	0,27-0,416
Внепечная обработка	0,05-0,09	0,34-1,39	0,16-0,56	0,012-0,014	0,014-0,056	0,11-0,12	0,14-0,15	0,038-0,056	0,001-0,012	0,01-0,286
Непрерывная разливка	0,08-0,09	1,34-1,35	0,51-0,56	0,012-0,013	0,011-0,013	0,11-0,13	0,12-0,13	0,056-0,06	0,01-0,012	0,019-0,022

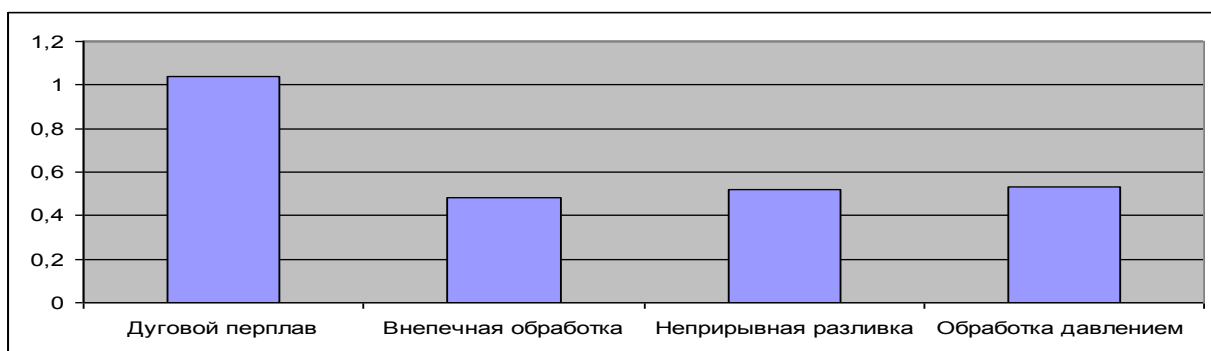
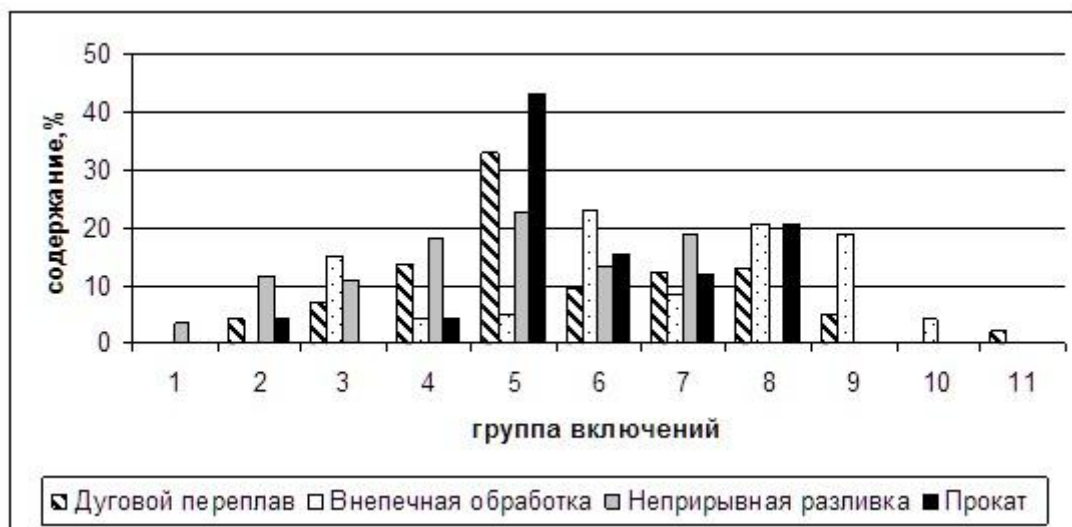
Рис. 1. Содержание включений (%) по отношению к основному металлу в одном 1мм²

Рис. 2. Содержание включений различных размерных групп в стали 09Г2С на разных этапах металлургического передела

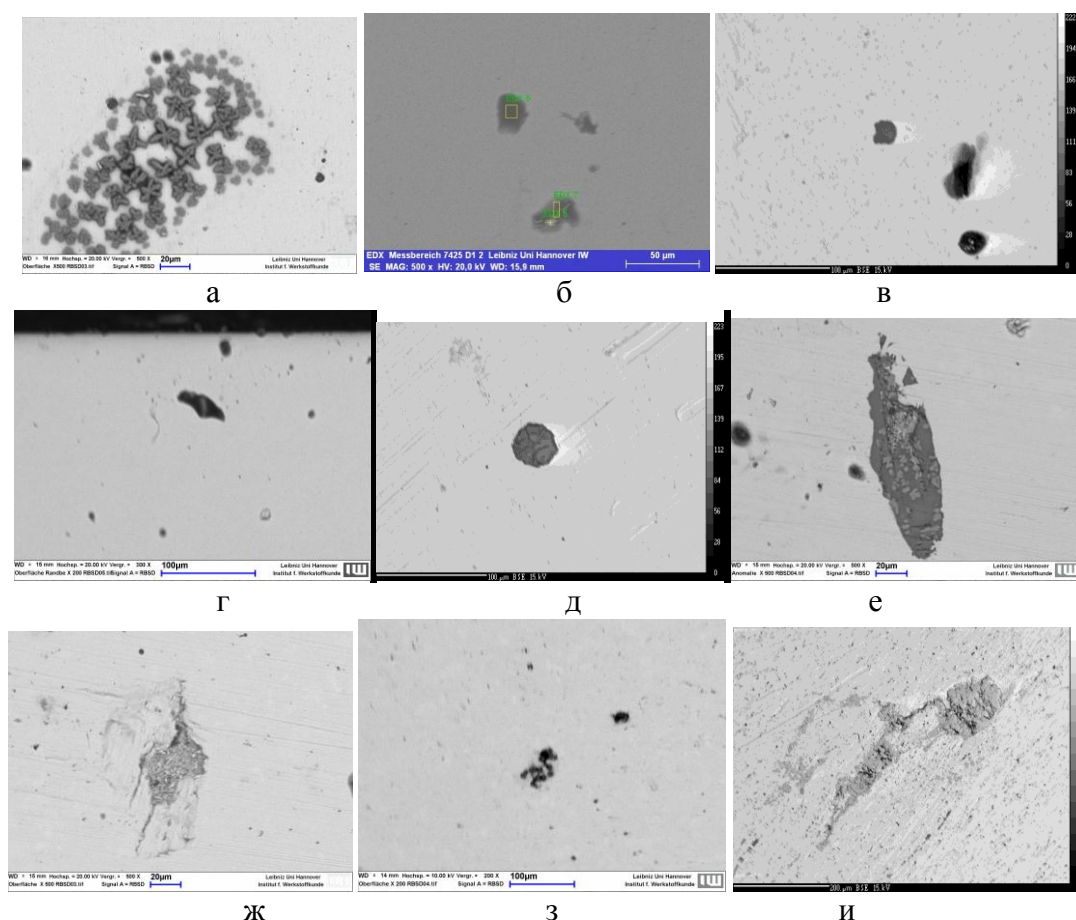


Рис. 3. Неметаллические включения в стали 09Г2С:

а, б, в - в образцах после дугового переплава; г, д - в образцах после внепечной обработки; е, ж - в образцах после непрерывной разливки; з, и - в образцах прокатной продукции

Образцы стали 09Г2С отобранные после дугового переплава содержали включения трех типов: скопления дендритных «звездочек» размером 15-20 мкм (рис. 3, а), остроугольные образования 10-20 мкм (рис. 3, б) и сферические (рис. 3, в). Исследования их химического состава указывают, что включения первого типа («звездочки») содержат в основном феррит натрия NaFeO_2 и FeCl_3 , второго (остроугольные) – хромистый цементит $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$, третьего (сферические) – ферромарганец, оксид железа и дистен $(\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4))$. Разнообразие включений по форме и составу объяснимо происхождением заготовки полученной из металлолома.

В образце после внепечной обработки обнаружены включения уже только двух типов сферические (рис. 3, г) и вытянутые составные (рис. 3, д). Согласно сведений о химическом составе включений, сферические состоят из оксида железа с примесью анортита $(\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$. Вероятно, что ядро это карбид железа, а оболочка содержит сульфид железа, сульфид натрия, сульфид марганца, остаточные явления FeCl_3 и так же возможно анортит.

Качественные отличия между включениями обнаруженными после дугового переплава и после внепечной обработки указывают на то что, в расплаве протекает реакция между включениями содержащими железо и кислородом, данный процесс катализирует выделение серы, так же очевидно что алюминий, который используется в качестве раскислителя остается в расплаве не в виде частиц корунда, а в виде анортита, сложного и анизотропного соединения.

В образцах после непрерывной разливки присутствуют включения двух типов – вытянутые с вкраплениями (рис. 3, е) и бесформенные (рис. 3, ж), в образце так же встречаются сферические включения обнаруженные нами ранее на других стадиях передела, они перешли на данный этап передела без изменений. Обращает на себя внимание тот факт,

что вторые явно деформированы в процессе затвердевания металла образца, о чем свидетельствует наличие микротрещин в металле вокруг включения. При изучении составов включений обнаружено выделение титана, который находится во включение предположительно в форме ильменита (FeTiO_3), но его доля весьма мала.

Состав включений указывает что на этапе непрерывной разливки, перемещение расплава и воздействие струи с кислородом, так же является катализирующим процессом при обработке металла, который способствует «извлечению» скрытых элементов из расплава, сами же эти элементы очевидно возникли из металлоотходов служащих сырьем.

В образцах после обработки металлических заготовок давлением (получением проката) обнаружены включения, морфология которых сильно отличается от всего увиденного ранее, конечно часть мелких включений осталось без изменений, но остальные перешли из остроугольной, сферической или какой либо другой формы в раздробленные агломерационные скопления (рис. 3 з, и). Касательно их химического состава можно отметить следующее, они имеют тот же состав что и ранее сферические частицы или продолговатые, однако в некоторых из них обнаруживается выделение магния и азота, что может указывать на образование нитридов железа или нитридов кальция.

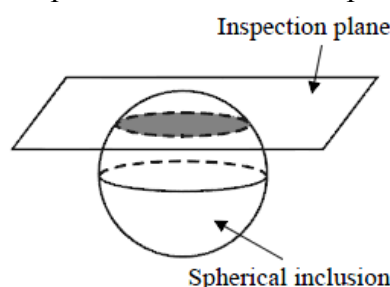


Рис. 4. Сферическое включение в стали исследуемое по двумерной поверхности одной из его частей

Недостатком РЭМ является отсутствие возможности оценки трехмерного строения включения. Поэтому даже при совпадении предположения о форме включения в двумерной и трехмерной системе координат могут быть искажены представления о размере включений, данная ситуация проиллюстрирована схемой на рис. 4.

Однако, отсутствие трехмерной интерпретации результатов не мешает трактовать динамику изменения параметров неметаллических включений на разных этапах металлургического передела.

Таким образом, по проделанному исследованию можно сделать следующие выводы:

- в настоящее время оценка загрязненности металла неметаллическими включениями производится в основном по количественной, а не по качественной характеристике, что является недостаточным, поскольку установлено, что при положительном изменении количества включений могут произойти их негативные качественные преобразования по форме и размеру;
- процедура раскисления приводит не только к удалению окисленного железа, но и к такому негативному явлению как «вытягиванию» из расплава серы и других элементов склонных образовывать не крупные но весьма вредоносные включения;
- поскольку сырье (металлический лом) зачастую сильно загрязнено. То в расплаве распределены многие элементы которые постепенно переходят в формацию включений в результате каталитического химического или механического (деформационного) воздействия;
- подбор раскислителей должен учитывать, какие по минералогическому составу будут образовываться включения;
- отсутствие значимых качественных изменений включений возможно только после вакуумирования, раскислении после вакуумирования не желательными с точки зрения

минералообразования, хоть и рекомендованными раскислителями может ухудшить качество металла;

– представление о природе включений не может быть достоверным без трехмерной интерпретации полученных о них данных.

Список литературы

1. *Кудрин В.А.* Внепечная обработка чугуна и стали. М.: Металлургия, 1992.-336 с.
2. *Поволоцкий Д.Я.* Раскисление стали.-М.:Металлургия,1972.-208 с.
3. *Кнюппель Г.* Раскисление и вакуумная обработка стали. Пер. с нем. -М.: Металлургия, 1984.- 414 с.
4. *Поволоцкий Д.Я.* Неметаллические включения в стали.- М.: Металлургия, 1974 197 с.
5. *Виноградов М.И., Громова Г.П.* Включения в легированных сталях и сплавах. М.: Металлургия, 1971.- 315 с.
6. *Бахметьев В.В., Колокольцев В.М.* Улучшение свойств сталей воздействием на их расплав.// Литейное производство.- 1997, №5.- С.30-31.

05.17.01

С.В. Лановецкий к.т.н., О.Р. Середкина, В.З. Пойлов д.т.н., А.А. Кетов д.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, lsv98@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕССУЛЬФАЧИВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО РАСТВОРА НИТРАТА МАГНИЯ

Проведены исследования по очистке технического раствора нитрата магния от ионов SO_4^{2-} соединениями бария в лабораторных и промышленных условиях. Показано, что для повышения эффективности очистки растворов от сульфат-ионов соединения бария следует вводить в раствор азотной кислоты на стадии приготовления водоотнимающей добавки.

Ключевые слова: *раствор нитрата магния, сульфаты, гидроксид бария, нитрат бария.*

Нитрат магния в безводном состоянии может присоединять до шести молекул воды, образуя гексагидрат нитрата магния $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ [1]. При этом одна массовая часть безводной соли может связать около 0,7 массовых частей воды. Данное свойство нитрата магния и обусловило его применение на ОАО «Азот» (г. Березники) в качестве водоотнимающего средства в цехе по производству концентрированной азотной кислоты. Нитрат магния вводится в технологический процесс производства аммиачной селитры в виде раствора, который по мере упаривания и получения высококонцентрированного плава селитры обезвоживается. Находясь в гранулах аммиачной селитры, безводный нитрат магния связывает оставшуюся в плаве свободную воду в химическое соединение, в результате чего получается безводный продукт, обладающий очень хорошими физико-химическими свойствами [2-5].

Технология приготовления раствора нитрата магния заключается в растворении магнезита азотной кислотой и фильтрацией полученного раствора на пресс-фильтрах.

Сырьем для приготовления магнезиальной добавки служит каустический магнезит, получаемый при обжиге природного минерала – магнезита, добываемого в Челябинской области (Саткинское месторождение). Согласно ГОСТ – 1216–87 порошок магнезитовый каустический (ПМК) выпускается нескольких марок. Состав некоторых из них представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Технические требования к магнезиту

Наименование показателя	Норма для марок					
	ПМК-90	ПМК-87	ПМК-83	ПМК-75	ПМКМк-80	ПМКМк-75
Массовая доля (на абсолютно сухое вещество), %						
MgO, не менее	90	87	83	75	80	75
CaO, не более	2,2	1,8	2,5	4,5	2,5	3,5
SiO ₂ , не более	2,0	1,8	2,5	3,5	2,0	2,5
Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃ , не более	2,2	2,2	—	—	2,8	3,5
Сульфаты (в пересчете на SO ₄), не более	1,0	—	—	—	—	—
C, не более	—	—	—	—	0,2	0,3
Изменение массы при прокаливании, %, не более	5	6	8	18	8	8
Массовая доля влаги, %, не более	1	1	1,3	1,5	—	—

Как видно из таблицы, сульфаты в магнезитовом порошке, кроме марки ПМК-90, не нормируются, но именно они, как показали результаты лабораторных исследований, в дальнейшем оказывают существенное влияние на инкрустацию теплообменного оборудования в производстве аммиачной селитры.

В зависимости от содержания сульфатов в магнезитовом порошке концентрация SO₄²⁻ в растворе может колебаться от 1,5 до 6 г/дм³. Повышенное же содержание сульфатов, более 2–2,5 г/дм³, приводит к высаливанию MgSO₄ на стадии выпарки и грануляции аммиачной селитры. Данный процесс приводит к ухудшению теплообмена и увеличению сопротивления теплообменного оборудования. Производство останавливают на промывку, что в конечном итоге сказывается на выпуске готовой продукции.

Для устранения данной проблемы необходимо понизить (лимитировать) содержание ионов SO₄²⁻ в растворе нитрата магния до 1–2 г/дм³. Именно такое содержание сульфатов обеспечивает минимальное солеотложение на стенках теплообменного оборудования.

Для очистки технического раствора нитрата магния от сульфатов исследовали химическое осаждение ионов SO₄²⁻ нитратом и гидроксидом бария при различных стехиометрических соотношениях. Содержание сульфат ионов определяли методом химического анализа по ГОСТ 8269.1-9. Опыты проводились как в лабораторных условиях, так и на промышленной установке.

Первая серия экспериментов заключалась во введении в готовый 30 % раствор нитрата магния 5 % раствора Ba(NO₃)₂ при соотношении Ba²⁺ к SO₄²⁻ = 1:1. Незначительный процент нитрата бария обусловлен небольшой растворимостью данного соединения в воде [6].

Остаточная концентрация сульфат-ионов в очищенном растворе составила в среднем около 0,027 г/дм³, а степень очистки – порядка 98,6 %. Несмотря на хорошие конечные результаты, недостатком такого способа явилось то, что в раствор нитрата магния попадает определенное количество воды, которую в дальнейшем придется упаривать. Так, в 1 дм³ готового раствора нитрата магния, содержащего около 2 г/дм³ сульфатов, с нитратом бария добавляется около 95 г воды. К тому же Ba(NO₃)₂ является относительно дорогим сырьем, что приведен к увеличению себестоимости готовой продукции.

Поэтому следующие серии экспериментов проводились с твердыми соединениями бария. Использовали порошок Ba(OH)₂·8H₂O, который добавлялся в определенных количествах в готовый раствор нитрата магния (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты второй серии экспериментов по осаждению сульфатов из раствора нитрата магния гидроксидом бария

Нп/п	Содержание SO_4^{2-} в 30 % растворе $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, г/дм ³	Количество вводимого $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, г/дм ³	Соотношение Ba^{2+} к содержанию SO_4^{2-} по стехиометрии	Содержание SO_4^{2-} в растворе после очистки, г/дм ³	Степень очистки, %
1	2,67	8,90	2:1	0,031	98
3	3,14	10,50	1:1	0,370	88
4	3,14	5,25	0,5:1	1,440	54
5	2,40	8,02	1:1	0,740	69
6	2,00	6,70	1:1	0,330	84

Как показали результаты экспериментов (см. табл. 2), при добавлении гидроксида бария в раствор нитрата магния, по стехиометрии к сульфатам, достигается неплохая степень очистки, порядка 85%. При соотношении бария к сульфатам 2:1 степень очистки увеличивается до 98 %, но в растворе после фильтрации мы получим избыток ионов бария, что не соответствует техническим требованиям на готовый продукт.

Для дальнейшего изучения очистки раствора $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ от сульфатов условия эксперимента были несколько изменены. Соединения бария предварительно вводились не в готовый раствор нитрата магния, а в 30 % раствор азотной кислоты, куда уже в дальнейшем подавался порошок магнезита. Соотношение бария к сульфатам соответствовало стехиометрии. Результаты данной серии опытов представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты третьей серии экспериментов по осаждению сульфатов из раствора нитрата магния гидроксидом бария

Содержание SO_4^{2-} в 30 % растворе $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, г/дм ³	Количество вводимого $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, г/дм ³	Соотношение Ba^{2+} к содержанию SO_4^{2-} по стехиометрии	Содержание SO_4^{2-} в растворе после очистки, г/дм ³	Степень очистки, %
3,06	10,034	1:1	0,26	91,5

Как показал анализ проведенных экспериментов, степень очистки в третьей серии даже несколько возросла по сравнению со второй и составила 91,5%. Небольшое повышение степени очистки возможно объясняется более равномерным распределением ионов Ba^{2+} в растворе азотной кислоты, что в дальнейшем обеспечило более эффективный процесс образования осадка сульфата бария.

Промышленные испытания проводили на действующей технологической установке по приготовлению 30 % раствора нитрата магния. В связи с отсутствием в больших количествах нитрата бария эксперименты проводились с использованием восьмиводного гидроксида бария. Аналогично лабораторным экспериментам испытания проводились в две серии. Первая серия заключалась во введении гидроксида бария в готовый раствор нитрата магния, вторая – предполагала приготовление раствора гидроксида бария с 30 % азотной кислотой с последующим добавлением магнезита. Результаты испытаний представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Результаты промышленных испытаний

Нп/п	Содержание SO_4^{2-} в 30 % растворе $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, г/дм ³	Количество $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ на 13 м ³ раствора $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, кг	Соотношение Ba^{2+} к содержанию SO_4^{2-} по стехиометрии	Содержание SO_4^{2-} в растворе после очистки, г/дм ³	Степень очистки, %
Гидроксид бария вводился в готовый раствор $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$					
1	2,4	80	0,67:1	1,40	40
2	1,7	160	1,86:1	0,60	65
Гидроксид бария вводился в 30 % раствор HNO_3 с последующим добавлением магнетита					
1	2,2	80	0,7:1	1,0	55

Как показали результаты промышленных испытаний, при введении гидроксида бария в раствор азотной кислоты степень очистки несколько выше (55%), чем при добавлении $\text{Ba}(\text{OH})_2$ в готовый раствор нитрата магния (40%), что подтверждает результаты лабораторных исследований. Переизбыток бария в промышленных условиях не дает значительного повышения степени очистки (до 65 %), но в то же время значительно увеличивается вероятность загрязнения раствора соединениями Ba^{2+} .

Таким образом, результаты проведенных исследований показали возможность применения в промышленных условиях баритового способа очистки раствора нитрата магния от сульфатов. При этом соединения бария рекомендуется вводить не в готовый раствор $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, а добавлять их еще на стадии приготовления 30 % раствора азотной кислоты, в количестве, несколько меньшим стехиометрического, чтобы исключить загрязнение раствора солями бария.

Использование данного способа очистки позволит снизить содержание сульфатов в растворе и исключить повышенную инкрустацию теплообменного оборудования.

Список литературы

1. Технология аммиачной селитры. Под ред. В.М. Олевского. – М.: Химия, 1978. – 312 с.
2. Способ получения пористой гранулированной аммиачной селитры: пат. 2311344 Рос. Федерация: МПК С01С1/00, С06В31/28, С06В21/00 / В.Н. Ковалев, Д.Н. Петухов, С.И. Костюков; патентообладатель: ООО «Санкт-Петербургская нефтегазохимическая компания». – № 2006111677/15; заявл. 30.03.2006; опубл. 27.11.2007.
3. Способ производства аммиачной селитры: пат. 99115997 Рос. Федерация: МПК С05С1/00, С01С1/18 / М.Л. Ферд; патентообладатель: М.Л. Ферд. – № 99115997/12; заявл. 23.07.1999; опубл. 10.05.2001.
4. Способ получения пористой гранулированной аммиачной селитры: пат. 2241668 Рос. Федерация: МПК С01С1/18 / А.И. Суханов, С.Д. Черемисинов, Ю.А. Мелихов, и др.; патентообладатель: Открытое акционерное общество «Азот». – № 2004101006/15; заявл. 12.01.2004; опубл. 10.12.2004.
5. Способ получения несслеживающейся аммиачной селитры: пат. 2143414 Рос. Федерация: МПК С05С1/02, С01С1/18 / А.Г. Кузнецов, О.А. Полякова, Б.А. Соловьев, А.Б. Козырев; патентообладатель: ОАО «Минудобрения». – № 98117811/12; заявл. 28.09.1998; опубл. 27.12.1999.
6. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. – М.: Химия, 1989. – 448 с.

05.17.01

С.В. Лановецкий к.т.н., А.Г. Старостин, В.З. Пойлов д.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра химической технологии и экологии,
Пермь, lsv98@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕРМОРАЗЛОЖЕНИЯ РАСТВОРОВ НИТРАТА МАРГАНЦА

Исследован процесс термического разложения растворов нитрата марганца на танталовой подложке. Установлено влияние концентрации раствора, скорости нагрева, поверхностно-активного вещества, затравочных кристаллов на формирование структуры пленки диоксида марганца.

Ключевые слова: *нитрат марганца, диоксид марганца, термическое разложением, танталовая подложка.*

В технологии танталовых оксидно-полупроводниковых конденсаторов большое значение имеет обеспечение получения пленок диоксида марганца с заданной кристаллической структурой, высокой удельной поверхностью и заданными электрическими характеристиками [1-4].

Процесс нанесения пленки диоксида марганца на анод связан с пропиткой пористого танталового электрода растворами нитрата марганца и последующим терморазложением при температуре 240-290°C [5]. На структуру формирующейся оксидной пленки существенное влияние оказывают такие факторы как концентрация раствора нитрата марганца, скорость нагрева, добавки органических веществ и затравка MnO_2 [6].

В настоящей работе приводятся результаты экспериментов по исследованию процесса термического разложения раствора нитрата марганца различных концентраций на танталовой подложке.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве исходных веществ для приготовления растворов нитрата марганца различной концентрации (10–71% масс) использовались гексагидрат и тетрагидрат нитрата марганца марки Ч. Раствор наносился на танталовую подложку, которая впоследствии помещалась в трубчатую печь ПТ-1,2-40. Нагрев осуществлялся двумя способами:

1. Плавный нагрев образцов от температуры 23°C до 290°C за временной интервал 5,5 мин с выдержкой в печи при конечной температуре в течение 4 мин;
2. Ударный нагрев путем внесения образцов в печь при температуре 290°C с выдержкой в течении 4 мин.

Для анализа морфологии получаемой пленки диоксида марганца использовали сканирующий электронный микроскоп высокого разрешения «S-3400N» японской фирмы «Hitachi». Исследования структуры пленки диоксида марганца проводили по полученным микроснимкам с использованием программы обработки цифровых изображений «MYscope Photo».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

В виду того что в результате нагрева раствора нитрата марганца происходит бурное выделение продуктов терморазложения (H_2O и NO_2), была предпринята попытка проанализировать, как скорость нагрева и концентрация раствора влияют на морфологию получаемой пленки оксида марганца.

Пленка, полученная при терморазложении 10% раствора нитрата марганца (не зависимо от скорости нагрева) практически не имеет пор (рис.1 а, б). В отдельных местах

наблюдаются трещины и сколы. Благодаря малой концентрации раствора поверхность пленки получилась достаточно ровной и непористой.

При ударном нагреве 27% раствора нитрата марганца, так же была получена относительно ровная пленочная поверхность (рис. 2 *г*). Плавный нагрев 27% раствора нитрата марганца привел к формированию достаточно пористой структуры (рис. 2 *в*). Средний размер пор пленки полученной при плавном нагреве составляет порядка 10,3 мкм.

На рис. 1 *д, е* представлены фотографии пленок полученных в результате пиролиза 62% раствора нитрата марганца. Средний размер пор пленки диоксида марганца для плавного нагрева составил около 10 мкм, для ударного нагрева порядка 11 мкм.

На рис. 1 *ж, з* представлены микрофотографии поверхности пленки диоксида марганца полученной при плавном и ударном нагреве 71% раствора нитрат марганца. Средний размер пор пленки диоксида марганца для плавного нагрева составил около 25 мкм, для ударного нагрева порядка 7,3 мкм.

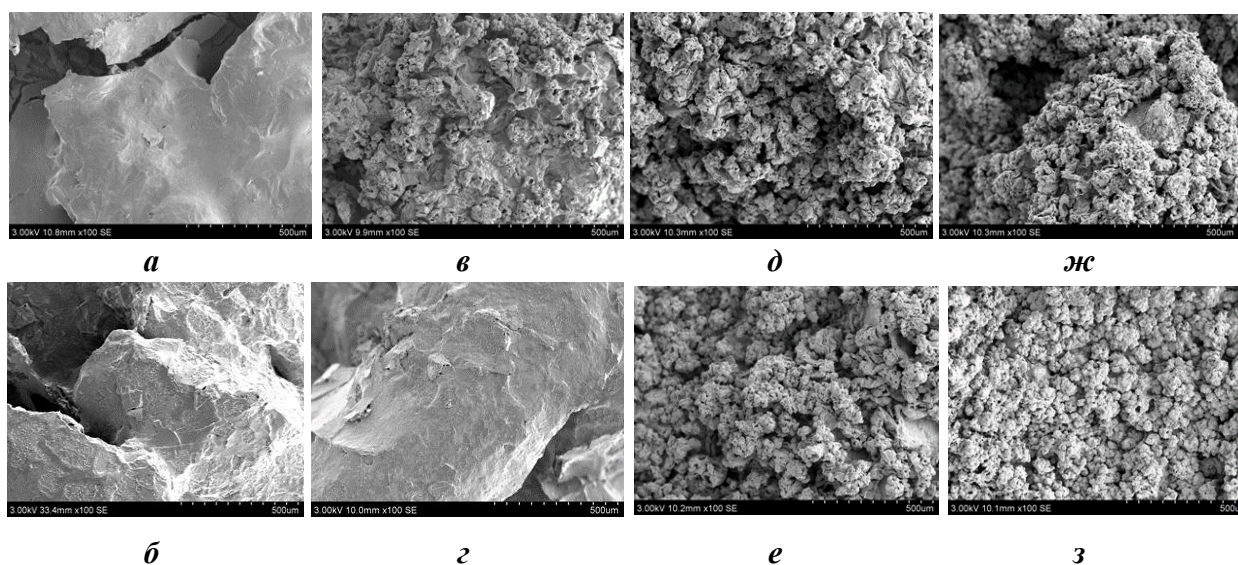


Рис. 1 – Оксидная пленка, полученная при терморазложении растворов нитрата марганца: *а, в, д, ж* – плавный нагрев, *б, г, е, з* – ударный нагрев

Обобщенные результаты зависимости среднего размера пор от концентрации раствора и скорости нагрева представлена в табл. 1. Анализ результатов представленных в таблице показывает, что при ударном нагреве, в целом, средний размер пор, формируемых в результате процесса терморазложения нитрата марганца, уменьшается. Быстрый нагрев способствует созданию высоких температурных градиентов, благодаря которым значительно возрастает скорость снятия пересыщения. Все это приводит к формированию большого количества зародышей (твердой фазы оксигидратных соединений марганца) и росту вязкости раствора. В результате того, что вязкость раствора и его поверхностное натяжение при ударном нагреве возрастает быстрее, на пузырьки, формирующиеся в результате разложения $Mn(NO_3)_2$ и кипения воды при быстром нагреве, оказывается более значительное давление со стороны раствора, чем при плавном нагреве. Все это способствует уменьшению размера пор на поверхности пленки диоксида марганца, полученной в результате терморазложения раствора.

Таблица 1 – Зависимость среднего размера пор (d_{cp}) от концентрации раствора и вида нагрева

Концентрация раствора нитрата марганца, %	d_{cp} при плавном нагреве, мкм	d_{cp} при ударном нагреве, мкм
10	-	-
27	10,3	-
62	10	11
71	25	7,3

Оценка влияния поверхностно-активных веществ проводилась с добавкой глицерина в количестве 0,5% [6] от массы раствора нитрата марганца различных концентраций (10-71%). Условия нагрева были аналогичны предыдущей серии экспериментов. Результаты полученных данных представлены на табл.2.

Таблица 2 – Зависимость среднего размера пор от концентрации раствора и скорости нагрева

Концентрация раствора нитрата марганца, %	Средний диаметр пор при плавном нагреве с 0,5% добавкой глицерина, мкм	Средний диаметр пор при ударном нагреве с 0,5% добавкой глицерина, мкм
10	-	-
27	18	18
62	11	11
71	9	11

Анализ результатов представленных в таблице показывает, что добавка глицерина выравнивает размеры пор полученной пленки диоксида марганца и скорость нагрева уже практически не оказывает влияние на их средний размер. При этом прослеживается тенденция к уменьшению размера пор с увеличением концентрации раствора нитрата марганца, что так же можно объяснить увеличением вязкости раствора и возрастанием оказываемого давления на пузырьки газа внутри раствора.

Кроме влияния условий терморазложения на средний размер пор была проанализирована общая пористость пленки (отношение площади всех пор к общей площади пленки) для всех проводимых экспериментов. Результаты исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Зависимость общей пористости образцов пленок от концентрации раствора, скорости нагрева и добавки глицерина

Концентрация раствора нитрата марганца	Пористость при плавном нагреве	Пористость при плавном нагреве с добавкой глицерина	Пористость при ударном нагреве	Пористость при ударном нагреве с добавкой глицерина
10%	-	-	-	-
27%	0,108	0,046	-	0,093
62%	0,146	0,064	0,128	0,122
71%	0,149	0,032	0,132	0,127

Как видно из таблицы общая пористость пленок при добавке 0,5% глицерина снижается как при ударном, так и при плавном нагреве, однако при плавном нагреве раствора с добавкой глицерина пористость снижается в зависимости от концентрации раствора от 2 до 5 раз. Особенно это ярко выражено при максимальной концентрации раствора нитрата марганца (71%).

Следовательно, добавка глицерина в количестве 0,5% от общей массы раствора позволяет значительно снизить пористость пленки диоксида марганца полученной при плавном нагреве раствора.

Для выявления влияния концентрации глицерина на морфологию пленки диоксида марганца были взяты две концентрации раствора нитрата марганца 27 и 71%, а также добавки глицерина в количестве 0,5; 1 и 1,5% от исходной массы раствора. Эксперимент проводился при ударном нагреве, так как этот режим наиболее близок производственным условиям.

Результаты исследований влияния концентрации глицерина на структуру пленки диоксида марганца полученной в результате терморазложения 27% и 71% раствора нитрата марганца представлены на рис. 2.

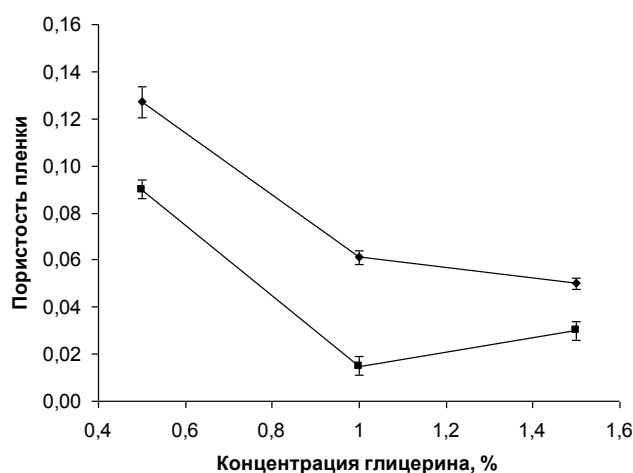


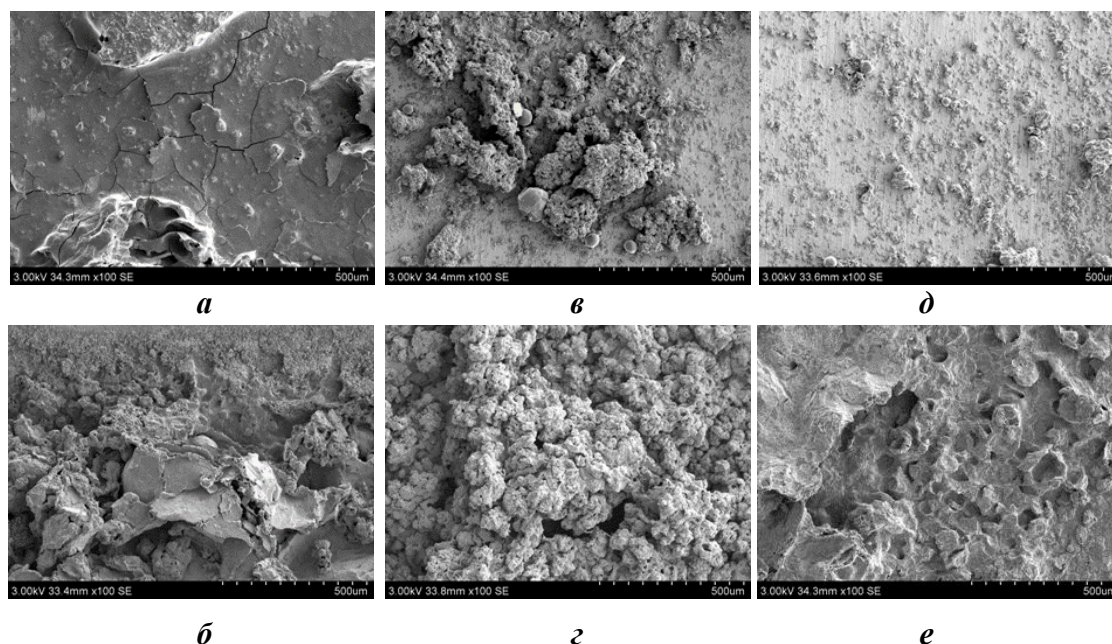
Рис.2 – Зависимость пористости образца от концентрации глицерина

Как видно из рисунков наименее пористая пленка диоксида марганца формируется при 1% добавке глицерина. С увеличением добавки глицерина до 1,5 % размер пор снова начинает увеличиваться. Для пленки, полученной в результате терморазложения 71% раствора, пористость с ростом глицерина снижается.

Известно, [7] что в процессе кипения раствора можно выделить два этапа воздействия поверхностно-активных веществ: снижение поверхностного натяжения на поверхности пар-раствор и образование градиентов поверхностного натяжения на поверхности газового пузыря, которые приводят к ряду эффектов. Первый фактор вызывает снижение работы на образование поверхности пузыря и, как следствие, увеличение удельной поверхности контакта фаз пар-раствор. Образование градиентов поверхностного натяжения приводит к появлению касательных сил на поверхности газового пузыря, что, в свою очередь, приводит к образованию межфазной турбулентности и снижению скорости всплытия пузыря. Образование межфазной турбулентности значительно увеличивает скорость теплоотдачи в процессе пузырькового кипения.

Таким образом, процесс удаления воды и разложения нитрата марганца с выделением оксидов азота протекает значительно быстрее с добавкой поверхностно-активного вещества, а непосредственно процесс кристаллизации и формирования пленки диоксида марганца протекает в менее активном режиме, что способствует формированию более ровного пленочного покрытия.

С целью оценить влияние затравки на структуру диоксидной пленки, формируемой в процессе терморазложения нитрата марганца на поверхности танталовой подложки, в марганцевый раствор вводили добавку тонкоизмельченного диоксида марганца (средний размер частиц 1-3мкм) в количестве 2-6% от исходной массы раствора. В экспериментах использовали растворы нитрата марганца концентрацией 10% и 71%, подвергая их ударному нагреву. Результаты исследований представлены на рис. 3.

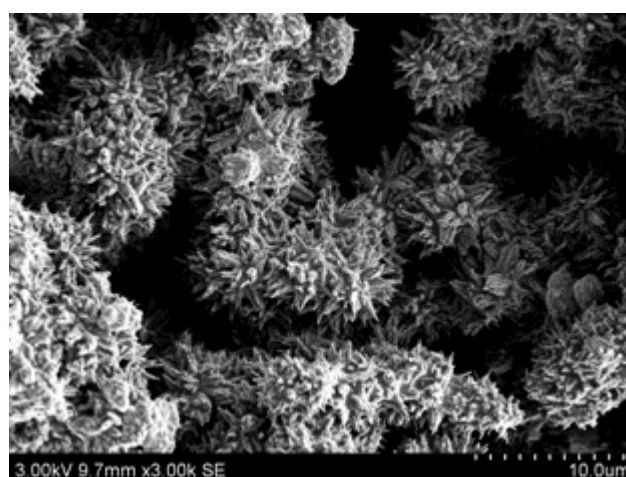


**Рис. 3 – Оксидная пленка, полученная с затравкой тонкоизмельченного MnO_2 :
а, в, з – 10%-ный раствор, б, г, е – 71%-ный раствор**

Влияние затравки определенным образом прослеживается на растворе с низкой концентрацией нитрата марганца – 10%. Практически на всех фотографиях видны частицы первоначальной затравки, покрытые слоем пленки диоксида марганца.

На концентрированных растворах (рис. 3 б, г, е) в явном виде очертания затравки частиц диоксида марганца не видны, однако структура пленки все же претерпевает определенные изменения. Так, наиболее пористая структура образуется при добавке затравки в количестве 4% от общей массы раствора (рис. 3 г). С увеличением доли затравки до 6% пористость пленки заметно снижается (рис. 6 е).

Довольно интересная морфология пленки формируется из раствора нитрата марганца с концентрацией 10% и 6% затравкой порошка диоксида марганца. На рис. 4 изображен микроснимок игольчатой поверхности диоксида марганца.



**Рис. 4 – Микроснимок диоксида марганца полученный
при пиролизе 10% раствора с 6% затравкой**

В процессе терморазложения частицы диоксида выступают в роли затравочных кристаллов, на которых происходит формирование диоксида марганца в виде разнонаправленных игл и пластин.

Исходя из проведенного анализа, можно сделать выводы, что добавка затравочных кристаллов диоксида марганца позволяет регулировать пористость формирующейся пленки MnO_2 на поверхности танталовой пластинки, наиболее яркий эффект получен при концентрации добавки диоксида марганца – 6%.

ВЫВОД

1. С увеличением концентрации исходного раствора нитрата марганца поверхность пленки становится менее равномерной, начинает преобладать пористая структура, при этом с увеличением скорости нагрева, пористость образцов уменьшается;

2. Общая пористость пленок при добавке 0,5% глицерина снижается как при ударном, так и при плавном нагреве, однако при плавном нагреве раствора с добавкой глицерина пористость снижается в зависимости от концентрации раствора от 2 до 5 раз. Особенно это ярко выражено при максимальной концентрации раствора нитрата марганца (71%);

3. С ростом концентрации глицерина в растворе процесс удаления воды и разложения нитрата марганца протекает значительно быстрее, а непосредственно процесс кристаллизации и формирования пленки диоксида марганца протекает в менее активном режиме, что способствует формированию более ровного пленочного покрытия;

4. В процессе терморазложения дисперсные частицы добавки диоксида марганца выступают в роли затравочных кристаллов, на которых происходит формирование кристаллической оксидной пленки, что определенным образом позволяет регулировать ее структуру.

Работа выполнена в рамках договора № 13.G25.31.0094. от 22.10.2010 с Минобрнауки РФ.

Список литературы

1. Гахн Р., Мелоди Б. Процессы для изготовления полупроводниковых танталовых конденсаторов с низким ESR // CARTS, Калифорния, США, 1998. – С. 129-133.
2. Способ изготовления оксидно-полупроводниковых конденсаторов: пат. 2073278 Рос. Федерация: МПК H01G9/00 / Л.К. Бедер, Т.В. Бездворных, Н.Ю. Ершова, Л.М. Косюк, Е.А. Чупахина, Н.М. Яковлева; патентообладатель: ТОО «Юпитер Трэйд энд Финэнси ЛТД». – № 93002681/07; заявл. 14.01.1993; опубл. 10.02.1997.
3. Способ получения катодной обкладки оксидно-полупроводникового конденсатора: пат. 2284070 Рос. Федерация: МПК H01G9/052, H01G4/10 / Ю.А. Калинин, Л.Н. Цыплакова, В.И. Зирка, Н.В. Мырина, В.Н. Кыров; патентообладатель: ОАО «Электонд». – № 2005100286/09; заявл. 11.01.2005; опубл. 20.09.2006.
4. Способ получения переходного катодного слоя в оксидно-полупроводниковом конденсаторе: пат. 2290709 Рос. Федерация: МПК H01G9/032, H01G9/052 / В.И. Бочарова, Л.Н. Цыплакова, В.Н. Кыров, В.П. Лебедев В.П., А.В. Степанов; патентообладатель: ОАО «Электонд». – № 2005109737/09; заявл. 04.04.2005; опубл. 27.12.2006.
5. Кай А. Танталовые конденсаторы. Особенности применения// Электронные компоненты. – 2000. – №3. – С. 20-25.
6. Лановецкий С.В. Исследование процесса нанесения пленок диоксида марганца на танталовую подложку // Химическая промышленность сегодня. – 2010. – №11. – С 6-10.
7. Ахметов Т.Р. Влияние поверхностно-активных веществ на процесс парообразования при пузырьковом кипении воды: автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Казань, 2005. – 16с.

05.13.18

¹А.М. Макеев, ²А.Н. Кролевец к.ф.-м.н.

¹Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга,
кафедра прикладной математики,
Петропавловск-Камчатский, an@kamgu.ru

²Дальневосточный федеральный университет,
филиал в городе Петропавловске-Камчатском

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ К ЗАДАЧЕ ПОИСКА ПЛОСКОСТЕЙ ГРУППИРОВАНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Разработан алгоритм и реализующая его компьютерная программа, основанная на кластерной архитектуре. Программа позволяет осуществлять поиск плоскостей группирования гипоцентров землетрясений, распределяя вычисления по потокам в пределах одного компьютера или на компьютерах в локальной вычислительной сети.

Ключевые слова: алгоритм, моделирование, распределенные параллельные вычисления, кластер, группирование гипоцентров.

Для прогноза мест будущих сильных землетрясений, в частности, при составлении карт сейсмического районирования используют особенности пространственного распределения гипоцентров землетрясений. Детализация таких карт предполагает выявление активных разломов. Плоскости разломов отыскивают по группированиям гипоцентров землетрясений. Существовавшая до недавнего времени компьютерная программа [1] позволяла обнаруживать плоскости группирования, обрабатывая за приемлемое время, данные лишь о нескольких десятках тысяч сейсмических событий. Значительная часть плоскостей оказывалась не выявленной. Можно ожидать, что возможность увеличения количества обрабатываемых данных позволит получать за приемлемое время более достоверные и полные результаты. Региональный каталог камчатских землетрясений содержит более 10^5 записей о сейсмических событиях. Было принято решение увеличить объем обрабатываемого массива данных. Это потребовало усовершенствовать технологию вычислений. В данной работе описан способ повышения эффективности технологии вычислений.

Алгоритм поиска плоскостей группирования гипоцентров землетрясений, без применения технологии распределенных параллельных вычислений, подробно описан в работе [2]. Алгоритм включает в себя:

- 1) Загрузку базы данных гипоцентров в оперативную память.
- 2) Ввод в программу исходных параметров для поиска [2].
- 3) Разбиение области поиска на подобласти по географическому принципу.
- 4) Начало поиска. Запуск поиска плоскостей для каждой из подобластей: начало перебора ориентаций векторов нормалей к плоскостям.
- 5) Вычисление проекций радиус-векторов к гипоцентрам подобласти поиска на направление вектора нормали. Создание сортированного по значениям проекций списка гипоцентров.
- 6) Идентификация пространственных плоскостей с количеством гипоцентров не меньше заданного в параметрах поиска. Отбор плоскостей с максимальным количеством гипоцентров. Исключение идентичных плоскостей, найденных для близких, но разных ориентаций векторов нормалей.
- 7) Завершение поиска. Объединение плоскостей. После завершения вычислений во всех потоках, проверяются возможности наличия продолжений плоскостей в смежных

подобластях. При обнаружении таких продолжений плоскости объединяются. Параметры всех найденных плоскостей сохраняются.

Описанный алгоритм позволяет последовательно перебрать все возможные ориентации группирования плоскостей в пространстве, для исключения пропуска плоскостей группирования, и осуществить отбор тех плоскостей, которые соответствуют введенным параметрам поиска [2].

Следует отметить, что распределенные параллельные вычисления в реальности дают выигрыш во времени, связанный в первую очередь с возможностью использования многоядерной архитектуры компьютера и их вычислительной мощностью. Увеличение числа подобластей даёт выигрыш времени вычислений, в первую очередь, за счёт уменьшения количества гипоцентров в каждой из областей.

Работа программы на одном ПК. При создании программы поиска плоскостей группирования гипоцентров использовалась среда программирования Delphi с использованием библиотеки VCL, где свойства и методы потоков инкапсулированы в класс «TThread» библиотеки «Classes», в котором заявлен абстрактный метод «Execute» без параметров, представляющий собой последовательность команд, выполняемых в потоке. В программе поиска плоскостей гипоцентров реализована возможность выполнения вычислений параллельными потоками путем создания экземпляра класса-наследника «TThread» и переопределения метода «Execute» [4], в котором выполняется комбинированная часть алгоритма.

Загрузка. Выполнение алгоритма в нескольких потоках, требовало разделения входных данных. На сейсмоактивную зону была наложена сетка из меридианов и параллелей с шагом в один градус. Каждая ячейка сетки рассматривалась в качестве подобласти, соответственно весь каталог с данными о гипоцентрах разбивался на N подкаталогов. В оперативной памяти компьютера для каждого из подкаталогов создавался динамический список, из координат гипоцентров. Для этого был создан класс «TPiece» и динамический массив «MapPiece», состоящий из N объектов этого класса, каждый из которого хранил границы подобласти, указатели на динамические списки данных о гипоцентрах, входящих в соответствующую подобласть, и процедуры обработки этих данных.

Реализация многопоточности. После начала процедуры поиска плоскостей, для каждого элемента массива «MapPiece» создается динамический массив «Threads» элементами которого являются экземпляры класса-наследника «TThreadForPiece» от класса «TThread». В состав класса-наследника «TThreadForPiece» входят:

- переопределенный метод «Execute», в котором выполняется вышеописанный алгоритм;
- процедуры создания, редактирования, добавления, синхронизации, сортировки и удаления динамических списков найденных плоскостей.

После завершения загрузки массива «Threads», последовательно начинается запуск его элементов-потоков и работа с соответствующими элементами массива «MapPiece». Создаваемые потоки заполняют системную таблицу потоков и, по мере освобождения таблицы, запускаются на исполнение [3, 5]. По завершению выполнения алгоритма, поток удаляется из таблицы потоков системы и удаляется из памяти, оставляя для каждой подобласти, для которой он был создан, только найденные результаты: списки групп гипоцентров, идентифицирующих плоскости, параметры этих плоскостей и географические координаты подобласти поиска.

Каждый из потоков выполняет один и тот же комбинированный алгоритм, в котором основной задачей является не сложный математический расчет, а циклическое взаимодействие с оперативной памятью для поиска группирования гипоцентров. Ни один из потоков не может монополизировать вычислительные ресурсы системы, - управление будет отобрано у него в некоторый момент времени в соответствии с его приоритетом. Процесс, выполняющий многопоточное приложение, использует вычислительную мощность процессора не в полной мере, оставляя часть ресурсов для обеспечения выполнения сторонних системных задач [3].

Независимые параллельные процессы. Ввиду того, что потоки действуют в пределах одного процесса и их возможности ограничены, была реализована возможность вычислений в параллельных независимых процессах. Распределение вычислений по процессам осуществляется, интегрированным в программу диспетчером процессов. Количество создаваемых диспетчером процессов зависит от количества ядер процессора компьютера. Использование процессов позволяет монополизировать свободный вычислительный потенциал процессора и выполнять вычисления с максимальной загрузкой, что в свою очередь приводит к приостановке других приложений на время выполнения данной задачи. В каждом из процессов параллельно выполняются действия описанного алгоритма. По завершению вычислений процессы обмениваются сообщениями с диспетчером процессов и сохраняют результаты поиска для дальнейшей обработки.

Вычисления на компьютерах в локальной сети. Разработанная программа может обрабатывать каталоги любых сейсмоактивных зон. Каталог гипоцентров может включать весьма большие объемы данных, что увеличит время расчета даже для мощных вычислительных серверов. Заметно сократить время расчетов позволяет созданный дополнительный модуль к программе поиска плоскостей группирования гипоцентров, который организует компьютеры, в одной локальной вычислительной сети, в кластер рабочих станций [5, 7]. Для выполнения расчетов, предварительно необходимо установить программу на каждую из машин. Локальная сеть, в таком случае, поддерживает передачу сообщений и не участвует в разделении и согласованности процессорного кэша и оперативной памяти.

Архитектура. Программа поиска плоскостей тестировалась как самостоятельно, так и в группе с идентичными программами, установленными на рабочих станциях, входящих в кластер. Данная программа может быть использована как в роли менеджера кластера, выполняющего распределение и получение результатов, так и в роли клиента рабочей станции, выполняющего расчеты.

Программная автоматизация сетевого подключения. Для автоматизации сетевого подключения приложений предварительно необходимо ввести номера сетевых портов для TCP и UDP протоколов, которые должны быть одинаковыми на всех рабочих станциях кластера, объединяемых программно в рабочую сеть.

Для автоматического подключения клиентских приложений менеджер кластера, запускает UDP-сервер, для прослушивания выделенного порта. Одновременно с UDP-сервером запускается TCP-сервер для ожидания и подключения клиентов, которые выберут данный сервер для подключения [6]. В клиентской части, так же запускается UDP-сервер, который осуществляет широковещательную рассылку для определения менеджера кластера, до тех пор, пока соединение не будет установлено или приложение не будет закрыто. Если соединение будет установлено, то сервер в ответ вышлет клиенту свой сетевой адрес. Клиент, получив ответ сервера, отключает сокет UDP-сканера, после чего происходит подключение по TCP протоколу, к серверу по полученному, через UDP протокол, адресу. Клиент при подключении к серверу переходит в режим ожидания команд и становится не активен для пользователя того компьютера на котором он запущен. В случае отключения сервера клиент вновь переходит в режим поиска сервера.

В случае сетевого использования приложения, центральным звеном становится менеджер кластера, который не выполняет вычислений, а обеспечивает корректную работу приложений в сети. Вся расчетная нагрузка распределяется по клиентам в зависимости от вычислительной мощности каждого, выполняющим аналогичный алгоритм, описанный выше. В начале поиска менеджер кластера рассылает клиентам их подобласти с данными о гипоцентрах, после чего начинаются вычисления в параллельных потоках. При завершении вычислений клиентом, все найденные в подобластях плоскости записываются в файл, который высылается менеджеру кластера для централизованного объединения результатов. Сетевая система - кластер рабочих станций позволяет многократно уменьшить время, затрачиваемое на расчеты [5, 7].

Результаты и их обсуждение. Все вычисления производились на компьютерах: Intel® Core2 Duo E8500, PC2-8500. Программа была протестирована с использованием камчатского регионального каталога землетрясений Камчатского филиала Геофизической службы РАН.

Обработка в одном потоке без распределения вычислений данных о 1000 событиях программой, описанной в [1], занимала 2 минуты. Обработка этой же программой данных примерно о 30 000 событий потребовала уже 78 минут, а о 111 000 событий 20 часов 36 минут.

Работа программы в многопоточном режиме на одном ПК. Распределенные параллельные вычисления позволяют уменьшить время выполнения программы. Время исполнения программы, поддерживающей параллельную и распределительную технологии, для каталога в 30 000 событий составило 5 минут, вычисления велись в 2 потоках, меняющих подобласти для расчета после завершения предыдущих. Общее время расчета всех подобластей с каталогом в 111 000 событий составило 1 час 35 минут.

Работа программы в независимых параллельных процессах. При тестировании программы в независимых параллельных процессах, программой было создано 2 процесса, в соответствии с количеством ядер процессора. Время выполнения расчетов для каталога в 30 000 событий составило 2 минуты, а для каталога в 111 000 событий составило 50 минут. Такое непропорциональное числу обрабатываемых событий увеличение времени счета связано с увеличением количества обрабатываемых гипоцентров в каждой из подобластей. В свою очередь, увеличение количества процессов позволило выделить большее количество системных ресурсов.

Работа программы в многопоточном кластерном режиме. Тестирование выполнялось на 3 одинаковых компьютерах объединенных в локальную сеть кластера рабочих станций, причем один из компьютеров являлся менеджером кластера и не производил вычислений. Время выполнения расчетов для каталога в 30 000 событий составило 2 минуты 40 секунд, с загрузкой обеих ядер, а для каталога в 111 000 событий составило 48 минут. Время вычислений с использованием кластера рабочих станций уменьшилось в 2 раза по сравнению с работой той же программы на одном ПК в многопоточном режиме.

При увеличении количества рабочих станций есть возможность дополнительно уменьшить время расчета. Кластер рабочих станций будет работать эффективно, если количество рабочих станций не будет превышать количества обрабатываемых подобластей.

Ниже приведена таблица производительности программы с использованием различных технологий расчета.

Таблица – Таблица производительности программы поиска.

Режимы работы программы	30 000 соб.	111 000 соб.
1 компьютер, 1 поток без распределения вычислений	78 мин	1235 мин
1 компьютер, 2 потока с распределением вычислений	5 мин	95 мин
1 компьютер, 2 процесса с распределением вычислений	2 мин	50 мин
2 рабочих станции по 2 потока + 1 менеджер кластера с распределением вычислений	2 мин 40 сек	48 мин

Можно сделать вывод, что разбиение области поиска на подобласти и уменьшение, тем самым, количества обрабатываемых данных в каждой из них позволяет заметно уменьшить время расчета. Многопоточное распределение и кластерная архитектура, доступные приложению, дополнительно кратно уменьшают время вычислений, заметно компенсируя рост времени расчетов, связанный с увеличением количества обрабатываемых гипоцентров в

каждой из подобластей. Сравнение данных, полученных при обработке целого каталога и его подкаталогов, продемонстрировали устойчивость результатов.

В области поиска с каталогом, включающим 30 000 событий, было найдено 290 плоскостей группирования гипоцентров землетрясений. В процессе выполнения расчетов, объем занимаемый программой оперативной памяти составлял около 140 Мб. В случае, когда каталог области поиска включал 111 000 событий, было найдено 1870 плоскостей группирования гипоцентров землетрясений, а объем занимаемой в процессе расчета оперативной памяти составил около 700 Мб. Параметры найденных, с помощью описанного алгоритма плоскостей анализировались и далее отбирались плоскости, существующие в геофизической среде с наибольшей вероятностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описана многопоточная реализация программы поиска плоскостей пространственного группирования гипоцентров землетрясений. Программа имеет кластерную архитектуру и работает в параллельных потоках, которые могут выполняться как на отдельном компьютере, так и на компьютерах, объединенных в локальную сеть. Выполненные тестирования продемонстрировали эффективность описанной в данной работе вычислительной технологии, выявили резервы сокращения времени вычислений при увеличении объема обрабатываемых данных.

Тестирование с использованием сейсмических данных Камчатского региона продемонстрировало работоспособность технологии и кратное уменьшение времени расчетов при использовании многоядерной архитектуры процессоров. Идеи кластерного распределения вычислений, применённые в программе, могут быть использованы при решении задач в других областях науки.

Список литературы

1. Кролевец А.Н., Макеев А.М. Компьютерная программа поиска плоскостей группирования гипоцентров землетрясений // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Второй региональной научно-технической конференции // ГС РАН. Петропавловск-Камчатский. 2010. С. 358-362.
2. Кролевец А.Н., Макеев А.М. Программа поиска плоскостей пространственного группирования гипоцентров землетрясений, печатная. // Научно-технический вестник Поволжья. // Казань: Научно-технический вестник Поволжья. - 2011. №1. - С.121-124.
3. Многопроцессорные системы: построение, развитие, обучение / К.Е. Афанасьев, В.Г. Домрачев, И.В. Ретинская, А.К. Скуратов, С.В. Стуколов. Москва: Изд-во КУДИЦ-ОБРАЗ, 2005.
4. Сухарев М.В. Золотая книга Delphi 2008 г. // С-П «Наука и техника» 1035 с.
5. Эндрюс Г.Р. Основы многопоточного параллельного и распределенного программирования. Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003. 512 с.
6. NET. Сетевое программирование для профессионалов / Э. Кровчик, В. Кумар, Н. Лагари, А. Мунгале, К. Нагел, Т. Паркер, Ш. Шивакумар. Москва: Изд-во Лори, 2005.
7. Pfister G.F. In search of clusters. 2nd Edition. Prentice Hall. 1998. 578 pp.

05.13.19

Н.В. Медведев, С.С. Титов д.ф.-м.н.

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Высшая и прикладная математика»,
Екатеринбург, itcrypt@gmail.com

БИНАРНЫЕ ПОЧТИ ПОРОГОВЫЕ МАТРОИДЫ

В статье рассматривается задача описания класса бинарных почти пороговых матроидов. Установлена связь таких матроидов с кодами Рида-Маллера первого порядка. Представлены бесконечные серий бинарных почти пороговых матроидов. Даны конкретные примеры таких матроидов.

Ключевые слова: *матроиды, циклы, схемы разделения секрета, коды Рида-Маллера.*

Ранее в работе [6] были описаны почти пороговые схемы разделения секрета [12] (СРС) с более сложной (чем пороговые) структурой доступа [3] с сохранением идеальности. Как известно [2, 10, 11], существуют СРС реализующие произвольную структуру доступа, но они могут быть не идеальны. Рассмотрение идеальных почти пороговых СРС показывает, что им соответствуют связные матроиды [1], которые естественно назвать *почти пороговыми*, в том смысле, что мощность каждого цикла равна n , но не все, возможно, его n -элементные подмножества – циклы. Поскольку циклы матроида определяют разрешенные коалиции идеальной совершенной СРС, то их изучение дает описание всех возможных структур доступа [1, 10].

Ранее в работе [7] было доказано, что коды Рида-Маллера первого порядка дают бесконечную серию *бинарных* почти пороговых матроидов с мощностью циклов 2^p , где p – натуральное число. Поэтому естественным является вопрос исчерпывающего описания всех бинарных почти пороговых связных матроидов. Цель данного исследования – решение этого вопроса. Напомним, что матроид называется *бинарным*, если он является векторным над полем $Z_2=GF(2)$ [1]. Именно такие бинарные почти пороговые связные *конечные* матроиды мы и будем рассматривать ниже.

Утверждение 1. В бинарном почти пороговом матроиде M с мощностью циклов $n \geq 4$ мощность пересечения каждой пары циклов либо $n/2$, либо нуль.

Доказательство. Пусть C_1 и C_2 – циклы матроида M . Применим вторую аксиому бинарного матроида [1, с. 76]. Получается, что мощность суммы этих двух циклов равна $|C_1 \oplus C_2| \leq 2n$. Тогда либо $|C_1 \oplus C_2| = 2n$, значит, циклы C_1 и C_2 не пересекаются, $C_1 \cap C_2 = \emptyset$, $|C_1 \cap C_2| = 0$, либо $|C_1 \oplus C_2| < 2n$, следовательно, циклы пересекаются, $C_1 \cap C_2 \neq \emptyset$, и тогда $C_1 \oplus C_2 = C$ есть цикл (так как на объединение двух или более непересекающихся циклов требуется не менее $2n$ элементов), значит, из почти пороговости, $|C| = n$. При этом, по второй аксиоме $n = |(C_1 \cup C_2) \setminus (C_1 \cap C_2)| = 2n - 2m$, где $m = |C_1 \cap C_2|$, отсюда $2m = n$. Это означает, что все пересекающиеся циклы бинарного почти порогового матроида пересекаются в $m = n/2$ элементах.

Следствие 1. Мощность n циклов бинарного связного почти порогового матроида четна.

В СРС важным является вопрос незаменимых участников, т.е. какова бы ни была доля секрета, выдаваемая этому незаменимому участнику, без него в восстановлении секрета не обойтись [7]. В терминах циклов матроидов это означает, что для разделения *незаменимых* участников необходимо, чтобы были циклы, содержащие по отдельности каждого из этих

двух участников. Поэтому естественно назвать такие матроиды *разделяющими*. Именно такие связные разделяющие матроиды и будут рассматриваться далее.

Рассмотрим, как строится четырехбитный код Рида-Маллера первого порядка (см. табл.). Напомним, код Рида-Маллера $RM(r,k)$ порядка r длины 2^k определяется как множество всех векторов значений булевых функций $f(x_1, x_2, \dots, x_k)$, представимых полиномами Жегалкина, степень которых не превосходит r . Код $RM(1,2)$ первого порядка ($r=1$) и длины четыре ($k=2$) состоит из восьми битовых слов, определяемых линейными (аффинными) булевыми функциями вида $f(x_1, x_2) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$, где $x_i, a_i \in GF(2)$.

Таблица – Код $RM(1,2)$

№ функции	№ бита	1	2	3	4
	(x_1, x_2) $f(x_1, x_2)$	(0,0)	(0,1)	(1,0)	(1,1)
0	$f(x_1, x_2) \equiv 0$	0	0	0	0
1	$f(x_1, x_2) = 1 + x_1$	1	1	0	0
2	$f(x_1, x_2) = x_1$	0	0	1	1
3	$f(x_1, x_2) = 1 + x_2$	1	0	1	0
4	$f(x_1, x_2) = x_2$	0	1	0	1
5	$f(x_1, x_2) = x_1 + x_2$	0	1	1	0
6	$f(x_1, x_2) = 1 + x_1 + x_2$	1	0	0	1
7	$f(x_1, x_2) \equiv 1$	1	1	1	1

Из табл. видно, что циклы бинарного порогового матроида с $n=2$ можно представить с помощью функции выбора, где ненулевые элементы четырехбитных строк есть номера элементов циклов: $1=\{1,2\}=(1,1,0,0)$; $2=\{3,4\}=(0,0,1,1)$; $3=\{1,3\}=(1,0,1,0)$; $4=\{2,4\}=(0,1,0,1)$; $5=\{2,3\}=(0,1,1,0)$; $6=\{1,4\}=(1,0,0,1)$. Шесть циклов этого четырехбитного матроида вместе с самим множеством $M=7=(1,1,1,1)$ и пустым множеством $\emptyset=0=(0,0,0,0)$ образуют восьмизлементную элементарную абелеву группу. Аналогично, с помощью функции выбора, можно представить в виде битовых строк циклы и других почти пороговых матроидов, описываемых кодами Рида-Маллера первого порядка (см. ниже).

Циклы бинарного почти порогового матроида порождают элементарную абелеву группу G_1 , состоящую из тех его подмножеств, которые являются объединением непересекающихся циклов [1]. Выберем некоторый цикл C матроида M и каждому его циклу D сопоставим пересечение $\varphi(D) = C \cap D$ с этим выбранным циклом C . Таким образом, получается отображение φ из группы G_1 в группу G_2 , которая порождена этими пересечениями. Докажем, что эта группа является гомоморфным образом [9] G_1 , т.е. факторгруппой. Пусть C – выбранный цикл, а D и E – другие циклы, тогда для отображения $\varphi(D) = C \cap D$, $\varphi(E) = C \cap E$ вычисляем $\varphi[D \oplus E] = \varphi[(D \cup E) \setminus (D \cap E)] = C \cap [(D \cup E) \setminus (D \cap E)]$. Получается, что элементы этого множества лежат либо в C и в E , но не в D , либо в C и в D , но не в E , поэтому $\varphi[D \oplus E] = \varphi(D) \oplus \varphi(E)$. Это значит, что φ – гомоморфизм.

Докажем, что получившаяся гомоморфным отображением φ группа G_2 содержит матроид. Определим матроид $\varphi(M)$ на множестве C , считая его циклами все непустые пересечения с циклом C других циклов матроида M . Проверим для $\varphi(M)$ выполнение аксиом матроида в терминах циклов [1]. Рассмотрим два цикла A и B матроида $\varphi(M)$. По

нашему определению циклов матроида $\varphi(M)$ существуют такие два цикла D и E матроида M , что $A = \varphi(D)$, $B = \varphi(E)$. Из доказанного выше (т.к. φ – гомоморфизм групп), следует, что $A \oplus B = \varphi(D) \oplus \varphi(E) = \varphi[D \oplus E]$, поэтому, если $A \cap B = \varphi(D) \cap \varphi(E) \neq \emptyset$, то множества D и E пересекаются, т.к. $A \cap B = C \cap D \cap E \neq \emptyset$, и тогда множество $[D \oplus E]$ – цикл в M , но тогда и множество $\varphi[D \oplus E]$ – цикл в $\varphi(M)$. Это не что иное, как вторая аксиома бинарного матроида [1, с. 76]. Первая аксиома матроида [1] с очевидностью выполняется, т.к. мощность пересечения любой пары пересекающихся циклов бинарного почти порогового матроида M равна $n/2$, поэтому мощность всех непустых множеств $\varphi(D) = C \cap D$ равна $n/2$, и цикла в цикле матроида $\varphi(M)$ быть не может. Итак, $\varphi(M)$ – бинарный почти пороговый матроид на n -элементном множестве C с мощностью циклов $n/2$. Очевидно, что почти пороговый матроид $\varphi(M)$ разделяющий, т.к. для любых двух элементов a и b цикла C существует такой цикл D в матроиде M , что $a \in D$, $b \notin D$, тогда $a \in \varphi(D) = C \cap D$, но $b \notin \varphi(D)$ и наоборот, существует цикл E , такой, что $a \notin E$, $b \in E$, тогда $a \notin \varphi(E)$, $b \in \varphi(E)$. Этим доказано

Утверждение 2. Пусть M – бинарный разделяющий почти пороговый матроид. Тогда получившаяся в результате описанного выше гомоморфизма φ факторгруппа G_2 группы G_1 , порожденной циклами матроида M , содержит бинарный почти пороговый матроид, причем тоже разделяющий.

Свойство матроида быть разделяющим влечёт за собой наличие у его циклов замечательных свойств. А именно, имеет место

Утверждение 3. Пусть $C_1 = U \cup V$, $C_2 = V \cup W$, $C_3 = U \cup W$ – циклы почти порогового матроида M , где U , V , W – непересекающиеся подмножества циклов: $U \cap V = U \cap W = V \cap W = \emptyset$, где $|U| = |V| = |W| = n/2$, при этом $\emptyset \neq C_1 \cap D \neq U$, $|U| \geq 2$, т.е. $n \geq 4$. Тогда мощность пересечений такого цикла D с подмножествами U , V , W равна $|D \cap U| = |D \cap V| = |D \cap W| = n/4$.

Доказательство. Обозначим $|D \cap U| = t$, тогда $0 < t < n/2$. Поскольку каждая пара разных пересекающихся циклов матроида M пересекается в $n/2$ элементах, то из пересечения D и C_1 имеем $|D \cap V| = (n/2) - t$, а из пересечения D и C_3 имеем $|D \cap W| = (n/2) - t$. Отсюда $|D \cap C_2| = |D \cap V| + |D \cap W| = n - 2t$ и это число должно быть равно $n/2$ как мощность пересечения циклов. Поэтому из уравнения $n - 2t = n/2$ получаем $t = |D \cap U| = |D \cap V| = |D \cap W| = n/4$.

Следствие 2. В разделяющем бинарном почти пороговом матроиде значение мощности циклов $|C_i| = n$ при $n \geq 4$ кратно четырем.

Продолжая построение гомоморфных образов получившихся факторгрупп бинарного разделяющего почти порогового матроида далее, получим, что каждая новая построенная факторгруппа содержит почти пороговый матроид, циклы которого имеют мощность в два раза меньшую предыдущей $n_{i+1} = n_i/2$. При этом мощность пересечения этих циклов $m_{i+1} = n_i/4$. Как было показано выше, каждое такое n_i должно делиться на четыре. Процесс гомоморфизма может остановиться в общем случае при $n=4m$, где m – нечетно, тогда в получившейся факторгруппе будет содержаться разделяющий бинарный почти пороговый матроид. По утверждению 2 при дальнейшем гомоморфном отображении φ в новой факторгруппе должен содержаться почти пороговый разделяющий матроид, т.е. матроид с

мощностью циклов $2m$. Поэтому любая пара пересекающихся циклов пересекается по m элементам. По утверждению 3 и следствию 2, чтобы при $m \geq 3$ этот матроид был разделяющим, необходимо, чтобы $2m$ было кратно четырем, а этого не происходит, т.к. m – нечетно. Таким образом, получено противоречие, и процесс остановится только при $m=1$, когда утверждение 3 не применимо, т.е. $n=4$. Итак, доказано

Утверждение 4. Мощность циклов бинарного разделяющего почти порогового матроида есть степень двойки.

Интересным является вопрос продолжения процедуры гомоморфизма и построения факторгруппы при мощности цикла матроида $n=4$. В результате получаем новую факторгруппу, содержащую, по утверждению 2, разделяющий бинарный четырехэлементный матроид с мощностью циклов $n=2$. Отметим, что мощность непересекающихся подмножеств циклов $|U|=|V|=|W|=1$, поэтому к этому матроиду утверждение 3 не применимо. Покажем, что он – пороговый. Все подмножества четырехэлементного множества представляем в виде nibблов (четырёхбитных строк), циклы получившегося матроида – подмножества шестизэлементного множества nibблов веса Хэмминга два, т.к. $C_4^2 = 6$. Порождаемая этими циклами группа будет подгруппой в порожденной этими шестью nibблами группе, содержащей восемь элементов. Легко проверить, что любая собственная подгруппа этой группы не является разделяющей. Следовательно, построенная факторгруппа содержит все шесть двухэлементных циклов, а это значит, что построенный матроид – пороговый. Отсюда вытекает, в частности, связность всех матроидов, получившихся в процессе нашей факторизации. Циклы этого матроида с $n=2$ описываются кодом $RM(1,2)$, который приведен в табл.

Проведем теперь рассуждения в обратном направлении, т.е. от гомоморфных образов к их прообразам. Пусть C, C' – разные циклы матроида M , и гомоморфизм φ определяется циклом C , а гомоморфизм ψ определяется циклом C' . Здесь необходимо рассмотреть два случая.

В первом случае в матроиде есть непересекающиеся циклы, и пусть $C \cap C' = \emptyset$. Тогда гомоморфные отображения некоторых циклов E и D матроида M : $\varphi(D) = C \cap D$, $\varphi(E) = C \cap E$, и $\psi(D) = C' \cap D$, $\psi(E) = C' \cap E$. При $\varphi(E) = \varphi(D)$ имеем $0 = \varphi(D) \oplus \varphi(E) = \varphi(D \oplus E) = 0$. При $E \neq D$ имеем $\emptyset \neq D \cap E = \varphi(E) = \varphi(D)$, следовательно $D \oplus E = F$ – цикл. Докажем, что цикл F это и есть цикл C' . В виду того, что $D \cap E = \varphi(D) = \varphi(E)$, имеем $(D \cap E) \cap C' = \emptyset$, т.к. $|\psi(D)| = |\psi(E)| = n/2$, поэтому $\psi(D) \cap \psi(E) = \emptyset$ и $\psi(D) \oplus \psi(E) = \psi(D) \cup \psi(E) = C'$, следовательно $F = C'$. Значит E – единственный цикл (при $E \neq D$): $\psi(E) = C' \setminus \psi(D)$. Это значит, что число прообразов цикла при гомоморфизме равно двум: при данном $\varphi(D)$ в M есть только два прообраза: $D = \varphi(D) \cup \psi(D)$, $E = \varphi(D) \cup (C' \setminus \psi(D)) = \varphi(E) \cup \psi(E)$.

Рассмотрим конкретную процедуру построения прообраза. Опишем конструкцию «поднятия» четырехэлементного порогового матроида с мощностью циклов $n=2$ ($k=2$) до восьмиэлементного почти порогового матроида с $n=4$ ($k=3$). Для этого необходимо каждый цикл матроида с $n=2$ дополнить сначала этим же циклом, а затем дополнить инверсным ему циклом, таким образом, получилось два восьмиэлементных цикла из одного четырехэлементного. Таким образом, поскольку при процедуре «поднятия» из факторгруппы при любом k всего может быть два прообраза любого элемента, то получится из элементной группы на 2^k битах группа на 2^{k+1} битах. В получившемся прообразе группы будет содержаться бинарный разделяющий почти пороговый матроид с мощностью циклов $2n$. Получено это путем дополнения каждого цикла матроида таким же и инверсным ему. А это и есть добавление еще одной переменной к функциям кода $RM(1,k)$ [4] и получением, таким

образом, кода $RM(1, k+1)$: $RM(1, k+1) = \begin{cases} RM(1, k) \parallel RM(1, k) \\ RM(1, k) \parallel \overline{RM(1, k)} \end{cases}$, где $\overline{RM(1, k)}$ – инверсная

строка кода Рида-Малера, $\parallel$ – обозначает операцию конкатенации. Этим доказано

Утверждение 5. Коды $RM(1, k)$, где $k \geq 3$, определяют бесконечную серию бинарных связных разделяющих почти пороговых матроидов с 2^k элементами и мощностью циклов $n = 2^{k-1}$.

Воспользуемся описанным выше алгоритмом, например, дополним группу кода $RM(1, 2)$ с $n=2$ до $n=4$ и получим группу кода $RM(1, 3)$. В результате получаем восьмиэлементный почти пороговый матроид с $n=4$, имеющий 14 циклов, который вместе с самим множеством и пустым множеством – элементарная абелева группа.

Во **втором** случае в матроиде нет непересекающихся циклов, и пусть для любых циклов $C \cap C' \neq \emptyset$, тогда множество этих циклов вместе с пустым множеством является группой. Покажем на примере для $k=3$, что существует такая элементная группа на (2^k-1) битах, в которой содержится почти пороговый матроид с мощностью циклов $n=4$, и нет непересекающихся циклов. Разобьем циклы на пары взаимно дополняющих, и от того представителя каждой пары, у которого четвертый бит нулевой, возьмем первые три бита. Эти 8 четырёхбитных строк образуют группу, изоморфную $(Z_2)^3$, допишем справа три бита. Итак, циклы получившегося матроида M : $1=\{1,2,5,6\}=(1,1,0,0,1,1,0)$; $2=\{3,4,5,6\}=(0,0,1,1,1,1,0)$; $3=\{1,3,5,7\}=(1,0,1,0,1,0,1)$; $4=\{2,4,5,7\}=(0,1,0,1,1,0,1)$; $5=\{2,3,6,7\}=(0,1,1,0,0,1,1)$; $6=\{1,4,6,7\}=(1,0,0,1,0,1,1)$; $7=\{1,2,3,4\}=(1,1,1,1,0,0,0)$. Эти 7 семибитных строк вместе с $\emptyset$ образуют группу, изоморфную исходной, т.е. $(Z_2)^3$. Можно проверить полным перебором, что этот матроид M – разделяющий, связный и почти пороговый с мощностью циклов $n=4$ и мощностью пересечений циклов, равной двум. При этом наш гомоморфизм матроида M посредством цикла $C=7$, определённого первыми четырьмя столбцами, оказывается взаимно-однозначным, т.е. изоморфизмом. Таким образом, множества есть семь циклов связного разделяющего матроида.

Интересно отметить, что дополнения циклов [8] матроида M , т.е. $Z_1=\{3,4,7\}$, $Z_2=\{1,2,7\}$, $Z_3=\{2,4,6\}$, $Z_4=\{1,3,6\}$, $Z_5=\{1,4,5\}$, $Z_6=\{2,3,5\}$, $Z_7=\{5,6,7\}$, являются прямыми проективной плоскости Фано.

Все строки, представляющие циклы матроида M , ортогональны. Ранг получающейся матрицы кода над полем $GF(2)$ равен семи. Таким образом, этот код является самодуальным, т.е. эта матрица является порождающей и проверочной. Итак, аналогично в общем случае можно построить путем «поднятия» из элементной группы на 2^k битах группу на $(2^{k+1}-1)$ битах, в которых содержатся бинарные связные разделяющие почти пороговые матроиды.

Переформулировкой утверждения 3 получаем: пусть $C_1, C_2, \dots, C_t$ – попарно пересекающиеся различные циклы бинарного почти порогового матроида и $t = 2^k - 1$, для $k=1$, имеем $t = 2^1 - 1 = 1$. В этом элементарном случае цикл C_1 с пустым множеством – группа, $\{\emptyset, C_1\} \cong Z_2$. При добавлении цикла C_2 , получим группу $\{\emptyset, C_1, C_2, C_1 \oplus C_2\}$, т.е. $t = 2^2 - 1 = 3$ цикла.

Обобщением этого является очевидное

Утверждение 6. Пусть $C_1, C_2, \dots, C_t$, $t = 2^k - 1$ – попарно пересекающиеся различные циклы бинарного почти порогового матроида, так что $\{\emptyset, C_1, C_2, \dots, C_t\}$ – группа, и $C_i \cap C_j = U_{ij}$, $(1 \leq i < j \leq t)$, где все $|U_{ij}| = n/2$ различны, и $n \geq 4$. Тогда для любого такого цикла D , что $\emptyset \neq C_i \cap D \neq U_{ij}$, мощность пересечений этого цикла с всеми подмножествами U_{ij} равна $|D \cap U_{ij}| = n/4$.

В некоторой нумерации циклов это утверждение принимает следующий вид

Следствие 3. Пусть $C_1, C_2, \dots, C_t$, $t = 2^k - 1$ – попарно пересекающиеся различные циклы бинарного почти порогового матроида, и $r = 2^{k-1}$, $C_r \cap C_{r+1} \cap \dots \cap C_t = R \neq \emptyset$, тогда при $t' = 2^{k+1} - 1$, $r' = 2^k$ имеем $C'_{r'} \cap C'_{r'+1} \cap \dots \cap C'_{t'} = R' \neq \emptyset$, причем $|R'| = |R|/2$.

Из равносильности разделимости и одноэлементности соответствующих дополнений вытекает, очевидное

Следствие 4. Матроид будет разделяющим тогда и только тогда, когда для некоторого $t = 2^k - 1$ будет $|R| = 1$.

Таким образом, процесс остановится только для достаточного количества циклов.

Утверждение 7. Если M – бинарный разделяющий почти пороговый матроид и в нем нет непересекающихся циклов, то t таково, что $R=1$ и его циклы определяются битовыми строками длины $t = 2^k - 1$ веса Хэмминга $r = 2^{k-1}$.

Множество таких строк, как известно [5, с. 365], является выколотым кодом Рида-Маллера первого порядка.

Соединяя два случая построения прообразов доказана

Теорема 1. Бинарные связные разделяющие почти пороговые СРС и их матроиды с мощностью цикла $n \geq 4$ описываются с точностью до перенумерации битов исчерпывающим образом кодами Рида-Маллера первого порядка и выколотыми кодами Рида-Маллера первого порядка.

Таким образом, в статье описан класс бинарных связных разделяющих почти пороговых матроидов: они исчерпываются кодами Рида-Маллера $RM(1, k)$ первого порядка (классическими и выколотыми).

Список литературы

1. Асанов М.О., Баранский В.А., Расин В.В. Дискретная математика: графы, матроиды, алгоритмы. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 288 с.
2. Блейкли Г.Р., Кабатянский Г.А. Обобщенные идеальные схемы, разделяющие секрет, и матроиды // Проблемы передачи информации. – 1997. – Т. 33, № 3. – С. 102-110.
3. Гайдамакин Н.А. Разграничение доступа к информации в компьютерных системах. – Екатеринбург: Изд. Урал. Ун-та, 2003. – 328 с.
4. Логачев О.А., Сальников А.А., Яценко В.В. Булевы функции в теории кодирования и криптологии. – М.: МЦНМО, 2004. – 470 с.
5. Мак-Вильямс Ф. Дж., Слоэн Н. Дж. А. Теория кодов, исправляющих ошибки: Пер. с англ. – М.: Связь, 1979. – 744 с.
6. Медведев Н.В., Титов С.С. Почти пороговые схемы разделения секрета на эллиптических кривых // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – Томск: Издательство Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – № 1 (23), ч. 1. – С. 91-96.
7. Медведев Н.В., Титов С.С. О бинарных почти пороговых матроидах // Интеллектуальные проблемы на транспорте: тезисы докладов II международной научно-практической конференции «ИнтеллектТранс-2012». – СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2012. – С. 178-184.
8. Медведев Н.В., Титов С.С. О конструкциях идеальных совершенных почти пороговых схем разделения секрета // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/104-6622> (дата обращения: 09.07.2012).
9. Понтрягин Л.С. Непрерывные группы. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. – 515 с.
10. Введение в криптографию / Под общ. ред. В.В. Яценко. – СПб: Питер, 2001. – 288 с.
11. Ito M., Saito A., Nishizeki T. Secret sharing scheme realizing any access structure. – Proc. IEEE Globecom'87 (1987). – С. 99-102.
12. Shamir A. How to share a secret // Communications of the ACM. NY, USA: ACM. – 1979. Т. 22. – №11. – С. 612-613.

05.05.04

Ш.М. Мерданов д.т.н., А.В. Яркин к.т.н., Ф.Д. Шараев, А.Н. Шуваев д.т.н.

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
кафедра «Транспортные и технологические системы»,
Тюмень, tts@tsogu.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ ГИДРОПРИВОДА СТРОИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В статье представлен анализ особенностей эксплуатации гидрофицированных строительных машин, проведен обзор существующих средств обеспечения работы гидропривода в условиях низких отрицательных температур, представлены перспективные пути решения возникающих проблем.

Ключевые слова: эксплуатация техники в зимних условиях, предпусковая подготовка, гидропривод.

Транспортно-технологические машины при низких температурах окружающего воздуха не обеспечивают полной производительности: меняются характеристики эксплуатационных материалов; меняется тепловой режим двигателя и основных узлов; уменьшается емкость аккумуляторной батареи; уменьшается к.п.д. приводов ходового и рабочего оборудования; наблюдается более интенсивный износ движущихся сопряженных деталей машины; значительно ужесточаются условия взаимодействия рабочего органа и движителя с внешней средой; ужесточается физиологический режим работы экипажа и т.д.

Ситуация усугубляется удаленностью месторождений природных ископаемых и других строительных объектов (дорог, трубопроводов, ЛЭП и т.п.) от стационарных источников электроэнергии и тепла, с помощью которых можно было бы обеспечить требуемый тепловой режим двигателя и гидросистемы машины перед пуском. [4]

В силу вышеизложенного проблема адаптации строительных машин к специфическим природно-климатическим условиям севера не теряет своей актуальности, несмотря на то, что опыт ее решения накапливался много лет.

Над проблемой обеспечения работы гидропривода при низких температурах окружающего воздуха работают многие специалисты и ученые в России и за рубежом. Среди российских исследователей можно выделить Бардышева С.А., Васильченко В.А., Вашуркина И.О., Каверзина С.В., Карнаухова Н.Н., Крамского В.Ф., Комарова А.А., Ковальских В.Ф., Лейко В.С., Мануйлова В.Ю., Мирзояна Г.С., Ногай М.Д., Тархова А.И., Хорош А.И., Хребтов Н.В. и др. За рубежом исследованием этого вопроса занимались Беер Р., Буш Х., Кауфман Н., Китаока И., Кремер У., Ота М., Файхт Ф., Хигасида Ф. и др.

Проведенные ранее исследования, показывают, что наибольшие проблемы в элементах гидропривода при низких температурах воздуха возникают в момент запуска и последующей подготовки машины к работе: высокая вязкость гидравлического масла, повышенный износ сопряженных деталей, значительные потери давления гидросистеме, снижение объемного к.п.д. и производительности гидравлического оборудования.

Из всех факторов, определяющих климатические условия, наибольшее влияние на технико-экономические показатели оказывает температура окружающей среды. [2]

Применение зимних жидкостей позволяет эффективно эксплуатировать строительную технику при отрицательных температурах до $-15...25$ °С. При менее низких температурах значительно увеличивается вязкость масла и, как следствие, резко уменьшается к.п.д. гидропривода. Кроме того, резиновые элементы гидропривода (поршни и манжеты гидроцилиндров и т.п.) теряют свою эластичность, происходит их интенсивный износ, что влечёт за собой последующие утечки масла. При дальнейшем снижении температуры до –

30...40 °С изменяются геометрические размеры и зазоры сопряженных металлических деталей гидропривода (насосов, плунжерных пар и т.п.), что приводит к потерям рабочего давления в гидросистеме и вызывает чрезмерный износ сопряженных элементов гидропривода. [3]

В настоящее время используются следующие методы повышения работоспособности гидропривода при низких температурах:

1. Применение материалов повышенной прочности для изготовления ответственных деталей гидрооборудования.
2. Повышение уровня технического обслуживания.
3. Разработка современных гидравлических систем.
4. Применение маловязких рабочих жидкостей.
5. Оптимизация теплового режима гидропривода.

Оптимальный тепловой режим дает возможность уменьшить потери давления жидкости в гидросистеме и потери на трение в гидрооборудовании, увеличить долговечность гидрооборудования, повысить объёмный КПД и производительность машин, а главное, позволяет использовать в гидроприводе масло одной марки в течение всего года. Все это достигается с помощью искусственного поддержания температуры (вязкости) минерального масла в оптимальном диапазоне с помощью дополнительных источников тепла. Это направление следует считать наиболее радикальным, так как оно позволяет решить проблемы работоспособности гидропривода в комплексе.

Рассмотренные методы повышения работоспособности гидропривода не исключают и не заменяют полностью друг друга, а органично сочетаются между собой. Необходимо отметить, что в настоящее время предпусковой разогрев жидкости находит широкое применение на отечественных и зарубежных машинах. [2]

На Красноярском заводе лесного машиностроения и Пермском ПО «Коммунар» серийно выпускаются машины с разогревом рабочей жидкости отработавшими газами, на Воронежском экскаваторном заводе на экскаваторах ЭО-5122 устанавливают дроссели для подготовки гидропривода к работе при низких температурах. Устройства предпускового разогрева используют и на ряде других отечественных машин. Примером таких устройств может служить котел-подогреватель фирмы «Webasto». Зарубежные фирмы также стали использовать предпусковой разогрев рабочей жидкости в гидроприводе самоходных машин. Например, фирмы «Mitsubishi», «Hitachi» (Япония) используют отработавшие газы для разогрева гидросистемы одноковшовых экскаваторов и аккумуляторных батарей, обеспечивающих пуск дизельных двигателей. Фирма «Юкэн коге» (Япония) выпускает гидрооборудование (регулируемые аксиально-поршневые насосы и гидромоторы) с встроенными в их корпус электронагревательными спиралями, что позволяет осуществить безаварийный пуск гидропривода практически при любой низкой температуре. [2]

Можно выделить некоторые разработки в этой области ученых Тюменского государственного нефтегазового университета:

Система утилизации тепла «ТАТ-3» (СУТ) с включением в нее трехсекционного теплового аккумулятора теплоемкостного типа (ТАТ-3). Система ТАТ-3 предназначена для утилизации тепла отработавших газов ДВС мобильной транспортно-технологической машины. Секции теплоаккумулятора поочередно подключаются к системе циркуляции охлаждающей жидкости и обеспечивают прогрев дизеля. После того, как дизель получил предпусковую тепловую подготовку, все секции в той же последовательности включаются на прогрев гидробака. Идея такого построения теплового аккумулятора – термостата заключается в более глубоком охлаждении антифриза в нем, то есть в более полном использовании его теплового потенциала, что приводит к снижению массы антифриза.

Конструкция энергосберегающего гидробака для экскаватора типа ЭО-4121 отличается тем, что его крышка и корпус покрыты слоем теплоизоляции, а внутри него установлены шесть барабанов, наполненных теплоаккумулирующим материалом (ТАМ). Во время работы экскаватора рабочая жидкость в гидросистеме и гидробаке не перегревается, так как ТАМ

«забирает» его часть. В период межсменной стоянки экскаватора рабочая жидкость охлаждается, но не ниже -15°C , что позволяет запускать гидросистему экскаватора без предпусковой тепловой подготовки её гидробака. В качестве ТАМ используется соль динатрийфосфат двенадцативодный или полиэтилен высокой плотности. [1]

Существует ряд других примеров научных исследований и разработок, направленных на обеспечение работы гидропривода зимой.

Однако, существующие и предлагаемые способы, как правило, направлены на поддержание оптимальной температуры рабочей жидкости в баке гидравлической системы строительной машины, и частично в гидродинамическом приводе, при этом они не обеспечивают непосредственный прогрев и поддержание температуры гидроцилиндров, которые являются гидрообъемной частью гидросистемы и не имеют постоянной циркуляции жидкости. Гидроцилиндры имеют резиновые уплотнения (сальники, манжеты, уплотнения поршня и т.п.), которые теряют свою эластичность при снижении температуры, что довольно часто приводит к возникновению неисправностей.

На основании вышеизложенного, актуальными являются исследования, направленные на обеспечение оптимальной рабочей температуры жидкости непосредственно в гидроцилиндрах.

Целью проводимого исследования является обеспечение эффективного функционирования гидропривода мобильной транспортно-технологической машины при низких отрицательных температурах окружающей среды путем поддержания оптимальной температуры рабочей жидкости за счет локального прогрева отдельных элементов гидросистемы (гидроцилиндров, гидродвигателей, распределителей и другой аппаратуры).

Список литературы

1. *Вашиуркин, И.О.* Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой. – Тюмень, ТюмГНГУ, 2001. – 145 с.
2. *Каверзин С.В., Лебедев В.П., Сорокин Е.А.* Обеспечение работоспособности гидравлического привода при низких температурах. [Текст] – Красноярск: 1998. – 240 с.: ил.
3. *Карнаухов Н.Н., Пустовалов И.А., Яркин А.В.* Тепловой аккумулятор для поддержания пусковой температуры ДВС в период межсменной стоянки строительной машины в зимний период [Текст] / Отраслевой журнал «Автотранспортное предприятие», ноябрь, 2010. Москва, Издатель – НПП Транснавигация, стр. 45-48.
4. *Мерданов Ш.М.* Снеголедовые дороги: исследования, конструкции, технология строительства, механизированные комплексы. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2006. – 160 с.

05.11.13

О.Г. Морозов д.т.н., А.А. Талипов, А.А. Федоров, М.Р. Нургазизов, Т.С. Садеев к.т.н.

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева,
факультет радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра телевидения и мультимедийных систем,
Казань, microoil@mail.ru, talipov.anvar@gmail.com

ИЗМЕРЕНИЕ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ С ПОМОЩЬЮ ДВУХЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В работе представлен новый двухчастотный метод нахождения мгновенной частоты и амплитуды неизвестных СВЧ-сигналов. Использование специфики взаимодействия двухчастотного излучения и ВРБ (волоконной решетки Брэгга) с фазовым π -сдвигом позволило получить измерительные характеристики, не зависящие от энергетических флуктуаций оптической несущей и СВЧ-сигнала, и снижение погрешностей измерений, вызванных температурной нестабильностью спектральных характеристик используемых элементов.

Ключевые слова: *мгновенная частота, двухчастотный метод, ВРБ.*

Введение

Фотонные методы измерения мгновенной частоты, основанные на процедурах ее измерительного преобразования в оптическом диапазоне, и включающие, как правило, процессы модуляции, дисперсионного различения с преобразованием «частота-амплитуда» и фотодетектирования, являются наиболее перспективными, так как имеют существенные преимущества перед радиотехническими – широкая полоса измеряемых частот, низкие потери и невосприимчивость к электромагнитным помехам, малый вес, объем, возможность работы в широком диапазоне климатических условий [1]. Однако предложенные методы характеризуются высокой температурной нестабильностью характеристик. В результате возникает необходимость, как в разработке новых методов измерений, позволяющих решить данные вопросы, так и в усовершенствовании традиционных.

1. Теоретическое обоснование метода

Структурная схема системы измерения мгновенной частоты и амплитуды СВЧ-сигнала показана на рис. 1.

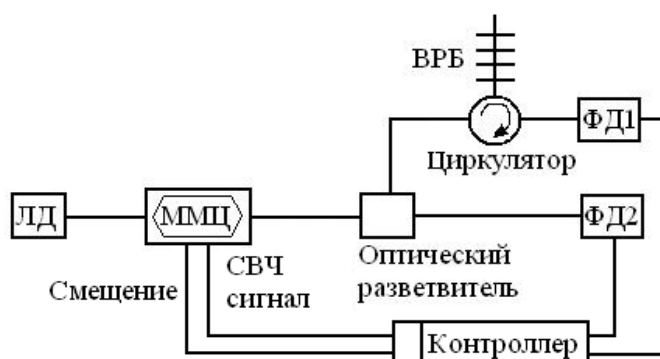


Рис. 1 – Экспериментальная установка: ЛД – лазерный диод; ММЦ – Модулятор Маха-Цендера; ФД – фотодетектор

Оптическая несущая DFB-лазера поступает на ММЦ, где модулируется СВЧ-сигналом, а затем разделяется на два канала в оптическом разветвителе 1×2. По первому каналу излучение через вход циркулятора поступает на ВРБ, отражается от нее и с выхода циркулятора подается на первый фотодетектор ФД1. Второй канал с фотодетектором ФД2

используется как опорный. Находя в контроллере определения параметров неизвестного СВЧ-сигнала отношение сигналов на выходе ФД1 и ФД2 получаем функцию отношения мощностей, которая однозначно зависит от частоты СВЧ-сигнала и не зависит от мощности излучения лазера. Амплитуда неизвестного СВЧ-сигнала определяется по выходному сигналу ФД2. В отличие от известных методов для модуляции СВЧ-сигналом с неизвестной частотой ω_{RF} оптической несущей с частотой ω_0 выберем «нулевую» рабочую точку ММЦ, при работе в которой реализуется амплитудно-фазовое преобразование оптического одночастотного излучения по методу Ильина-Морозова [2], а выходное излучение представляет собой двухчастотное на частотах $\omega_0 - \omega_{RF}$ и $\omega_0 + \omega_{RF}$ с подавленной несущей ω_0 и равными амплитудами A_{-1} и A_{+1} , определяемыми функциями Бесселя первого рода. Ток на выходе фотодетектора ФД2 в опорном канале пропорционален

$$i(t) \propto A_{-1}^2 + A_{+1}^2 + A_{-1}A_{+1} \cos(2\omega_{RF}t) \quad (1)$$

а детектируемая мощность составляющей с частотой $2\omega_{RF}$ –

$$P_{оп} \propto A_{-1}^2 A_{+1}^2 = A_1^4, \quad (2)$$

где $A_{-1} = A_{+1} = A_1$. Для дисперсионного различия «частота-амплитуда» в отличие от известных решений выберем ВРБ с треугольным равнобедренным спектром [3], которая характеризуется различным коэффициентом отражения для различных частот (рис. 2), определяемых линейной зависимостью

$$R(f_{RF}) = R_0 - kf_{RF} \quad (3)$$

где $f_{RF} = \omega_{RF}/2\pi$ (ГГц), R_0 – коэффициент отражения, соответствующий частоте подавленной оптической несущей ω_0 (дБ), k – угол наклона спектральной характеристики ВРБ на ее склонах (дБ/ГГц).

Таким образом, при настройке центральной частоты ВРБ на частоту оптической несущей, составляющие двухчастотного излучения, прошедшие через ВРБ, в зависимости от частоты будут иметь амплитуду

$$A_{-1}^{изм} = A_{+1}^{изм} = A_1 [1 - 10^{(R_0 - kf_{RF})/20}]^2, \quad (4)$$

Детектируемая мощность на выходе ФД1 в измерительном канале на составляющей с частотой $2\omega_{RF}$

$$P_{изм} \propto A_1^4 [1 - 10^{(R_0 - kf_{RF})/20}]^2. \quad (5)$$

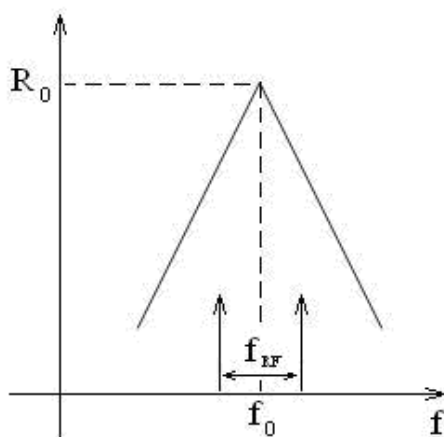


Рис. 2– ВРБ с треугольным спектром

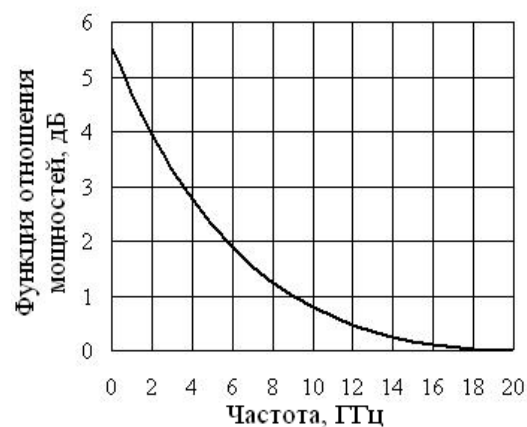


Рис. 3– Зависимость ρ от f_{RF}

Определив частотно-зависимую функцию отношения мощностей как $\rho = P_{\text{изм}} / P_{\text{оп}}$, получим

$$\rho = [1 - 10^{(R_0 - k f_{\text{RF}})/20}]^2. \quad (6)$$

На рис. 3 показана однозначная зависимость между ρ и f_{RF} , которая не зависит от мощности излучения лазера и мощности СВЧ-сигнала. Таким образом, зная только отношение мощностей ρ , мы можем определить мгновенную частоту неизвестного СВЧ-сигнала f_{RF} . Амплитуда неизвестного СВЧ-сигнала определяется по выходному сигналу ФД2 при калиброванной мощности DFB-лазера и известных характеристиках модуляционного преобразования в ММЦ.

2. Анализ погрешностей измерения

Экспериментальный стенд в соответствии с рис. 1 был собран и испытан в лаборатории НОЦ «Волоконно-оптические технологии» КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева на базе DFB-лазера и ММЦ, предоставленных НППК (г. Пермь) и волоконных решеток, изготовленных компанией «Инверсия-Файбер» (г. Новосибирск).

Полученные характеристики подтвердили теоретические предположения и позволили провести комплексный анализ причин, определяющих основные погрешности измерений. К ним относятся: уход центральной частоты излучения лазера и рабочей точки ММЦ, сдвиг центральной частоты ВРБ, различие характеристик оптоэлектронного преобразования фотодетекторов ФД1 и ФД2. Первые три носят характер температурных флуктуаций, последняя может быть устранена применением коммутационных решений с использованием одного фотодетектора.

Существенным влиянием на точность измерения, согласно (3) обладают спектральные характеристики лазерного излучения и ВРБ. Типовое значение ухода центральной частоты излучения DFB-лазера, вызванное температурой, составляет 12,5 ГГц/°К (0,1 нм/°К), для решеток Брэгга температурный сдвиг центральной частоты, как правило, имеет значение 1,25 ГГц/°К (0,01 нм/°К). Применение известных методов стабилизации температуры лазера, как более чувствительного в паре «лазер-ВРБ», позволяет значительно, но недостаточно снизить эти значения до 0,25 ГГц/°К. Термостабилизация ВРБ, как отмечается и в работах других авторов [3], требует применения дополнительных, достаточно сложных, решений.

При двухчастотным зондировании проблема может быть решена следующим образом. При точной настройке частоты оптической несущей на центральную частоту ВРБ амплитуды частотных составляющих будут равны $A_{-1}^{\text{изм}} = A_{+1}^{\text{изм}}$, а коэффициент модуляции частоты их биений равен 1. При уходе настройки амплитуды частотных составляющих будут неравны $A_{-1}^{\text{изм}} \neq A_{+1}^{\text{изм}}$, а коэффициент модуляции будет меньше 1. В контроллере по значению коэффициента модуляции можно определить величину расстройки, по величине разности фаз огибающих на выходе ФД2 и ФД1 или ее знаку – направление расстройки и скомпенсировать их [4].

Температурный уход рабочей точки ММЦ составляет 0,02 В/°К. В отличие от вышерассмотренных элементов стенда его наличие приводит к появлению в обоих каналах паразитного излучения на частоте подавленной несущей ω_0 и уменьшению амплитуды составляющих двухчастотного излучения. В случае измерения мгновенной частоты неизвестного СВЧ-сигнала это вызовет уменьшение отношения сигнал-шум измерений, что существенно, поскольку амплитуда детектируемого сигнала, как правило, невелика и лежит в пределах чувствительности стенда. В случае измерений мгновенной амплитуды по опорному каналу это вызовет пропорциональное изменение оценки требуемой характеристики канала связи или дальности до объекта локации. Величина такого изменения может составить единицы процентов, что недопустимо.

При двухчастотным зондировании проблема может быть решена следующим образом. При точном равенстве рабочей точки «нулю» модуляционной характеристики ММЦ в спектре выходного сигнала ФД2 будет присутствовать только огибающая на частоте $2\omega_{\text{RF}}$. При уходе рабочей точки в спектре появится составляющая на частоте ω_{RF} , как результат биений между неподавленной до конца оптической несущей ω_0 и составляющими двухчастотного излучения $\omega_0 - \omega_{\text{RF}}$ и $\omega_0 + \omega_{\text{RF}}$. По отношению амплитуд огибающих на частотах $2\omega_{\text{RF}}$ и ω_{RF} в контроллере можно определить величину ухода рабочей точки и скомпенсировать его [4].

Для диапазона СВЧ-сигналов в диапазонах, используемых в телекоммуникационных и радиолокационных технологиях, нижняя измеряемая частота составляет 3 ГГц, верхняя – 30 ГГц. Данная информация позволила определить нам требования к ВРБ, используемой для измерения мгновенной частоты. Ширина полосы пропускания ВРБ на полувысоте должна составлять 45 ГГц (0,36 нм), что характерно для практически реализуемых решеток (0,1–0,5 нм). Заметим, что около центральной частоты ВРБ существует неиспользуемая зона ± 3 ГГц (0,025 нм). Учитывая это, было предложено изменить конфигурацию измерительной ВРБ на решетку с фазовым π -сдвигом и использовать характерный для таких решеток провал в спектральной характеристике для организации канала мониторинга спектрального положения элементов стенда и управления ими.

Заключение

В данной статье предложен двухчастотный метод измерения мгновенной частоты и амплитуды неизвестных СВЧ-сигналов. Ключевые особенности метода заключаются в использовании для измерений характерных особенностей взаимодействия двухчастотного излучения и волоконной решетки Брэгга с фазовым π -сдвигом, что позволило получить измерительные характеристики, не зависящие от энергетических флуктуаций оптической несущей и СВЧ-сигнала, и снижение погрешностей измерений, вызванных температурными флуктуациями спектральных характеристик используемых элементов.

Работа выполнена в рамках государственного задания на оказание услуг (выполнение работ) по организации научных исследований, выполняемых ФГБОУ ВПО «КНИТУ-КАИ» на кафедре телевидения и мультимедийных систем и в научно-исследовательском институте прикладной электродинамики, фотоники и живых систем (программа «Симметрия»).

Список литературы

1. *Sarkhosh N.* Photonic implementation of an instantaneous frequency measurement: dissertation for PhD. – RMIT University, 2009. – P. 5–9
2. А 1338647 SU 4 G02F 1/03. Способ преобразования одночастотного когерентного излучения в двухчастотное / Ильин Г.И., Морозов О.Г. (Казан. авиац. ин-т им. А.Н. Туполева). №3578456/31-25; Заявл. 13.04.83; Оpubл. 20.04.2004
3. *Zhang, X.* Microwave Frequency Measurement Using Fiber Bragg Grating as V-shape Filter / X. Zhang, J. Ni, P. Cheng, Z. Li // ICDMA. – 2010. Vol. 1, P. 921–924.
4. *Морозов О.Г.* Модуляционные методы измерений в оптических биосенсорах рефрактометрического типа на основе волоконных решеток Брэгга с фазовым сдвигом / О.Г. Морозов, О.А. Степущенко, И.Р. Садыков // Вестник МарГТУ. – 2010. No. 3 – С. 13-13.

05.02.10

С.В. Наумов, А.М. Игнатова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
механико-технологический факультет,
кафедра сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ СВАРКЕ В СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Исследованы физико-химические процессы в обмазке электродов на основе мономинеральной шихты, происходящие в процессе сварки.

Ключевые слова: минеральное сырье, отходы горного производства, термический анализ, габбро-диабаз, базальт, горнблендит, жидкое стекло, синтетический минеральный сплав.

Известно [1], что переработка минерального сырья в связана с образованием значительного количества побочных продуктов, которые принято называть отходами. В основном такая категория отходов, классифицируется как мало опасная или неопасная, то есть определяется как техногенные образования.

Одной из отраслей, где применение этих техногенных образований в качестве сырья является перспективной может быть производство сварочных материалов [2].

В связи с этим изучение физико-химических процессов протекающих при сварке в сварочных материалах на основе техногенных образований является актуальной задачей. Актуальность усиливается в случае рассмотрения техногенных образований и производства сварочных материалов с привязкой к региону, например, Пермский край, или конкретному производственному узлу – Горнозаводской производственный комплекс.

Целью настоящей работы является исследование физико-химических процессов при сварке в техногенных образованиях Ломовского месторождения Пермского края, в частности, с использованием их в качестве компоненты сварочных материалов.

Объектом исследования являются минеральные техногенные образования Ломовского месторождения Пермского края, образующиеся при добыче строительных материалов из этого месторождения (табл. 1). Это техногенное образование [3-6], рассматривается как монокомпонент шихты сварочных материалов (покрытий электродов, керамических и плавящихся флюсов), полностью удовлетворяющим по металлургическим и другим свойствам шихту, состоящую из определенного набора таких компонентов как рутил, кварцевый песок, мрамор, глинозем и т.д. Его геологическое название определяется как габбро-диабаз, габброидной или базальтоидной группы. Помимо этого техногенного образования как монокомпонента шихты сварочных материалов из техногенных образований, для сравнения была взята шихта электродного покрытия ESAB OK-76, состоящая из TiO_2 , CaF_2 , SiO_2 , CaCO_3 , Al_2O_3 и ферросплавов FeMn , FeSi .

Таблица 1

Химический оксидный состав образцов из отсевов габбро-диабазы
Ломовского месторождения Пермского края

Материал	Содержание компонентов, %											
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$	MnO	MgO	CaO	$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	Cr_2O_3	P_2O_5	$S_{\text{общ}}$	CO_2
отсевы с месторождения (габбро-диабаз)	48,56	4,42	12,44	8,55	0,22	3,71	8,33	3,50	-	0,47	<0,03	<0,1

При исследовании физико-химических процессов, происходящих в шихтах вышеуказанных объектов исследований в температурном диапазоне 20-1400°C использовался термический анализ с применением оборудования NETZSCH STA 409 PC/PG Luxx для нагрева на низких скоростях и прибора STA 449C Jupiter для нагрева на высоких скоростях с регистрацией летучих компонентов (установка оснащена газовой камерой, которая не только фиксирует выделение газовой фазы, но и проводит анализ ее состава).

Результат исследования представлен в виде термограмм нагрева и охлаждения, на которых регистрировались изменения массы образцов. Первоначально было исследовано поведение образца минерального техногенного образования при медленном нагреве (рис. 1). Для проведения исследований использовали образцы-навески порошка дисперсностью 0,1 мм, массой 40 мг, температурный диапазон испытания 20-1300 °С при нагреве и 1300-600 °С при охлаждении.

Пики при температуре 557 и 604 °С фиксируют процессы поглощения тепла, которые сопровождаются разрушением кристаллической решетки слоистого силиката $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_6(\text{Si}, \text{Al})_{4-10}(\text{OH}, \text{O})_8$.

Изменения dДСК в интервале температур 800-1000 °С свидетельствуют о процессах разрушения кольцевого силиката $\text{Na}_4(\text{CaFeMn})_2\text{Si}_6\text{O}_{17}(\text{OHCl})_2$ (эвдиалит), а при температуре 1112 °С зафиксировано разрушение цепочного силиката $\text{Al}(\text{Si}_2\text{O}_6)$. При температуре 816 °С было зафиксировано изменение ДСК с экзотермическим эффектом с широким интервалом.

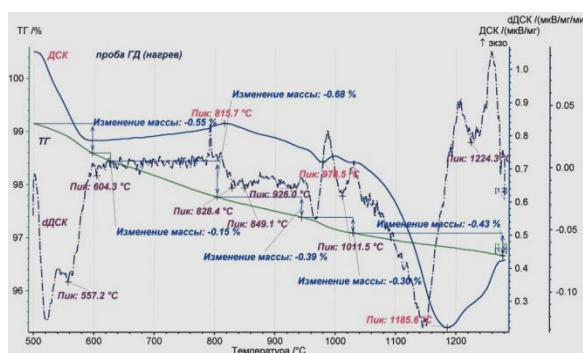


Рис. 1. Термограммы нагрева и охлаждения при скорости нагрева 30 °С/мин

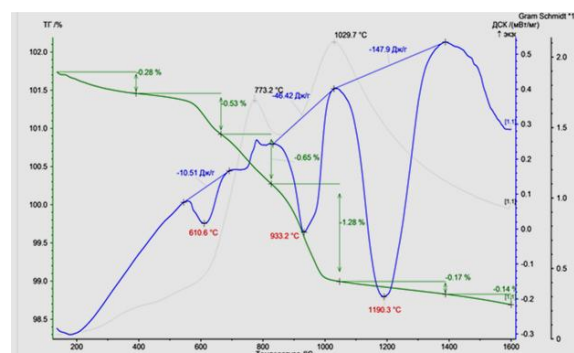


Рис. 2. Термограмма при скорости нагрева
50 °С/мин

Зафиксировано изменение массы на 0,68 %, это позволяет объяснить данный процесс, как термическое разложение и удаление связанных летучих элементов из материала. Пики при температуре 1186 и 1224 °С фиксируют момент разрушения кристаллических минеральных соединений $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ и $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, причем отсутствие соответствующих пиков при охлаждении свидетельствует о том, что впоследствии эти минералы переходят в состав других соединений и отсутствуют в переплавленных минеральных сплавах, полученных на основе такого сырья. Определен минимальный уровень температуры плавления сырья равный 1150 °С.

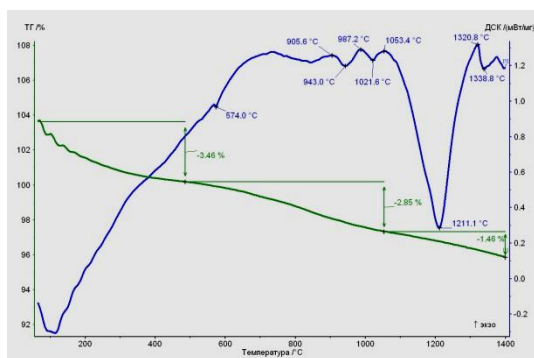


Рис. 3. Термограмма нагрева шихты габбро-диабазы с жидким стеклом со скоростью 50 °С/мин

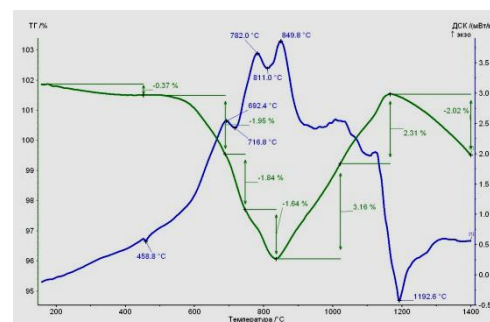


Рис. 4. Термограмма нагрева шихты электродного покрытия ОК-76 фирмы ESAB со скоростью 30 °С/мин

На следующем этапе исследований термический анализ был проведен на скорости нагрева 50 °С/мин в интервале температур 20-1600 °С (рис. 2). Пунктирной линией выделена динамика выделения летучих соединений. Согласно полученным данным, газовая фаза, выделившаяся при нагреве образца, содержит малую долю сульфидов и паров водорода (оксид серы, пары воды, фосфористый водород, сероводород, фторид кремния), однако более точно состав определить не удалось из-за малого количества летучих компонентов. В результате нагрева суммарная потеря веса образца составила 3,05 %, из которых на долю летучих пришлось 0,98 % от общей массы образца.

Выделение летучих соединений произошло дважды, во-первых, при температуре 773 °С, а во-вторых при температуре 1029 °С. Сопоставив эти результаты с результатами полученными на медленных скоростях нагрева мы обнаружили, что выделению газа при 773 °С соответствует моменту разложения слоистого силиката $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_6(\text{Si}, \text{Al})_{4-10}(\text{OH}, \text{O})_8$, а при 1029 °С соответствует разложению $\text{Na}_4(\text{CaFeMn})_2\text{Si}_6\text{O}_{17}(\text{OHCl})_2$.

Так же установлено что при высокой скорости нагрева, которая соответствует приближенным условиям сварки, летучие соединения выделяются вплоть до температуры 1029 °С.

Термическому анализу был подвергнут образец из шихты отсеков габбро-диабазы Ломовского месторождения с связующим, то есть жидким стеклом на режимах: скорость нагрева 50 °С/мин, диапазон 20 - 1400 °С (рис. 3). Для сравнительного анализа при тех же условиях проведен термический анализ электродного покрытия марки ESAB ОК-76.

Результаты термограмм показывают, что для обоих образцов на рис. 2 и 3 в температурном диапазоне 100-450 °С наблюдается потеря массы. Для образца габбро-диабазы потери массы составили 0,35 %, а для образца электродного покрытия ОК-76 - 3,46 %.

Пики характерные для мономинеральной шихты в интервале температур 500-1100 °С, соответствуют пикам для образца без жидкого стекла. Однако экзо- и эндотермические процессы у образца со связующим характеризуются более низкими показателями затрачиваемой энергии в 0,1-0,45 мВт/мг.

Кроме того установлено, что тепловые эффекты в температурах 1190,3 °С (1211,1 °С) и 1320 °С сохраняются на всех термограммах образцов габбро-диабазов, выше которых происходит полное расплавление шихты.

Сравнительный анализ шихт образцов показал сходимость пиков в температурах 782 °С и 1192,6 °С, что соответствует температурам разложения силиката и конечной температуре выделения летучих элементов.

Установлено, что если базовую шихту из отсеков габбро-диабазы переплавленную в процессе термического анализа до температур 1400-1600 °С смешать с раствором жидкого стекла, то экзо- и эндотермические эффекты при термическом анализе будут отсутствовать,

либо будут пологими и незначительными. Протекающие реакции будут связаны только с удалением воды из жидкого стекла. Наличие жидкого стекла, так же способствует увеличению потери массы при нагреве.

Использование мономинеральной шихты из габбро-диабазы, которая представляет собой смесь одинаковых по составу частиц, где каждая содержит весь комплекс необходимых компонентов покрытия, а не смесь разнородных частиц разных минеральных пород, как у традиционных покрытий, обеспечивает лучшее качество покрытия. Потому как частицы мономинеральной шихты обладают равномерной смачиваемостью по отношению к связующему, а за счет одинаковой плотности равномерно распределяются в нем.

Таким образом, установлено, что физико-химические процессы протекающих при сварке в сварочных материалах на основе техногенных образований Ломовского месторождения Пермского края представляют собой последовательное разложение сложных минеральных соединений на более простые с выделением энергии (упрощается структура силикатов, от листовой к ленточной, от ленточной к цепочной и т.д.) и газообразных соединений, процессы являются необратимыми, то есть при охлаждении, сложные соединения не восстанавливаются. При введении в шихту связующего (жидкого стекла) характер физико-химических процессов смещается в сторону взаимодействия связующего и шихты, в результате происходит разложение гидратированных соединений, а значительного выделения энергии не происходит. Поэтому рекомендуется использовать мономинеральную шихту, подвергнутую предварительному переплаву. Подвергнутые переплаву техногенные образования представляют собой новый материал - синтетические минеральные сплавы, которые являются перспективными для производства сварочных материалов.

Список литературы

1. Производство сварочных электродов // Металлургический бюллетень. – 2003. – №15-16.
2. Подгаецкий В.В., Люборец И.И. Сварочные флюсы. – К.: Техніка, 1984. – 167 с.
3. Канина А.В. [и др.]. Сопоставительный анализ компонентов газошлаковой основы сварочных материалов с минерально-сырьевым потенциалом Пермского края – Сб. трудов всерос. молодеж. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Инженерная мысль машиностроения будущего». – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – С. 128-131.
4. Игнатова А.М., Наумов С.В., Игнатов М.Н., Пушкин С.А, Суслов С.Б. Оценка пригодности и доступности базальтоидных и габброидных комплексов Западного Урала (Пермский край) для производства сварочных материалов// «Вестник Пермского государственного технического университета «Машиностроение. Материаловедение» . - №4, т.12, 2010. – С. 198-205.
5. Взаимодействие компонентов электродных покрытий с жидким стеклом при нагревании/ А.И. Николаев [и др.] // Вопросы материаловедения: научно-технический журнал. - 2009. - N 3. - С. 397-403
6. Совершенствование технологии производства сварочных электродов/ А.В. Баранов, Ю.Д. Брусницын, Д.А. Кашенко, А.А. Боков// Автоматическая сварка. – 2005. - № 12. – С. 43-44.

05.02.23

¹Б.Е. Недбайлюк к.т.н., ²С.А. Антонов к.э.н., ³И.И. Антонова к.ф.-м.н.¹ЧОУ ВПО «Институт экономики, управления и права (г. Казань)»,
кафедра интегрированных систем менеджмента,
г. Казань²ЧОУ ВПО «Институт экономики, управления и права (г. Казань)»,
факультет менеджмента и маркетинга,
г. Казань³ЧОУ ВПО «Институт экономики, управления и права (г. Казань)»,
Институт бизнес-образования,
г. Казань, smk@ieml.ru

ВОВЛЕЧЕНИЕ РАБОТНИКОВ В ПОСТОЯННОЕ УЛУЧШЕНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

В статье изложены результаты анализа моделей системы менеджмента качества, требования стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2008 и рекомендации стандарта ГОСТ Р ИСО 9004-2010 по вовлечению работников в постоянное улучшение системы менеджмента качества.

Ключевые слова: системы менеджмента качества, вовлечение работников.

Концепция вовлечения работников (conception of drawing of employers) в постоянное улучшение системы менеджмента качества имеет статус одного из 8-ми принципов менеджмента качества [1]: «Работники всех уровней составляют основу организации, поэтому их полное вовлечение в решение задач дает организации с выгодой использовать их способности».

В стандартах ГОСТ Р ИСО 9001 и ГОСТ Р ИСО 9004 этот принцип воплощен в модели системы менеджмента качества в блоке «постоянное улучшение системы менеджмента качества» (quality management system) [2, 3].

В стандарте ГОСТ Р ИСО 9001 и в модели системы менеджмента качества (рис.1) требование по реализации принципа вовлечения работников изложено в незначительной степени и довольно завуалировано.

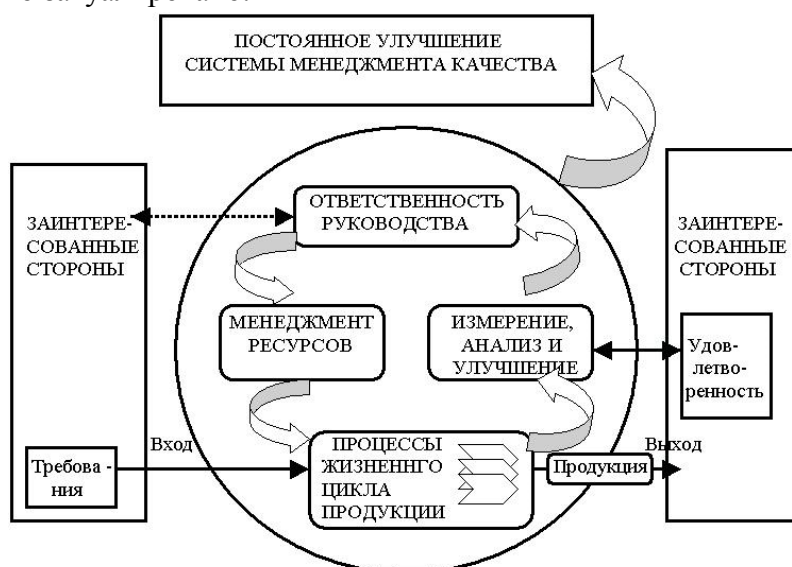


Рисунок 1 – Модель системы менеджмента качества, основанной на процессном подходе по ГОСТ Р ИСО 9001-2008

В ГОСТ Р ИСО 9001-2008 элементы вовлечения работников можно трактовать в требованиях подпункта 6.2.2.d): «Организация должна обеспечивать осведомленность своего

персонала об актуальности и важности его деятельности и вкладе в достижение целей в области качества» и в подпункте 5.1.а): «Высшее руководство должно обеспечивать наличие свидетельств принятия своих обязательств по разработке и внедрению системы менеджмента качества, а также постоянному улучшению ее результативности посредством: а) доведения до сведения персонала организации важности выполнения требований потребителей, а также законодательных и обязательных требований».

В развернутой модели системы менеджмента качества (рис.2), представленной в стандарте ГОСТ Р ИСО 9004-2010 действия по вовлечению персонала в постоянное улучшение системы менеджмента качества, ведущие к устойчивому успеху значительно расширены и сформулированы более четко. В модель SMK включен раздел 9: «Улучшение, инновации и обучение». Выходы процессов, описанных в этом разделе, направляются на вход блока «Постоянное улучшение системы менеджмента качества, (constant improvement of quality management system) ведущей к устойчивому успеху».

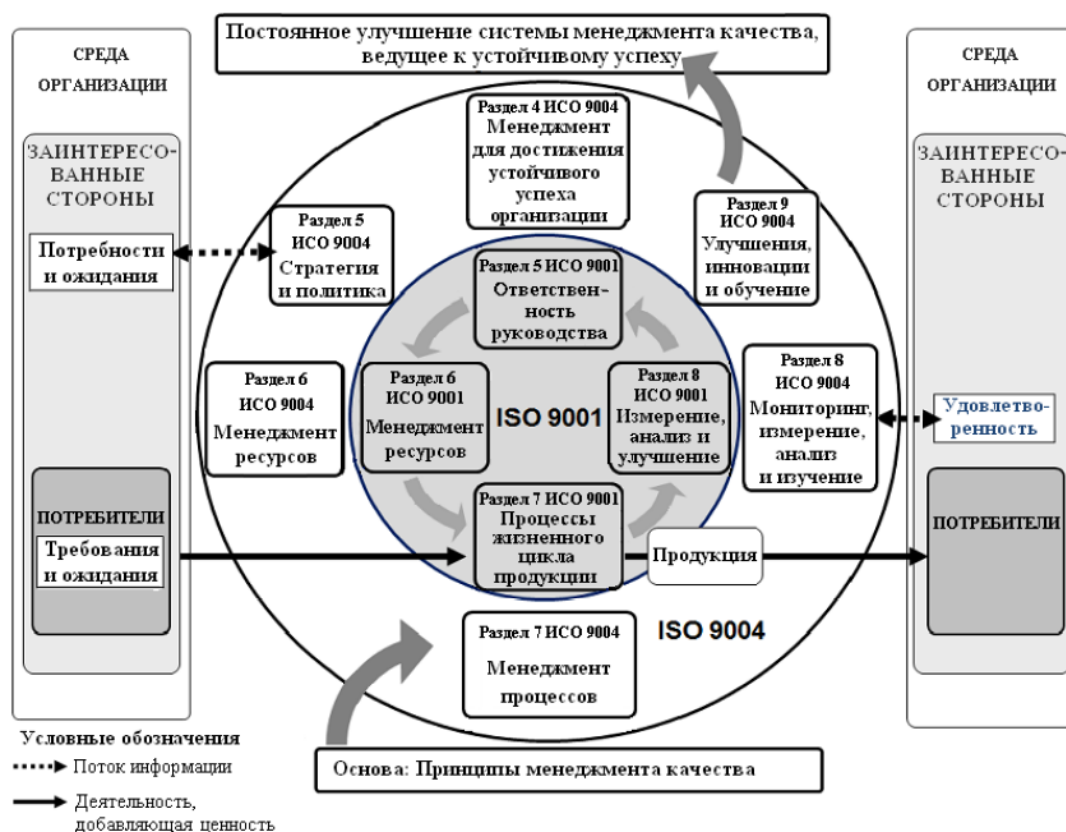


Рисунок 2. Развернутая модель системы менеджмента качества, основанной на процессном подходе по ГОСТ ИСО 9004-2010

В развернутой модели SMK все элементы модели SMK по ГОСТ ИСО 9001 дополнены рекомендациями для достижения устойчивого успеха организации.

В развернутой модели SMK по стандарту ГОСТ Р ИСО 9004 на вход в процессы жизненного цикла продукции и на выход этих процессов включена среда организации, которая содержит потребности, ожидания и удовлетворенность заинтересованность сторон.

Одной из заинтересованных сторон являются работники организации [3]. Это акцентирует значимость вовлечения работников организации в постоянное улучшение системы менеджмента качества. Работники организации это особая категория заинтересованной стороны. Они не только заинтересованы в улучшении деятельности организации для достижения устойчивого успеха, но и непосредственно осуществляют деятельность, результатом которой являются устойчивый успех и прибыль организации.

Компании, внедряющие TQM, стремятся «дать служащим возможность полностью реализовать свой потенциал»[4]. В приложении 1 приведены результаты проведенного авторами анализа методических указаний стандарта ГОСТ Р ИСО 9004-2010 организации по

вовлечению работников в постоянное улучшение системы менеджмента качества, ведущее к устойчивому успеху.

Таким образом в статье обоснована необходимость для организаций вовлечение работников в постоянное улучшение системы менеджмента качества, проведен анализ стандартов ГОСТ Р ИСО 9001-2008 и ГОСТ Р ИСО 9004-2010 с целью определения требований по вовлечению работников в постоянное улучшение системы менеджмента качества, который показал, что стандарт ГОСТ Р ИСО 9004-2010 представляет организациям значительно больше возможности по вовлечению работников в постоянное улучшение системы менеджмента качества по сравнению со стандартом ГОСТ Р ИСО 9001-2008.

Приложение 1

Рекомендации стандарта ГОСТ Р ИСО 9004-2010 по вовлечению работников в постоянное улучшение СМК, ведущее к устойчивому успеху

№ п/п	Раздел стандарта ГОСТ Р ИСО 9004/ Рекомендации стандарта по вовлечению работников
1	2
1	5 Стратегия и политика. 5.1 Общие положения/ Для достижения устойчивого успеха высшему руководству следует сформулировать и обеспечить реализацию миссии, видения и ценностей организации. Для этого необходимо добиться понимания, признания и поддержки со стороны работников организации и, по мере необходимости, других заинтересованных сторон.
2	5.2 Выработка стратегии и политики/ Высшее руководство должно четко определить стратегию и политику организации, чтобы обеспечить признание и поддержку ее миссии, видения и ценностей всеми заинтересованными сторонами.
3	6.3.1 Менеджмент человеческих ресурсов/ Высшему руководству следует, за счет своей лидирующей роли, формировать и поддерживать коллективное видение, коллективные ценности и внутреннюю среду, в которой персонал может быть полностью вовлечен в достижение целей организации.
4	6.6 Производственная среда/ Надлежащая производственная среда как сочетание человеческих и физических факторов должна формироваться с учетом: – творческих методов работы и возможностей для вовлечения всех сторон с целью реализации потенциала работников организации.
5	9 Улучшение, инновации и обучение. 9.1 Общие положения/ Обучение создает основу для результативных и эффективных улучшений и инноваций. Важнейшим условием для эффективных и результативных улучшений, инноваций и обучения является способность и право работников организации давать обоснованные оценки путем анализа данных и с использованием накопленного опыта.
6	9.2 Улучшение/ Организации следует позаботиться о том, чтобы постоянные улучшения стали частью ее культуры, посредством: – предоставления возможностей работникам организации для принятия участия в деятельности по совершенствованию путем наделения их соответствующими полномочиями; – выделения необходимых ресурсов; – создания систем стимулирования и материального поощрения улучшений; – постоянного повышения результативности и эффективности самого процесса совершенствования.
7	9.3.4 Процессы/ На разработку, поддержание в работоспособном состоянии и менеджмент инновационных процессов может влиять: – готовность персонала подвергнуть положение дел критическому изучению и изменить сложившуюся ситуацию.
8	9.4 Обучение/ Организация должна стимулировать осуществление улучшений и инноваций за счет обучения. Данный процесс предполагает: – стимулирование, моральное и материальное поощрение повышения квалификации персонала за счет обучения и совместного использования знаний; – высокую оценку творческого подхода, поддержку многообразия мнений различных работников организации.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.-М.: «Стандартинформ», 2009-30с.
2. ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Система менеджмента качества. Требования.-М.: «Стандартинформ», 2009-25с.
3. ГОСТ Р ИСО 9004-2010. Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества.-М.: «Стандартинформ», 2011-40с.
4. С. Джордж, А. Ваймерскирх. Всеобщее управление качеством: стратегии и технологии, применяемые сегодня в самых успешных компаниях (TQM).-СПб., «Виктория плюс», 2002-256с.

05.02.23

¹Б.Е. Недбайлюк к.т.н., ²С.А. Антонов к.э.н., ³И.И. Антонова к.ф.-м.н.

¹ЧОУ ВПО «Институт экономики, управления и права (г. Казань)»,
кафедра интегрированных систем менеджмента,
г. Казань

²ЧОУ ВПО «Институт экономики, управления и права (г. Казань)»,
факультет менеджмента и маркетинга,
г. Казань

³ЧОУ ВПО «Институт экономики, управления и права (г. Казань)»,
Институт бизнес-образования,
г. Казань, smk@ieml.ru

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ И ПРОЦЕССОВ В НЕПРЕРЫВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В статье изложены основные принципы организации процесса контроля качества производственных процессов и продуктов, виды, объекты и цели контроля.

Ключевые слова: *непрерывные процессы производства, контроль качества.*

Сущность контроля [1] заключается в получении информации о фактическом состоянии некоторого объекта и сопоставлении первичной информации с заранее установленными требованиями или нормами, т.е. обнаружение соответствия или несоответствия фактических значений параметров требуемым.

Непрерывные процессы производства продукции (continuing processes of products production) являются преобладающими процессами перед периодическими процессами в таких массовых отраслях промышленности как химическая, металлургическая, пищевая, нефтеперерабатывающая.

Непрерывность производственного процесса предопределяет организацию непрерывного контроля качества продукции и качества процессов на всем пути движения и превращения продуктов от подачи сырья и компонентов до выхода готового продукта.

В периодических производственных процессах отдельные стадии переработки материалов дискретны и поэтому процесс может быть остановлен на любой стадии обработки для проведения контроля качества (control of quality) или исправления обнаруженных несоответствий. Затем продукт может быть направлен на следующую стадию обработки.

При непрерывных процессах переработки материалов невозможно остановить процесс на какой-либо стадии для контроля, т.к. это повлечет за собой остановку всей производственной цепочки. Такие остановки во многих случаях сопряжены с аварийными ситуациями или порчей продукта, находящегося в технологических аппаратах. Поэтому в непрерывных процессах необходимо организовывать непрерывный контроль качества (continuing control of quality) на пути движения материалов через различные стадии обработки.

Непрерывный контроль качества материалов при непрерывном процессе обработки требует проведения непрерывного контроля технологических параметров обработки материалов. Например: скорость подачи материалов, параметры среды, состав компонентов, время обработки, электро-технические параметры и т.п.

Во всем многообразии материалов и процессов переработки материалов в готовый продукт не все показатели качества материалов и процессов возможно измерять непрерывно. Например: такие показатели качества материалов как теплостойкость пластмасс, молекулярно-массовое распределение (ММР); температура вспышки горючих жидкостей,

невозможно или очень сложно измерять непрерывно в процессе производства. Кроме того, в любом непрерывном производстве имеются складские запасы сырья, вспомогательных материалов и готового продукта, по которым нет необходимости непрерывно измерять показатели качества, а достаточно периодически проводить контроль качества.

Таким образом, при непрерывном производстве продукции существует сочетание непрерывных и периодических (дискретных) методов контроля качества материалов и процессов.

При таком сочетании методов контроля необходимо при организации процесса контроля качества выделить процессы, требующие непрерывного контроля качества и процессы, в которых возможен периодический контроль качества (*periodical control of quality*).

Рассмотрим принципы организации процесса контроля качества в цепочке процессов по производству продукции.

На рисунке 1 представлена цепочка процессов непрерывного производства продукта, в которой сочетаются непрерывные и периодические процессы, и не представлены процессы хранения материалов и продукции на складах, т.к. эти процессы не входят в цепочку процессов непосредственно задействованных в производстве продукта.

Процессы складирования №1 и №5 являются буферными процессами [2; 3] и необходимы для сглаживания и компенсации отрицательного влияния неритмичности поставок и сбыта на процессы №3 (производство целевого продукта) и №4 (фасовка, упаковка, маркировка продукта).

Рассмотрим процессы №3, №4, №5, №7.

Это цепочка непрерывных процессов. Непрерывность этих процессов определяется необходимостью в организации непрерывного контроля качества процессов и продукции этих процессов.

В процессе №3, где осуществляется непрерывная обработка материалов и получение готового продукта, такой контроль может быть обеспечен автоматическими средствами измерения.

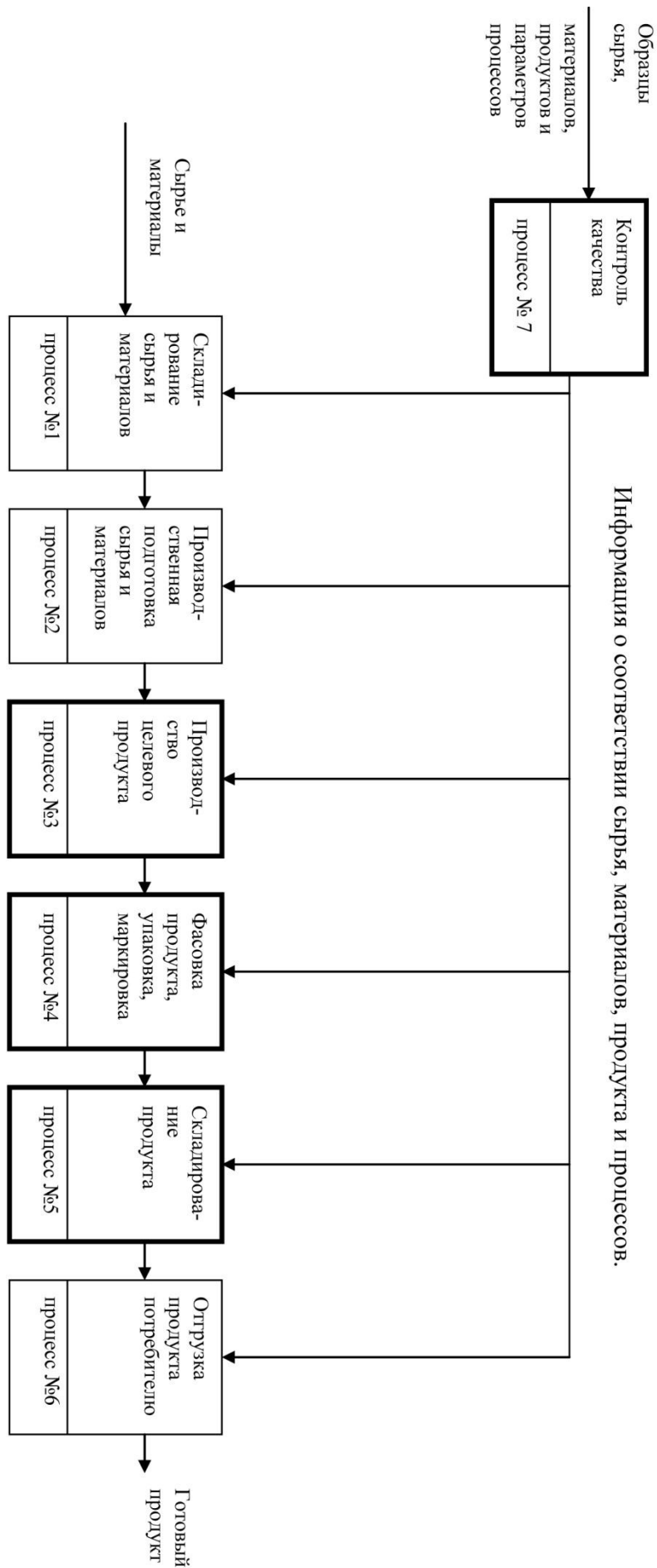


Рис. 1. Цепочка процессов производства и контроля качества продукции.
(Жирными линиями обозначены непрерывно действующие процессы №3, №4, №5, №7.
Тонкими линиями – периодические процессы №1, №2, №6)

Автоматические средства измерения позволяют вести непрерывный контроль и мониторинг процессов. Эти средства контроля качества процессов и продуктов оснащаются устройствами для регистрации и дистанционной передачи данных на централизованные пункты управления процессами, откуда поступают управляющие воздействия на процессы [4].

На тех участках процесса, где невозможно применения автоматических средств измерения, необходимо организовать пункты местного визуального контроля, который может проводить обслуживающий персонал, специально для этого обученный. Например: контроль внешнего вида изделий, наличие посторонних включений в продукте, цветность продукта.

В процессах №4 и №5 осуществляется непрерывный контроль за качеством фасовки, упаковки, маркировки и складирования продукта. По условиям конкретного процесса внедрение автоматических средств контроля качества в таких процессах может оказаться нецелесообразным с экономической точки зрения, поэтому в этих процессах применяются визуальные методы контроля.

Для обеспечения непрерывности визуального контроля качества процессов и продукта целесообразно привлекать для контроля персонал, непосредственно занятый в производстве продукции, что соответствует принципу TQM – вовлечение персонала в управление процессами.

Таким образом, для обеспечения непрерывности контроля качества необходимо в процессах контроля качества сочетать методы непрерывного инструментального контроля и непрерывный визуальный контроль, который осуществляет производственный персонал организации.

В процессе №7 производятся все виды контроля качества продукции и качества процессов. Выходом процесса №7 является информация о качестве сырья, материалов, продукта и процессов, которая поступает как управляющие воздействия во все процессы производственной цепочки.

Виды, объекты и цели контроля качества процессов производства продукции представлены в таблице 1.

Процесс контроля качества.

Таблица 1

Контролируемый процесс	Основные виды контроля					Объект контроля		
	Инструментальный контроль	Визуальный контроль	Непрерывный контроль	Периодический контроль	Цели контроля	Продукт	Тара и упаковка	Процесс
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Процесс №1 Скелетирование сырья и материалов	+	+	+	+	Предотвращение поступления несоответствующих сырья и материалов в процессы №1, №2, №3	+	+	+
Процесс №2 Подготовка сырья и материалов	+	+	+	+	Обеспечение передачи сырья и материалов требуемого качества на вход процесса №3	+	-	+
Процесс №3 Производство целевого продукта	+	+	+	-	Предотвращение получения несоответствующего продукта	+	-	+
Процесс №4 Фасовка, упаковка, маркировка продукта	-	+	+	-	Предотвращение несоответствий при фасовке, упаковке и маркировке продукта	-	+	+
Процесс №5 Скелетирование продукта	-	+	+	-	Обеспечение соответствия требованиям размещения и хранения продукта на складе	-	-	+
Процесс №6 Отгрузка продукта потребителю	-	+	-	+	Обеспечение поставки соответствующего продукта и сохранности качества при транспортировке потребителю	-	+	+

Примечание: в таблице указаны преобладающие основные виды контроля. Применительно к конкретным процессам виды контроля необходимо уточнять

Таким образом, в статье определены основные принципы разработки процесса контроля качества продукта и процессов в непрерывном производстве:

1. Определение в цепочке производства продукта процессов с непрерывным контролем и процессов с периодическим контролем качества.

2. Организация непрерывного контроля процессов в целях раннего обнаружения и предупреждения возможных и потенциальных несоответствий продукта или процесса производства.

3. Сочетание непрерывных инструментальных и визуальных методов контроля качества продукта и процесса производства.

4. Вовлечение всего производственного персонала в процесс контроля качества продукта и процесса производства.

Список литературы

1. ГОСТ 16504-81. «Система Государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения».
2. Левинсон У., Рерик Р. Бережливое производство: синергетический подход к сокращению потерь: пер. с англ. А.С.Раскина; под науч. Ред. В.В.Брагина – М: РИА «Стандарты и качество», 2007. -272с.
3. Недбайлюк Б.Е., Антонова И.И., Антонов С.А., Кудряшов В.Н., Галявиев Л.Х. Методы бережливого производства в непрерывных производственных процессах // Актуальные проблемы экономики и права – 2011.-1(17).-с.102-110.
4. Автоматизация измерений и контроля электрических и неэлектрических величин: Учебн. пособие для вузов; под ред. Д-ра техн. Наук А.А.Сазонова – М.: Изд-во стандартов, 1987. 328с.

05.17.01

О.Е. Нисина, С.Г. Козлов к.т.н., С.В. Лановецкий к.т.н., О.К. Косвинцев к.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра химической технологии и экологии,
Пермь, lsv98@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТЛОЖЕНИЯ СОЛЕЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Исследовано влияния различных реагентов на интенсивность отложения труднорастворимых солей на внутренних поверхностях технологического оборудования. Установлено влияние на удельную величину инкрустации шероховатости поверхности используемого материала и марки стали.

Ключевые слова: *Солеотложение, карбонат кальция, гидроксид калия, гидроксид натрия, шероховатость.*

Проблема борьбы с солеотложением на технологическом оборудовании в промышленности является сегодня достаточно актуальной, так как в ряде процессов используется неумягчённая минерализованная вода. При использовании таких вод велика вероятность отложения нерастворимых солей на стенках оборудования и трубопроводов. Присутствующие в воде катионы и анионы под действием внешних условий ориентируются по отношению друг к другу в пространстве в так называемый «кластер» – дальше идет процесс кристаллизации и образуются микрокристаллы, на микронеровностях которых адсорбируются другие «кластеры», микрокристаллы в свою очередь адсорбируются на поверхности оборудования, где и происходит их дальнейший рост.

Скорость образования отложений зависит от множества условий, таких как минеральный состав воды, временная и постоянная жесткость, гидродинамические условия системы, в который протекает процесс [1,2], также большое значение имеет материал, шероховатость и температура внутренних поверхностей аппарата [3].

На данный момент существует множество вариантов снижения интенсивности инкрустации оборудования [4-9]. Для выбора эффективного метода борьбы необходимо учитывать совокупность параметров, при которых протекает процесс, и образуются отложения.

Целью представленной работы явилось определение влияния различных нейтрализующих добавок на интенсивность отложения труднорастворимых солей на технологическом оборудовании сушильного отделения химической обогатительной фабрики БКПРУ-4 ОАО «Уралкалий» (г. Березники).

В соответствии с государственными стандартами проведен химический анализ состава образцов труднорастворимых солеотложений формирующихся на внутренней поверхности скруббера очистки отходящих газов сушильного отделения. Состав отложений представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Состав отложений на поверхности скруббера

Определяемый показатель	Методики измерения	Массовая доля, %
SiO ₂	ГОСТ 26449.4-85	1,5
SO ₄ ²⁻	ГОСТ 26449.4-85	0,8
Ca ²⁺	ГОСТ 26449.1-85	32,9
Mg ²⁺	ГОСТ 26449.1-85	0,7
CO ₃ ²⁻	ГОСТ 26449.4-85	49,8
Fe ³⁺	ГОСТ 22001-87	0,83
K ⁺	ГОСТ 22001-87	3,0
Na ⁺	ГОСТ 22001-87	0,3
Аммонийный азот	ГОСТ 26449.1-85	–
Нерастворимый в соляной кислоте остаток	ГОСТ 22001-87	1,6

В ходе анализа химического состава нерастворимых солеотложений выявлены достаточно большие потери массы образцов при прокаливании (до 45,4 % массы). По нашему мнению, значительную часть отложений составляют органические включения, в том числе частицы ила, поступающего с водой на подпитку системы оборотного водоснабжения. Эти частицы могут быть вяжущей основой для образующихся твердых компонентов отложений. Наряду с этим возможно накопление ила в емкостях системы промышленного водоснабжения.

Присутствие в составе ионов щелочных и щелочноземельных металлов указывает на наличие в пробе характерных для них нерастворимых соединений, которые разлагаются при температурах, значительно более низких, чем температура прокаливания пробы при анализе (900°C). Так, температура разложения карбонатов калия, натрия и железа составляет менее 200°C.

Анализ технологических потоков показывает, что основными причинами интенсивного солеотложения является одновременное использование в скруббере минерализованной оборотной воды в качестве орошающей жидкости и содового раствора для нейтрализации «кислых» стоков.

Используемая в процессе минерализованная вода (табл. 2) характеризуется высоким содержанием катионов Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺. Среди анионов в составе примесей основными являются HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻. При этом натрий и калий практически не образуют труднорастворимых соединений, в то время как кальций и магний являются основными составляющими отложений сформированных на теплопередающих поверхностях оборудования. Они вступают в реакцию с анионами и образуют соли с низкими коэффициентами растворимости.

Кроме того, для нейтрализации кислых стоков формирующихся в процессе очистки топочных газов подается 10% раствор кальцинированной соды. Очевидно, что это служит причиной дополнительного попадания в оборотную воду ионов CO₃²⁻. Взаимодействуя с находящимся в продукте кальцием, ионы CO₃²⁻ служат основной причиной образования карбонатных отложений. Это подтверждают результаты анализа состава отложений со скруббера мокрой очистки сушильного отделения (табл. 1).

Одним из наиболее эффективных способов снижения интенсивности процесса солеотложения является изменение химического состава раствора. В работе проведены исследования по замене раствора кальцинированной соды, используемого для нейтрализации орошающей жидкости, на растворы гидроксида калия и натрия. Данная замена позволит снизить содержание иона CO₃²⁻ в орошающем растворе, что, в свою очередь, исключит или значительно уменьшит уровень карбонатных отложений на оборудовании сушильного отделения.

В лабораторных условиях на металлических поверхностях смоделирован вероятный процесс образования CaCO₃ в условиях работы сушильного отделения. В качестве металлических поверхностей использовали стальные пластины (сталь Ст3 и сталь X18H10T).

Для опытов использовали минерализованную воду усредненного состава (табл. 2).

Таблица 2 – Состав минерализованной воды

Массовая концентрация ионов, мг/дм ³							Плотность, г/см ³
HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
130,3	457,1	500,3	21,5	66,2	77,4	1192,9	7,9
							1,006

У образцов определяли площадь поверхности и массу. В сосуд заливали минерализованную воду, туда же помещали образцы материалов. Минерализованную воду подкисляли 0,1 нормальным раствором соляной кислоты до pH=3. Далее, используя различные реагенты (Na₂CO₃, KOH, NaOH) раствор подщелачивали до pH=8. В первой серии опытов для нейтрализации среды использовали раствор Na₂CO₃, в последующих опытах использовали растворы KOH и NaOH. Во всех экспериментах температура минерализованной воды составляла 90оС, скорость перемешивания 60 мин⁻¹. Образцы с отложившимися на них кристаллами высушивали и снова взвешивали. Сушку производили в низкотемпературной электропечи СНОЛ 58/350 при температуре 60°С. Массу образцов определяли с помощью лабораторных весов марки AND GR202. По отношению массы образовавшегося отложения к площади поверхности образца определяли удельную величину инкрустации – δ.

Результаты проведенных экспериментов с различными реагентами и стальными пластинами представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Зависимость величины инкрустации от реагента, вводимого в раствор и материала пластины

Используемый реагент	Масса солеотложений на пластинке Ст3, гр	Масса солеотложений на пластинке X18H10T, гр	δ на пластинке Ст3, гр/м ²	δ на пластинке X18H10T, гр/м ²
Na ₂ CO ₃	0,10	0,0240	27,65	5,23
KOH	0,01	0,0014	2,74	0,31
NaOH	0,03	0,0023	8,24	0,50

Анализ табличных данных показал, что использование KOH в качестве добавки для нейтрализации кислых растворов вместо Na₂CO₃, позволит снизить отложение солей на образце пластины выполненной из стали Ст3 практически в 10 раз, а использование NaOH снижает солеотложение почти 3,5 раза. На образцах пластин выполненных из стали X18H10T замена кальцинированной соды на гидроксид калия и натрия, так же позволяет снизить величину солеотложения в 10 и 9 раз соответственно (рис. 1). Добавки щелочей позволяют довольно эффективно нейтрализовывать кислую среду и, кроме того, исключают дополнительное введение в раствор карбонат ионов, являющиеся одним из источников инкрустации внутренних стенок технологического оборудования.

В ходе проведения экспериментов также отмечено насколько большая роль отводится марке материала, на котором происходит формирование слоя кристаллического осадка. Замена пластины выполненной из стали Ст3 на пластину из стали X18H10T позволяет уменьшить удельную величину солеотложения в 5-16 раз в зависимости от вида используемого реагента. Эта особенность непосредственно связана различной шероховатостью используемых материалов. Так, для пластины, выполненной из стали марки Ст3, средняя величина абсолютной шероховатости составила 0,2 мм, а для пластины, выполненной из стали марки X18H10T – 0,01 мм, т.е. практически в 20 раз меньше.

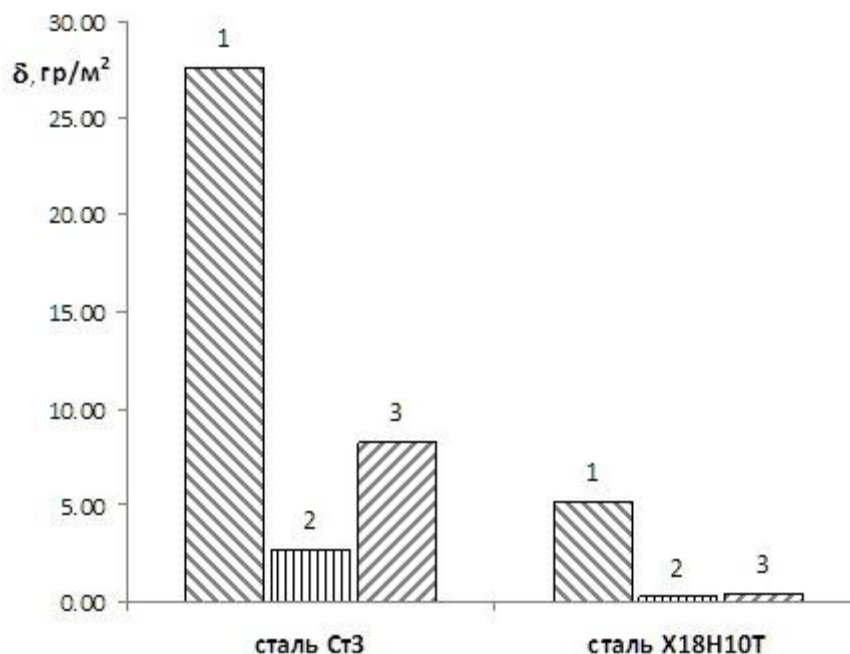


Рис. 1 – Зависимость удельной величины солеотложения от вида вводимого реагента и марки стали: 1 – Na₂CO₃, 2 – KOH, 3 – NaOH.

Объяснить влияние шероховатости поверхности на процесс солеотложения можно, используя известную [3] зависимость растворимости вещества от ее кривизны:

$$\frac{C_e}{C_{e,\infty}} = \exp \left[\frac{2M\sigma_{ef}}{iRT_s\rho r} \right],$$

где C_e , $C_{e,\infty}$ – растворимость вещества для радиуса кривизны r и в объеме раствора; i – относительное число частиц растворенного вещества в следствии диссоциации, σ_{ef} – удельная поверхностная энергия образования зародыша; T_s – температура на границе раздела кристалл – раствор.

В случае смачивания шероховатой поверхности металла раствором электролита радиус r будет отрицательным и растворимость во впадинах металлической поверхности будет ниже, чем в объеме раствора. Таким образом, если раствор в объеме является насыщенным, то во впадинах со смачиваемой поверхностью раствор при достаточно малом радиусе становится пересыщенным. Это может привести к образованию во впадинах кристаллов. В процессе их роста впадины зарастают и растворимость вещества C_e увеличивается. Вблизи выступов на поверхности металлической пластины ($r > 0$) растворимость вещества C_e ниже, чем в объеме раствора. При прочих равных условиях раствор становится пересыщенным вблизи выступа и на более шероховатой металлической поверхности скорость образования осадка возрастает, что и демонстрируют практические данные исследования.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что для уменьшения солеотложений на внутренних поверхностях эксплуатируемого технологического оборудования сушильного отделения химической обогатительной фабрики в качестве щелочного агента целесообразно использовать гидроксид калия. С целью более существенного снижения инкрустации оборудования предприятию рекомендуется обращать внимание на такие характеристики материалов как коррозионностойкость и шероховатость. Учитывая только эти параметры можно добиться достаточно значительного снижения инкрустации оборудования, продлевая тем срок межремонтного пробега.

Список литературы

1. *Пишеничникова В.Г.* Кинетические характеристики превращения гидрокарбоната кальция в карбонат и перехода последнего в твердую фазу в присутствии инородных для модельной системы добавок. Дис. кан. хим. наук. – Курск, 2002. – 164 с.
2. *Михайловский В.Н.* Кинетические закономерности бикарбонатов щелочных и щелочноземельных металлов в соответствующие карбонаты и отложение солей жесткости. Дис. кан. хим. наук. – Черновцы, 1980. – 168 с.
3. *Булатов М.А.* Комплексная переработка многокомпонентных жидких систем: Теория и практика управления образованием осадков. – М.: Мир, 2009. – 304 с.
4. *Козлов С.Г.* Способы снижения солеотложения в технологиях получения хлорида калия и обогащенного карналлита. Дис. кан. техн. наук. – Пермь, 1998. – 162 с.
5. *Присяжнюк В.А.* Физико-химические основы предотвращения кристаллизации солей на теплообменных поверхностях // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2003. – №10. – С.26-30.
6. *Потапов И.С., Пойлов В.З., Клейн Н.А.* Удаление инкрустаций хлорида калия с металлической поверхности под действием ультразвука // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2009. – Т.9. – С. 126-133.
7. *Coopmans E.J.A., Schwarz H.P.* Clarification as a pre-treatment to membrane systems // Desalination. – 2004. – V.165. – С. 177-182.
8. *Mayers G.* Focus on: cooling and boiler water treatment // Chem. Eng. (USA). – 2004. – V.111, № 12. – С. 63-65.
9. *Козлов А.Ю.* Химическая обработка охлаждающей воды // Энергосбережение и водоподготовка. – 2007. – № 4. – С. 21-22.

05.22.08

П.О. Новиков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный университет путей сообщения» (МГУПС (МИИТ)),
кафедра «Логистические транспортные системы и технологии»,
Москва, NovikovPO@gmail.com

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В данной статье используется стохастический граничный анализ для оценки эффективности железнодорожной отрасли Российской Федерации. Железная дорога рассматривается как система, которая использует инфраструктуру (длина путей, количество вагонов (грузовых и пассажирских), численность персонала), а также величина рынка для осуществления перевозок грузов и пассажиров.

Ключевые слова: *оценка эффективности, железные дороги, модель.*

Аналитическая основа, используемая во многих оценках характера производства и производственных показателей железных дорог, подвержена влиянию трех характеристик, которые являются общими практически для всех железнодорожных компаний. Во-первых, производство с множеством продуктов: пассажирские и грузоперевозки осуществляются одновременно и располагают, в основном, одними и теми же ресурсами. Во-вторых, все железнодорожные компании выигрывают в какой-то степени от (естественной) монополии, даже если другие способы перевозки косвенно составляют им конкуренцию. В-третьих, железнодорожные пассажирские перевозки и, в меньшей степени, грузоперевозки являются общественными услугами, которые зачастую подвержены жесткому регулированию со стороны государства.

В общем, эффективной можно назвать ту организацию, которая производит максимально возможный объем выпуска при заданном объеме затрачиваемых ресурсов или использующая минимально возможный объем ресурсов для производства заданного объема выпуска.

Существуют параметрические и непараметрические методы оценки эффективности работы организации. В данной статье применен параметрический метод стохастической границы. Он предполагает существование так называемой «границы эффективности», относительно которой измеряется эффективность. Основное преимущество данного метода перед методом детерминистской границы является то, что в используемом методе принимается в расчет возможность влияния «шума» статистических данных (например, в результате ошибки измерения или неправильного определения модели) при задании формы и позиционирования границы, и, следовательно, параметрические методы менее чувствительны к влиянию отклоняющихся значений.

Стохастическая граничная производственная функция постулирует существование явления технической неэффективности производства фирм, занимающихся выпуском определенной продукции. Для заданной комбинации входных уровней, предполагается, что реализованная продукция фирмы ограничена сверху суммой параметрической функции известных входов, включая неизвестные параметры и случайную ошибку, связанную с погрешностью измерения уровня производства или другими факторами. Чем больше сумма, на которую реализованная продукция не дотягивает до указанной стохастической производственной границы, тем выше уровень технической неэффективности.

Реализация реформы и необходимость оценки эффективности железнодорожных сетей привлекли внимание научного сообщества. В течение последнего десятилетия был

опубликован ряд научных исследований на тему эффективности железнодорожных сетей: Коэлли и Перельман 2000 [1] Кантос, Пастор и Серрано 2002 [2] и др. Большинство исследований свидетельствуют о значительном уровне неэффективности европейских железнодорожных сетей.

В настоящей статье используется стохастический граничный анализ для оценки эффективности железнодорожных компаний 7 стран: Швеция, Великобритания, Германия, Соединенные Штаты Америки, Канада, Мексика и Российская Федерация. Железные дороги рассматриваются как система, использующая инфраструктуру (протяженность железнодорожных путей (общего пользования), количество вагонов, численность персонала) и масштаб рынка (площадь страны, количество жителей) для перевозки пассажиров и грузов. Оценивается эффективность грузовых и пассажирских перевозок отдельно на основе различных моделей.

Большинство железнодорожных сетей первоначально были организованы как отдельные государственные монополии, и данная ситуация сохраняется во многих странах и по сей день. Что касается рассматриваемых стран, то в связи с возрастающей конкуренцией автомобильного транспорта, либерализацией экономики или же просто убыточной деятельностью железнодорожных компаний необходимость реформирования отрасли становилась все более очевидной.

Основные компоненты реформы, для большинства европейских стран, включают:

- отделение управления инфраструктурой от транспортных операций; такое отделение может быть осуществлено в три этапа – разделение бухгалтерского учета, организационное разделение и полное (институциональное) разделение;
- создание условий для доступа иностранных железнодорожных компаний на национальные рынки транспортировки.

Реализация реформы должна привести к росту конкурентоспособности железнодорожного сектора и повышению его эффективности.

В то же время уровень рыночной конкуренции является одним из компонентов, оказывающих влияние на эффективность железнодорожных перевозок. Национальные железнодорожные сети функционируют в разных средах, вследствие различий в экономиках стран. Это важно при принятии решения о начале реформирования отрасли. Например, уровень ВВП в 1995 году в Соединенных Штатах Америки более чем в 18,5 раз превосходил ВВП Российской Федерации, ВВП Великобритании почти в 3 раза превосходил ВВП РФ. Существующие железнодорожные инфраструктуры также очень неоднородны. Плотность железнодорожной сети (соотношение между совокупной длиной железнодорожных путей и площадью страны) в Великобритании в 14,9 раз выше, чем в Российской Федерации, в США в 1,9 раз больше чем в Мексике. Также наблюдается выраженная ориентация железнодорожных сетей на пассажирские или грузовые перевозки. Отношение объема пассажирских перевозок (в пассажирокилометрах) к объему грузовых перевозок (в тоннокилометрах) колеблется от 0,0089 в Канаде до 2,85 в Великобритании (2010 г.). Различная ориентация значительно усложняет оценку эффективности европейских железнодорожных сетей.

Несмотря на значительное количество исследований в данной области, согласованность в понимании результатов функционирования железнодорожных сетей отсутствует. Проблема заключается в том, что любая железнодорожная сеть осуществляет как грузовые, так и пассажирские перевозки, которые дают совершенно разные результаты. Некоторые авторы ([3]) рассматривают только один из этих двух продуктов железнодорожных сетей и создают отдельные модели для грузовых и пассажирских перевозок. Такой подход имеет очень серьезный недостаток – как правило, невозможно разделить ресурсы сети (инфраструктура, персонал), используемые для пассажирских и грузовых перевозок, а использование общих ресурсов приводит к погрешностям в оценке эффективности, вследствие различной ориентации железнодорожных сетей. Другие авторы рассматривают железнодорожную сеть как единое целое и создают модели одновременно для двух продуктов сети ([4]).

В настоящей статье рассматриваются три модели эффективности железных дорог [5]:

- 1) модель эффективности пассажирских перевозок, модель ПКМ;
- 2) модель эффективности грузовых перевозок, модель ТКМ;
- 3) модель общей эффективности с двумя одновременными результатами, модель ОБЩ.

Используемый метод для оценки эффективности [6], что позволяет получать годовые показатели эффективности железнодорожных сетей рассматриваемых стран. В статье оцениваются взаимосвязи между расчетными уровнями эффективности и различными характеристиками железнодорожных сетей, а также связь этих уровней с макроэкономическими и демографическими показателями. Кроме того, изучается динамика изменений уровней эффективности для выбранного периода времени для каждой рассматриваемой страны.

Для использования метода стохастической границы рассматриваются национальные железнодорожные сети, как системы с определенным числом входов (ресурсов) и выходов (результатов). Данный метод основан на теории множеств производственных возможностей, их границ и теории производственных функций.

В модели стохастической границы предполагается, что железнодорожная сеть использует входной вектор ввода ресурсов, состоящий из неотрицательных компонентов,

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_N) \in R_+^N$$

для получения вектора результатов

$$y = (y_1, y_2, \dots, y_M) \in R_+^M.$$

Основными понятиями анализа стохастических границ являются:

- множество производственных возможностей

$$T = \{(y, x) \mid x \text{ достаточное для получения } y\};$$

- производственная граница этого множества

$$f(x) = \max\{y \mid (y, x) \in T\}.$$

Суть метода заключается в построении границы эффективности для выборки национальных железнодорожных сетей, оценке расстояния эффективности каждой железнодорожной сети от этой границы (как уровня неэффективности) и выявления взаимосвязей между уровнями эффективности и определенными наборами факторов.

Модель стохастической границы можно оформить в виде:

$$y = f(x, \beta) + \varepsilon \\ \varepsilon = v - u, v \sim N(0, \sigma^2), u \geq 0,$$

где

y – выход (результат);

x – используемые ресурсы;

f – производственная функция;

β – неизвестные коэффициенты;

ε – составной остаточный член.

Первый компонент составного остаточного члена, v , показывает случайное изменение границы эффективности, а второй, u – техническую неэффективность функционирования железнодорожной сети. Индивидуальная эффективность железнодорожной сети i рассчитывается как [8]:

$$TE_i = e^{-E(ui \mid \varepsilon_i)}$$

где

$E(ui \mid \varepsilon_i)$ – условное математическое ожидание u_i при заданном ε_i ;

TE_i – техническая эффективность, $0 < TE_i < 1$.

Использование метода наибольшего правдоподобия позволяет получить асимптотически состоятельные оценки для всех неизвестных параметров модели, но требует дополнительных предположений о вероятностных распределениях компонентов остаточного члена. Типичным предположением модели стохастической границы является нормальное распределение случайного компонента v_i с нулевым средним. Распределение второго

компонента остаточного члена u_i выбирается автором работы (при условии обязательной неотрицательности значений).

Одним из главных преимуществ метода стохастической границы по сравнению с детерминированными методами (DEA) является вероятностный характер рассчитываемых параметров. Данная методология предполагает наличие неопределенности в результатах и позволяет оценить ее. Благодаря этому, становится возможной проверка гипотезы об альтернативных спецификациях моделей и значениях параметров на основе статистических свойств параметров.

Таким образом, для спецификации модели выбраны различные функциональные формы границы, формы распределения неэффективности, а также набор факторов, влияющих на неэффективность железных дорог. Комбинации этих факторов представляют собой альтернативные спецификации модели, которые сравниваются с помощью стандартного теста отношения правдоподобия.

Полученные формы модели для железнодорожных перевозок с одним выходом y (количество пассажирокилометров для модели ПКМ и количество тоннокилометров для модели ТКМ), с транс логарифмической формой границы, изменяющейся во времени, и с усеченным нормальным распределением неэффективности

Набор данных включает в себя некоторые характеристики железнодорожной инфраструктуры и процесса перевозки, а также макроэкономические и социальные показатели для 7 стран (данные за 2011 на данный момент недостаточно полны).

Данные были получены из следующих источников: база данных Международного союза железных дорог (объемы пассажирских и грузовых перевозок, характеристики инфраструктуры (общая длина железнодорожных путей, количество составляющих подвижного состава по типам) и численности персонала), база данных ЕВРОСТАта (плотность населения, площадь территорий некоторых стран), база данных Всемирного Банка (основные показатели работы железных дорог за более ранние периоды, а также макроэкономические данные стран), официальные данные государственных статистических бюро по каждой из рассматриваемых стран и показатели работы анализируемых железнодорожных компаний.

Важным моментом в спецификации модели стохастической границы является определение трех групп факторов – выходов (результатов функционирования системы), входов (ресурсов), а также факторов, влияющих на неэффективность системы.

Результаты функционирования железнодорожных сетей определены в виде числа пассажирокилометров (пкм) для пассажирских перевозок и числа тоннокилометров (ткм) для грузовых перевозок, так как эти показатели свидетельствуют о реальных экономических (не технических) результатах работы железнодорожных сетей более точно, чем другие.

Для оценки эффективности работы железных дорог были использованы следующие характеристики в качестве ресурсов сети: общая длина железнодорожных путей, количество пассажирских вагонов (все виды) и количество грузовых вагонов (все виды), число работников, задействованных на железной дороге, а также суммы инвестиций в инфраструктуру (переведено по курсу на рассматриваемый год, данные всемирного Банка).

Анализируя эффективность работы железнодорожной отрасли в Российской Федерации по модели ОБЩ можно сказать, что с 1992 по 1999 годы эффективность сократилась на 12%, эффективность по модели ПКМ с 1992 по 1996 год сократилась на 44%, по модели ТКМ с 1993 по 1997 год – на 42%. Сокращение эффективности можно объяснить последствиями распада Советского Союза, потерь экономических связей, рынков сбыта, а также отставанием финансирования отрасли. С начала реформы в 2003 году эффективность как по модели ПКМ, так и по модели ТКМ представляет собой «пульсирующий» график с отрицательным трендом. Особенно заметно снижение эффективности грузовых перевозок, о котором свидетельствует падение показателей модели ТКМ в 2009-2010 годах на 45%.

Описанный метод позволяет проследить изменения эффективности работы железнодорожной отрасли в целом (модель ОБЩ), а также отдельно грузовых (модель ТКМ)

и пассажирских (модель ПКМ) перевозок, и оценить влияние реформирования на работу железнодорожной сети.

Список литературы

1. Coelli, T., Perelman, S. Technical efficiency of European railways: a distance function approach, *Applied Economics*, №32, 2000, pp. 1967–1976.
2. Cantos, P., Pastor, J. M., Serrano, L. Cost and revenue inefficiencies in the European railways, *International Journal of Transport Economics*, №29, 2002, pp. 279–308.
3. Friebe, G., Ivaldi, M., Vibes, C. Railway (De)regulation: A European Efficiency Comparison, CEPR Discussion Paper, №4319, Centre for Economic Policy Research, London, 2005, 47 p.
4. Wetzel, H. European Railway Deregulation: The Influence of Regulatory and Environmental Conditions on Efficiency, Working Paper Series in Economics 86, University of Lunenburg, 2008, p. 36.
5. Pavlyuk D., Efficiency analysis of European countries railways, The 8th International Conference “RELIABILITY and STATISTICS in TRANSPORTATION and COMMUNICATION - 2008”, pp. 229-236.
6. Aigner, D.J., Lovell, C.A.K, Schmidt, P. Formulation and Estimation of Frontier Production Function Models, *Journal of Econometrics*, №6, 1997, pp. 21-37.

05.13.01

Н.Э. Поликарпова, Е.В. Фоменко, А.Х.-Х. Нугманов к.т.н., М.А. Никулина

Астраханский государственный технический университет
механико-технологический институт,
кафедра технологических машин и оборудования,
Астрахань, tetatet.78@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКОВ КЛИЕНТОВ НА БАЗЕ УСТАНОВИВШИХСЯ СИСТЕМНЫХ СВЯЗЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ

Работа посвящена анализу процессов при формировании потоков клиентов предприятий общественного питания. Представлена математическая модель функционирования предприятий питания на основе анализа системных связей между технологией, ассортиментной политикой, прибылью и потоком клиентов. Предложен алгоритм оптимизации ингредиентов по критерию минимума стоимости.

Ключевые слова: *поток клиентов, системный анализ процессов, математическая модель, оптимизация ингредиентов.*

Настоящая работа посвящена анализу происходящих процессов при формировании потоков клиентов предприятия общественного питания (ОП), основанного на современных методах построения ассортиментной политики и установившихся системных связях в технологии ОП. Сложность управления предприятиями ОП обусловлена особенностями и многофакторностью происходящих в них процессов, отсутствием количественной информации о динамике и изменчивости их во времени.

В качестве научной гипотезы выдвинуто предположение о том, что экономическая эффективность функционирования предприятий ОП будет зависеть от корреляции дифференцирования ингредиентов по степени готовности с уровнем прогрессивности технологии и оборудования, а также с качественной характеристики готовой продукции (ХГП).

Используя исследования в данной области [1,2], есть основания по введению ХГП, а именно критериального показателя, направленного на получение численных характеристик по снятию неопределенности сенсорных оценок, отражающего влияние входящих в него компонентов на качество продукта и позволяющего производить оценку качества готового продукта на предварительном этапе, в обобщенную модель функционирования предприятия ОП. Отклонение численного значения критериального показателя, полученного на основании аналитических исследований и проведенных экспериментов, в пределах 7%, является гарантом того, что конечное блюдо имеет удовлетворительную сенсорную оценку и качество продукта соответствует нормативным документам [2].

Получена математическая модель оптимального функционирования производства предприятия ОП представленная в виде [3]:

$$\begin{aligned}
 Z(X) &= (P - Q^{(c)} - (1 + \beta)Q^{(онл)})X - Q_{пол}^{(энерг)} \rightarrow \max \\
 Q_{пол}^{(c)}(V) &= p^{(c)} * V * X \rightarrow \min \\
 \left\{ \begin{array}{l} k_s AL \leq X_{NS}, s = 1...S \\ K_{онм} < \Gamma \\ x_j \geq 0, j = 1...N \end{array} \right.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Первая целевая функция $Z(X)$ - прибыль от реализации продукции, в матричном виде представляется, как:

$$Z(X) = (P - Q^{(c)} - (1 + \beta)Q^{(онл)})X - Q_{пол}^{(энерг)} \rightarrow \max \tag{2}$$

X – вектор количества блюд. В качестве готовой продукции выступают горячие блюда, общий ассортимент которых принят за N , а стоимость блюда – матрица P . Стоимость сырьевых ресурсов на одну порцию готового продукта представлена матрицей $Q^{(c)} = (q_i^{(c)}) = P^{(c)}V$. Затраты на оплату труда за непосредственное изготовление продукции в общей её себестоимости определяется произведением: $Q^{(onl)} = (q_j^{(onl)}) = P^{(onl)}TV$. Отчисления во внебюджетные фонды, определяемые в виде установленного процента от величины заработной платы основных рабочих цеха, обозначим коэффициентом β , который есть скалярная величина. Стоимость выполнения технологических операций за единицу времени при оплате труда основным рабочим цеха ($руб/ч$) представлен в виде вектора $P^{(onl)}$. Временные промежутки переработки единицы i -ого вида сырья согласно k -ой технологической операции ($ч/кг$) представляется матрицей T . Стоимость энергоресурсов, необходимых для производства одной порции j -блюда представляется в виде матрицы-строки $Q^{(энерг)} = (q_j^{(энерг)})$.

Во второй целевой функции, в качестве критерия оптимизации выступает минимизация издержек на использование сырьевых ресурсов:

$$Q_{нол}^c(V) = p^{(c)} * V * X \rightarrow \min \quad (3)$$

Порционные объёмы сырьевых ресурсов, согласно рецептурным нормам, матрица V , величины которой v_{ij} – есть вес i -ого вида сырья, измеренный в килограммах идущий на приготовление одной порции j -ого горячего блюда, k_{ij}^{onm} – оптимальный коэффициент долевого участия сырья.

Общий ассортимент индивидуальных объёмов сырьевых ресурсов, в соответствии рецептурным нормам, в качестве которых могут выступать: свекла, капуста, мясо, масло, картофель, крупа и т.д. обозначен M . Цены на сырьевые ресурсы, представлены в виде вектора $P^{(c)} = (p_i^{(c)})$.

Граничные условия, накладываемые как на отдельные экзогенные переменные, так и на целевые функции в целом, представлены в виде:

$$\begin{cases} k_s AL \leq X_{NS}, s = 1...S \\ K_{onm} < \Gamma \\ x_j \geq 0, j = 1...N \end{cases} \quad (4)$$

Первое граничное условие связывает количество потребителей, их предпочтения при выборе блюд с общим количеством приготовленных горячим цехом порций.

$k_s = \frac{1}{100S}$ – коэффициент, учитывающий количество S приемов пищи; L – вектор числа посетителей; A – матрица долевого участия блюд в общем ассортименте; H – количество порций блюд. Γ – матрица максимально возможных отклонений по расходованию сырья согласно рецептурным нормам. Вектор количества блюд x_j должно быть больше или равно 0.

Предложен алгоритм определения состава j -ого блюда по критерию минимума стоимости $Q_{j,min}^c$:

1. Выполняется сортировка перечня продуктов в составе блюда в порядке убывания их стоимости.

2. Определяются ограничения γ_{ij} , накладываемые на диапазон изменения доли продукта в составе блюда.

3. Из перечня продуктов последовательно выбираются продукты, не достигшие предела изменения доли и для которых изменение доли не запрещено – один из начала списка (имеющий высокую цену p_f^c) и один из конца списка (имеющий низкую цену p_g^c).

4. Для выбранных в предыдущем пункте блюд определяется их возможное максимальное

совместное изменение доли dv_{ij} в пределах заданных ограничений по формуле:

$$v_{uj}^{\max} = \min \{ v_{fj} (dv_{fj} - |v_{fj}^0 - v_{fj}|), v_{gj} (dv_{gj} - |v_{gj}^0 - v_{gj}|), v_{fj} dv_{fj}, v_{gj} dv_{gj} \} \quad (5)$$

5. Производится изменение доли продуктов в первом блюде по формулам:

$$v_{fj} = v_{fj} - v_{uj}^{\max}, \quad v_{gj} = v_{gj} + v_{uj}^{\max} \quad (6)$$

6. Пункты 3 – 5 повторяются до тех пор, пока выполняются следующие условия: $f < g$;
 $q_j^c \leq q_{j,\min}^c$; $[k_{ij}^{onm} - k_{ij}^o] / k_{ij}^o < \gamma_{ij}$,

В соответствии с приведенными выше подходами к решению проблемы снижения затратнообразующих факторов необходимо обозначить вопрос формирования клиентов на предприятиях ОП.

Интегрированный поток клиентов формируется в результате слияния ряда отдельных потоков клиентов, которые различаются по своему социальному статусу и финансовым возможностям, зависят от типа предприятия ОП (столовая, кафе, ресторан и др.). Совокупность перечисленных факторов и определяет заказ клиента, а также время его пребывания в предприятии ОП и даже его поведение в нем.

Применительно к студенческой столовой, как к одному из типов предприятий ОП, можно выделить следующие основные типы потоков клиентов: студенты, осуществляющие прием пищи на переменах и после занятий; преподаватели ВУЗа; вспомогательный и обслуживающий персонал вуза в процессе обеденного перерыва; внешние посетители, периодически посещающие столовую; группы студентов и других лиц, посещающие предприятие ОП при наличии свободных от занятий значительных временных промежутков; внешние посетители (гости вуза), случайно посещающие предприятие ОП.

Можно выделить общие типы мотивации посещений предприятий ОП: осуществить полноценный прием пищи; желание поесть, особенно при наличии известных блюд в меню; использование предприятия ОП как места для общения, а процесс потребления – как фон для общения; полноценно принять пищу, поскольку еда в предприятии ОП устраивает клиента; время проведение, образовавшееся в результате необходимости ожидания; празднование важных событий.

Оценка и прогнозирование значений «клиентоотдачи» является важным элементом процесса управления в общественном питании, поскольку именно ее значение определяет, прежде всего, ценовую политику предприятия ОП и может быть различной даже для одной категории при различных мотивациях. Имея значение величины «клиентоотдачи», можно поставить задачу оценки оптимального числа блюд в меню в идеальном случае, когда каждый из клиентов сможет найти приемлемое для него блюдо.

Таким образом, на основании всех вышеприведенных данных вытекает дальнейшая цель исследований - определение компромисса между затратами студенческой столовой и удовлетворением потребностей студентов и персонала вуза в качественном питании, что планируется осуществить посредством моделирования основных механизмов управления с возможностью обеспечения контроля состава меню и количества заготовленных экземпляров по каждому блюду в меню.

Список литературы

1. *Алексаян И.Ю., Нугманов А.Х.-Х., Золина Н.П.* Анализ системных связей между энергетической ценностью продукта и пищевой энергией, потребляемой человеком, с учетом влияния варьируемых факторов// Вестник АГТУ. 2009. №2. С. 114–117.
2. *Алексаян И.Ю., Нугманов А.Х.-Х., Фоменко Е.В.* Комплексная автоматизация и системный анализ технологических процессов пищевых производств для эффективного функционирования предприятий отрасли// сборник «ВЕСТНИК «АГТУ» Серия: Управление, вычислительная техника и информатика-2012-№1 С. 7-16.
3. *Нугманов А.Х.-Х., Степанович А.Н.* Оптимизация процессов комплексной тепломассообменной обработки пищевой смеси// Вестник АГТУ. 2007. №6(41). С. 122–124.

05.13.06

Д.Г. Рандин

Самарский государственный технический университет,
г. Самара, em@samgtu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ С УПРАВЛЯЕМЫМ ДЕМПФЕРОМ

Исследованы динамические характеристики системы виброзащиты с управляемым демпфером. На основе желаемых логарифмических частотных характеристик активной системы виброзащиты с отрицательной обратной связью по скорости и исполнительным элементом в виде управляемого демпфера произведен синтез корректирующего устройства и показана его эффективность.

Ключевые слова: система виброзащиты, управляемый демпфер, динамические характеристики, отрицательная обратная связь, желаемые логарифмические частотные характеристики, синтез регулятора.

В условиях возрастающих требований к качеству виброзащиты прецизионных металлообрабатывающих станков, измерительных комплексов, транспортных средств и других объектов всё более широкое применение получают «активные» системы виброзащиты с управляемыми элементами демпфирования. В качестве управляемых демпферов могут использоваться, например, амортизаторы с жидким или газообразным рабочим телом [1,2,4].

Представляется актуальным исследование динамических характеристик системы виброзащиты с управляемым значением коэффициента вязкого трения.

Расчетная схема одномассовой системы виброзащиты (СВ) с управляемым демпфером (УД) представлена на рис.1.

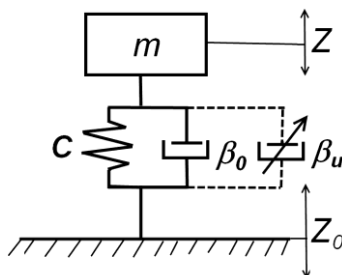


Рис.1 - Расчетная схема одномассовой системы виброзащиты.

Схема на рис.1 содержит виброзащищаемый объект массой m , упругий элемент жесткостью C , неуправляемый и управляемый элементы вязкого трения (демпфер) с параметрами β_0 и β_u соответственно. Возмущающим воздействием на систему является перемещение основания Z_0 .

Дифференциальное уравнение, описывающее динамику одномассовой системы виброзащиты, представленной на рис.1, имеет вид

$$m \frac{d^2 Z}{dt^2} + (\beta_0 + \beta_u) \frac{d(Z - Z_0)}{dt} + C(Z - Z_0) = 0. \quad (1)$$

Передаточная функция (ПФ), соответствующая дифференциальному уравнению (1), для выходной переменной - скорости перемещения защищаемого объекта ($V = \frac{dZ}{dt}$) и входной переменной - перемещения основания (Z_0) имеет вид

$$W_B(p) = \frac{V(p)}{Z_0(p)} = \frac{p \left[\frac{\beta_0 + \beta_u}{C} p + 1 \right]}{\left[\frac{m}{C} p^2 + \frac{\beta_0 + \beta_u}{C} p + 1 \right]} = \frac{p [2\xi_1 T_1 p + 1]}{T_1^2 p^2 + 2\xi_1 T_1 p + 1}, \quad (2)$$

где p - оператор Лапласа, $T_1 = \sqrt{\frac{m}{C}}$, $2\xi_1 T_1 = \frac{\beta_0 + \beta_u}{C}$.

ПФ для выходной переменной – ускорения защищаемого объекта ($\varepsilon = \frac{d^2 Z}{dt^2}$) и входной переменной - перемещения основания имеет вид

$$W_B(p) = \frac{\varepsilon(p)}{Z_0(p)} = \frac{p^2 \left[\frac{\beta_0 + \beta_u}{C} p + 1 \right]}{\left[\frac{m}{C} p^2 + \frac{\beta_0 + \beta_u}{C} p + 1 \right]} = \frac{p^2 [2\xi_1 T_1 p + 1]}{T_1^2 p^2 + 2\xi_1 T_1 p + 1}. \quad (3)$$

С учетом ПФ (2) и (3) разработана структурная схема (рис.2) для исследования динамических характеристик системы с помощью инженерных программ (CLASSiC-3.01, MATLAB).

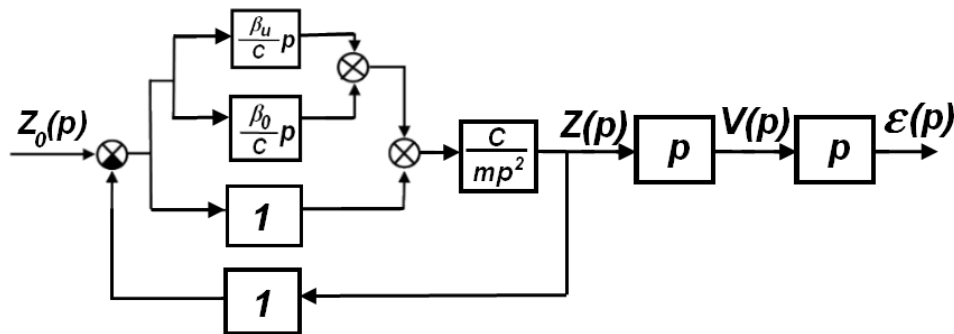


Рис. 2 - Структурная схема СВ.

В результате моделирования получены графики переходного процесса в СВ при единичном ступенчатом воздействии со стороны основания (кривая 2, рис.3а) для выходной переменной в виде скорости защищаемого объекта (кривая 1, рис.3а) и для выходной переменной в виде ускорения защищаемого объекта (кривая 1, рис.3б).

Переходные характеристики на рис.3а,б получены для следующих численных значений параметров: $m=400$ кг, $C=40$ кН/м, $\beta_0=2,8$ кПа·с·м, $\beta_u=0$ кПа·с·м, что соответствует типичным значениям параметров для СВ транспортных средств. Значение параметра $\beta_0=2,8$ кПа·с·м соответствует рекомендуемому значению демпфирования в СВ транспортных средств [3].

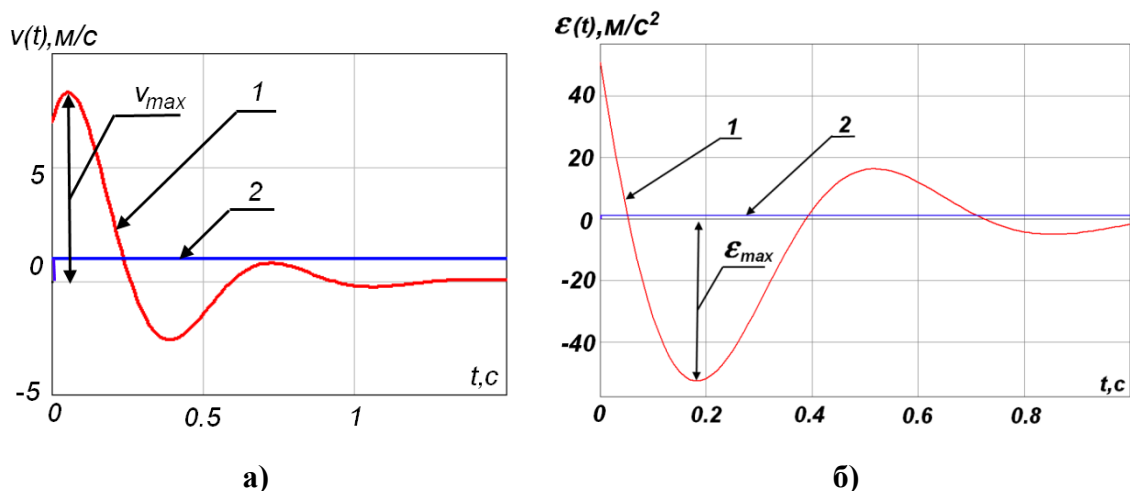


Рис.3 - Временные характеристики СВ.

Графики зависимости относительных максимальных значений скорости $V_{\max}^*$ и ускорения $\varepsilon_{\max}^*$ защищаемого объекта от параметра $\beta_u^* = \frac{\beta_u}{\beta_0}$ представлены на рис.4а и рис.4б, соответственно.

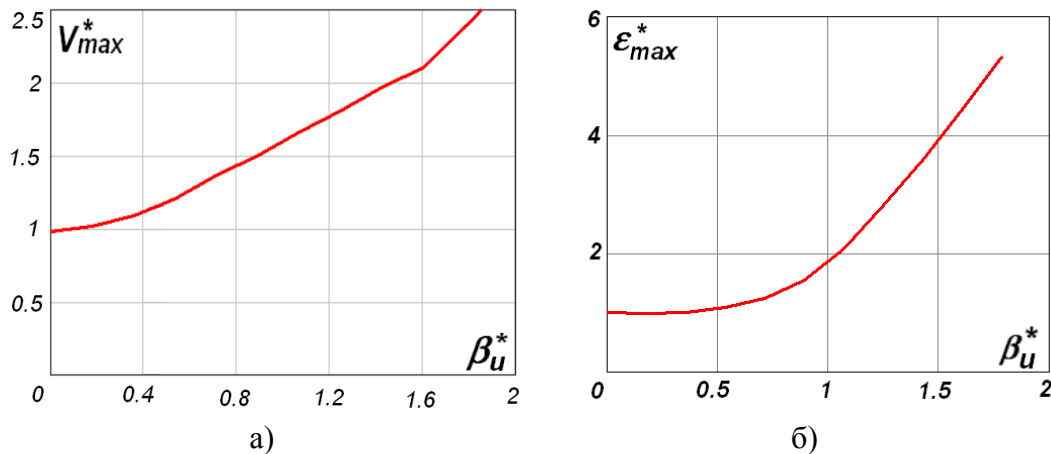


Рис. 4 - Графики зависимости максимальной виброскорости и виброускорения от относительного параметра β_u^* .

Значение $V_{\max}^* = \frac{V_{\max T}}{V_{\max 0}}$ (рис.4а) определяется как отношение максимальной скорости $V_{\max T}$ защищаемого объекта при текущем значении β_u^* к максимальной скорости $V_{\max 0}$ защищаемого объекта при значении $\beta_u^* = 0$. Значение $\varepsilon_{\max}^* = \frac{\varepsilon_{\max T}}{\varepsilon_{\max 0}}$ (рис.4б) определяется как отношение максимального ускорения $\varepsilon_{\max T}$ защищаемого объекта при текущем значении β_u^* к максимальному ускорению $\varepsilon_{\max 0}$ защищаемого объекта при значении $\beta_u^* = 0$.

Анализ графиков на рис.4а и рис.4б показывает, что с повышением β_u^* наблюдается увеличение значений $V_{\max}^*$ и $\varepsilon_{\max}^*$. Причем, значение $\varepsilon_{\max}^*$ вначале снижается, достигая минимума при $\beta_u^* = 0,22 \div 0,25$, а затем начинает расти по параболической зависимости.

Исследованы зависимости виброскорости и виброускорения от параметра β_u^* в режиме стационарных гармонических колебаний СВ.

На рис.5а и рис.5б представлены соответственно графики амплитудной частотной характеристики (АЧХ) системы виброзащиты для скорости и ускорения защищаемого объекта: $A_1(\omega)$ и $A_2(\omega)$. Они получены для трех значений параметра β_u^* : кривая 1 соответствует значению $\beta_u^* = 0$; кривая 2 - $\beta_u^* = 0,5$; кривая 3 - $\beta_u^* = 1,1$.

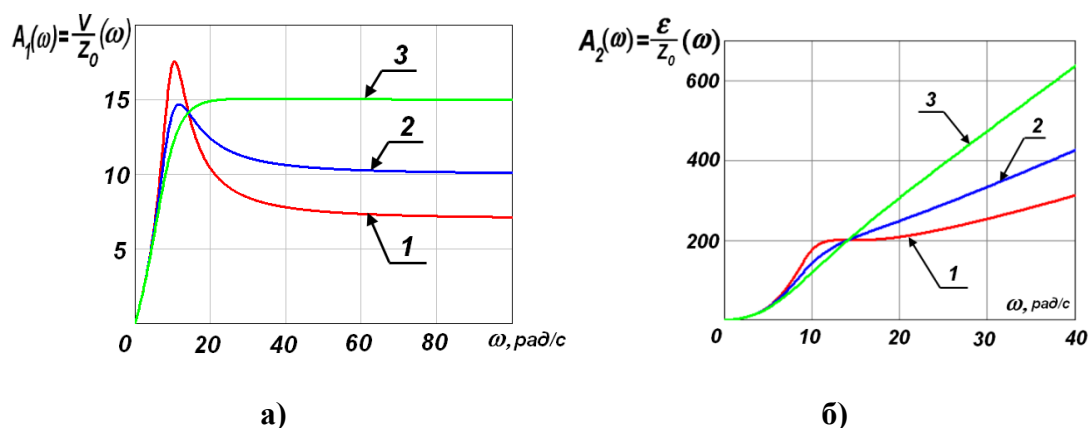


Рис.5 - АЧХ для скорости и ускорения защищаемого объекта.

АЧХ виброскорости, как следует из рис.5а, при $\beta_u^* < 0,5 \div 0,7$ имеют экстремум, соответствующий собственной частоте колебаний системы, величина которого снижается при увеличении β_u^* . Наибольшее значение виброскорости при $\beta_u^* > 0,5 \div 0,7$ имеет место на резонансных частотах.

Наибольшее значение ускорения защищаемого объекта (рис.5б) при различных значениях параметра β_u^* определяется по ускорению на резонансных частотах. Повышение β_u^* позволяет снизить виброускорения защищаемого объекта на резонансной частоте, но при этом значения виброускорений на резонансных частотах увеличиваются.

Дополнительно, на рис.6а представлен график зависимости относительного максимального значения АЧХ виброскорости защищаемого объекта от параметра β_u^* :

$$A_{1m}^*(\omega) = \frac{A_{1mT}(\omega)}{A_{1m0}(\omega_c)},$$

где $A_{1mT}(\omega)$ - максимальное значение АЧХ виброскорости защищаемого объекта во всем частотном диапазоне, соответствующее текущему значению β_u^* ;

$A_{1m0}(\omega_c)$ - значения АЧХ виброскорости защищаемого объекта при собственной частоте (ω_c) колебаний системы и $\beta_u^* = 0$.

На рис.6б показан график зависимости относительного максимального значения АЧХ виброускорения защищаемого объекта от параметра β_u^* :

$$A_{2m}^*(\omega) = \frac{A_{2mT}(\omega)}{A_{2m0}(\omega_c)},$$

где $A_{2mT}(\omega)$ - максимальное значение АЧХ виброускорения защищаемого объекта во всем частотном диапазоне, соответствующее текущему значению β_u^* ;

$A_{2m0}(\omega)$ - значения АЧХ виброускорения защищаемого объекта при собственной частоте (ω_c) колебаний системы и $\beta_u^* = 0$.

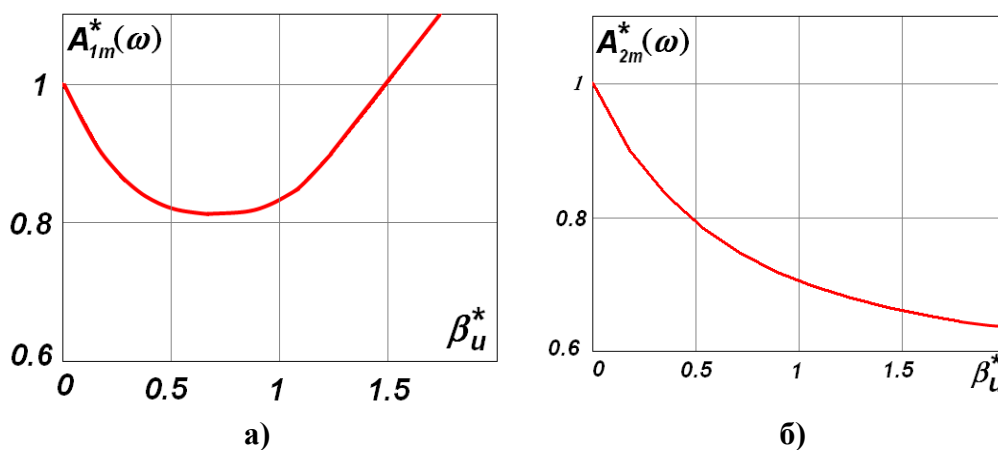


Рис.6 - График зависимости АЧХ от параметра β_u^* .

Как следует из графика на рис.6а, $A_{1m}^*(\omega)$ имеет минимум при $\beta_u^* = 0,7 \div 0,75$. При таком значении β_u^* происходит снижение $A_{2m}^*(\omega)$ (рис.6б) с 1 до 0,75. Таким образом, с учетом зависимостей на рис.4а и рис.4б, рекомендуется выбирать диапазон значений параметра β_u^* от 0 до 0,75.

Полученные зависимости могут быть использованы при перенастройке значений коэффициента вязкого трения СВ с учетом характеристик возмущающего воздействия.

Рассмотрим возможность улучшения показателей качества виброизоляции в активной системе виброзащиты (АСВ) с отрицательной обратной связью и исполнительным элементом в виде управляемого демпфера (УД).

При решении задачи синтеза регулятора в замкнутой системе автоматического управления виброзащитой, целесообразно использовать линейную модель АСВ. Для этого необходимо произвести линеаризацию вблизи рабочей точки функции зависимости силы сопротивления управляемого демпфера F_u от переменной β_u :

$$F_u = \beta_u \cdot \frac{1}{C_2} p \cdot Z_\delta,$$

$$\Delta F_u(p) = \left(\frac{\partial F_u}{\partial \delta} \right)_0 \Delta Z_\delta + \left(\frac{\partial F_u}{\partial \beta_u} \right)_0 \Delta \beta_u = k_{u0} p \cdot \Delta Z_\delta + k_\delta p \cdot \Delta \beta_u, \quad (4)$$

$$\text{где } Z_\delta = Z_1 - Z_2; k_{u0} = \frac{\beta_{u0}}{C_2}; k_\delta = \frac{Z_{\delta 0}}{C_2}.$$

С учетом ПФ (2) и выражения (4) получена структурная схема АСВ с УД, представленная на рис.7.

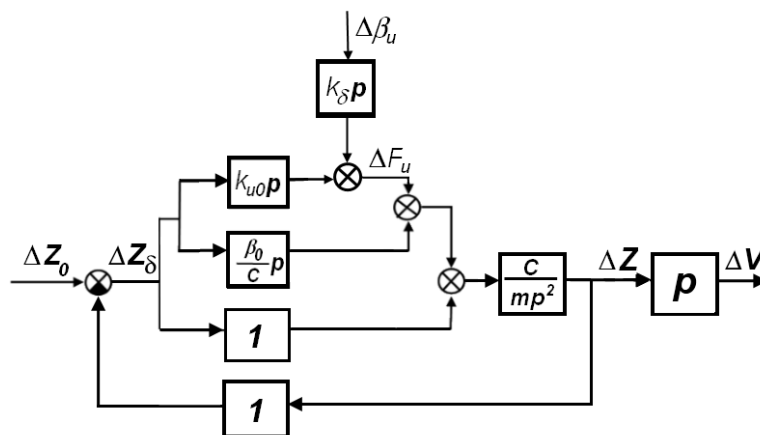


Рис.7 - Структурная схема АСВ с УД, с учетом ПФ (2) и выражения (4).

С учетом структурной схемы на рис.7, получена передаточная функция АСВ по управлению

$$W_y(p) = \frac{\Delta V(p)}{\Delta \beta_u(p)} = \frac{k_\delta p^2}{\left[\frac{m}{C} p^2 + \frac{k_{u0} + \beta_0}{C} p + 1 \right]} = \frac{k_\delta p^2}{\left[T_1^2 p^2 + 2\xi_2 T_1 p + 1 \right]}. \quad (5)$$

Рассмотрим АСВ с отрицательной обратной связью по виброскорости защищаемого объекта.

Структурная схема замкнутой системы автоматического управления виброзащитой представлена на рис.8.

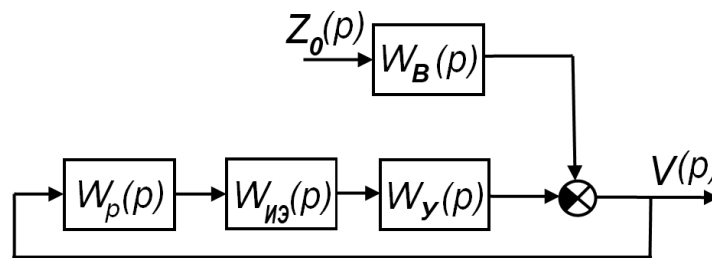


Рис.8 - Структурная схема АСВ:

$W_B(p)$ - передаточная функция (2) объекта по возмущению; $W_y(p)$ - передаточная функция (5) объекта по управлению; $W_p(p)$ -передаточная функция регулятора; $W_{из}(p)$ -передаточная функция исполнительного элемента; $Z_0(p)$ – возмущающее воздействие.

На рис.8 представлен исполнительный элемент в виде электромеханического управляемого демпфера, например, магнитореологического. Для этого типа демпферов входным сигналом является регулирующее напряжение U_p на выходе регулятора, а выходным – дополнительное вязкое сопротивление $\beta_{и}$ демпфера. Зависимость $\beta_{и}$ от U_p в первом приближении принята линейной, а динамические характеристики исполнительного элемента описаны ПФ пропорционального звена

$$W_{из}(p) = \frac{\beta_u(p)}{U_p(p)} = k_{из}, \quad (6)$$

где $k_{из}$ – коэффициент передачи исполнительного элемента.

ПФ АСВ с УД относительно возмущающего воздействия в соответствии со структурной схемой, представленной на рис.8 получена в виде

$$W(p) = \frac{V(p)}{Z_0(p)} = W_B(p) \cdot W_{зам}(p), \quad (7)$$

где ПФ замкнутого контура

$$W_{зам}(p) = \frac{1}{1 + W_y(p) \cdot W_{из}(p) \cdot W_p(p)}.$$

Определим структуру регулятора и его параметры, при которых виброскорости объекта виброзащиты удовлетворяют заданным показателям качества АСВ: снижение виброскоростей в заданном частотном диапазоне.

Рассмотрим методику синтеза корректирующего устройства (регулятора) АСВ с УД с использованием логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ).

На рис.9 представлены асимптотическая логарифмическая амплитудная частотная характеристика (ЛАХ) $L_B(\omega)$ соответствующая ПФ по выражению (3), а также желаемая ЛАХ $L_{жел}(\omega)$ АСВ с УД и желаемая ЛАХ $L_{жел}^{зам}(\omega)$ замкнутого контура.

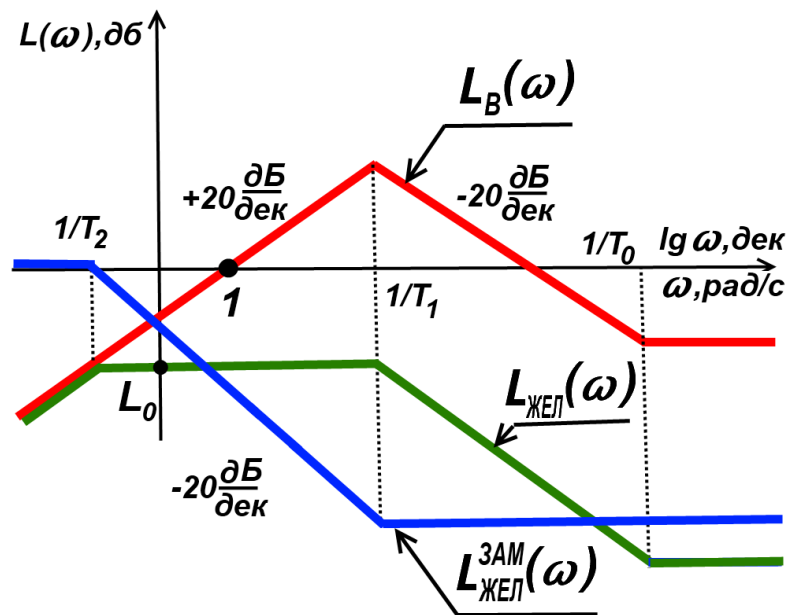


Рис.9 - Частотные характеристики.

Вид желаемой ЛАХ АСВ с УД $L_{ЖЕЛ}(\omega)$ сформирован с учетом необходимости снижения до некоторого требуемого значения A_0 или в логарифмическом масштабе до $L_0 = 20 \lg A_0$, виброскоростей во всем частотном диапазоне.

С учетом требований по снижению амплитуды виброскоростей среднечастотный ($1/T_2 \leq \omega \leq 1/T_1$) участок желаемой ЛАХ АСВ с УД $L_{ЖЕЛ}(\omega)$ проведен параллельно оси частот на расстоянии L_0 от нее (рис.9). Низкочастотный участок ($\omega \leq 1/T_2$) желаемой ЛАХ АСВ с УД $L_{ЖЕЛ}(\omega)$ принят совпадающим с $L_B(\omega)$. Высокочастотные ($\omega \geq 1/T_1$) участки $L_{ЖЕЛ}(\omega)$ проведены параллельно высокочастотному участку $L_B(\omega)$, что, как показано ниже, упрощает структуру регулятора.

С учетом выражения (7) желаемая ЛАХ $L_{ЖЕЛ}^{ЗАМ}(\omega)$ замкнутого контура

$$L_{ЖЕЛ}^{ЗАМ}(\omega) = L_{ЖЕЛ}(\omega) - L_B(\omega).$$

ПФ замкнутого контура с учетом вида $L_{ЖЕЛ}^{ЗАМ}(\omega)$ (рис.9) должна иметь вид

$$W_{ЗАМ}^{ЖЕЛ}(p) = \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1} = \frac{D(p)}{C(p)}. \quad (8)$$

Определим структуру регулятора, обеспечивающего желаемую ПФ (8) замкнутого контура.

Запишем выражение для ПФ замкнутого контура в разомкнутом состоянии в виде

$$W_{РАЗ}(p) = \frac{A(p)}{B(p)}.$$

При этом ПФ замкнутого контура описывается выражением

$$W_{ЗАМ}(p) = \frac{1}{1 + \frac{A(p)}{B(p)}} = \frac{B(p)}{B(p) + A(p)}. \quad (9)$$

Чтобы обеспечить совпадение динамических характеристик АСВ с желаемыми, ПФ (8) должна совпадать с ПФ (9), то есть

$$\begin{aligned} B(p) &= D(p); \\ B(p) + A(p) &= C(p); \end{aligned}$$

Откуда

$$A(p) = C(p) - B(p) = C(p) - D(p). \quad (10)$$

ПФ замкнутого контура в разомкнутом состоянии (рис.8) имеет вид

$$W_{PA3}(p) = W_{PEГ}(p) \cdot W_{ИЭ}(p) \cdot W_Y(p).$$

Откуда требуемая ПФ регулятора с учетом ПФ (9) и выражения (10)

$$W_{PEГ}(p) = \frac{W_{PA3}(p)}{W_{ИЭ}(p) \cdot W_Y(p)} = \frac{C(p) - D(p)}{D(p) \cdot W_Y(p)}. \quad (11)$$

Подставляя ПФ (5),(7),(8) в ПФ (11), получим после преобразований ПФ регулятора, обеспечивающего желаемую ЛАХ $L_{ЖЕЛ}(\omega)$ АСВ с УД

$$W_{PEГ}(p) = \frac{W_{PA3}(p)}{W_{ИЭ}(p) \cdot W_Y(p)} = \frac{a_2 p + a_1 + \frac{a_0}{p}}{(T_1 p + 1)}, \quad (12)$$

$$\text{где } a_2 = \frac{T_1^2(T_2 - T_1)}{k_{ИЭ}k_\delta}; \quad a_1 = \frac{(T_2 - T_1)\left(\frac{k_{uo} + \beta_u}{C}\right)}{k_{ИЭ}k_\delta}; \quad a_0 = \frac{T_2 - T_1}{k_{ИЭ}k_\delta}.$$

На рис.10 представлена структурная схема замкнутой АСВ с УД, с синтезированным регулятором (12).

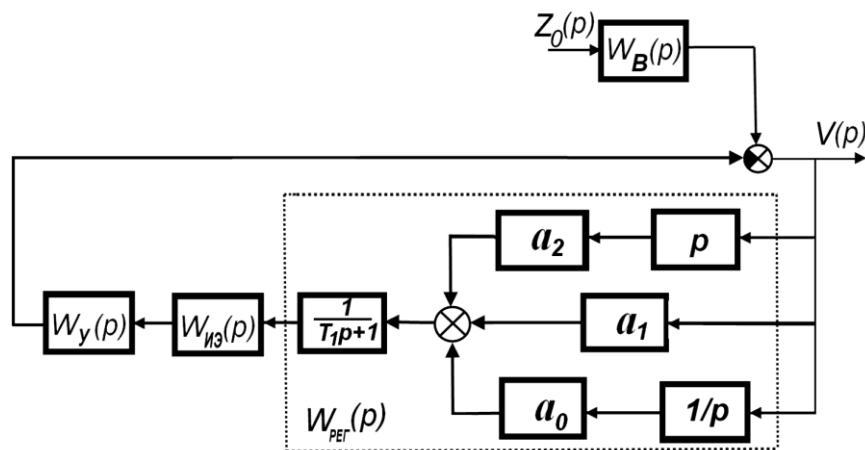


Рис.10 - Структурная схема с учетом ПФ регулятора (12).

Таким образом, структура регулятора предполагает использовать сигналы по перемещению, виброскорости и виброускорению защищаемого объекта.

В результате численного моделирования 1 получены ЛАХ (рис.11) для разомкнутой АСВ с УД (кривая 1) и замкнутой (скорректированной) АСВ с УД (кривая 2). Указанные характеристики получены для следующих численных значений параметров: $m=400$ кг, $C=40$ кН/м, $\beta_u^* = 0,75$.

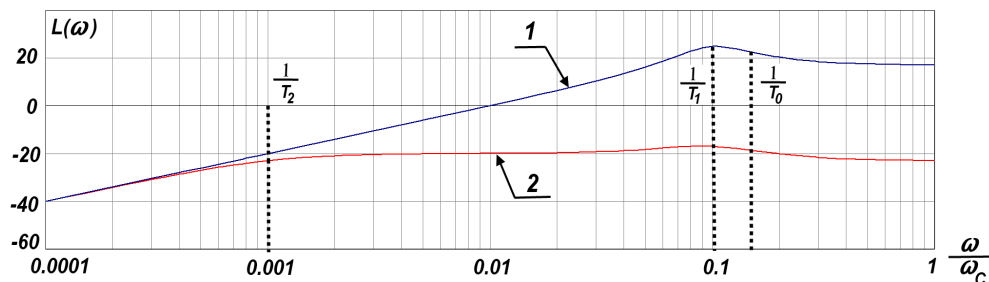


Рис.11 - Логарифмические амплитудные частотные характеристики:
1 – замкнутая АСВ с УД в разомкнутом состоянии;
2 – АСВ с УД в замкнутом состоянии.

На рис.12 представлены переходные характеристики замкнутой АСВ с УД в разомкнутом состоянии (кривая 1) и АСВ с УД в замкнутом состоянии (кривая 2) для выходной переменной в виде виброскорости защищаемого объекта.

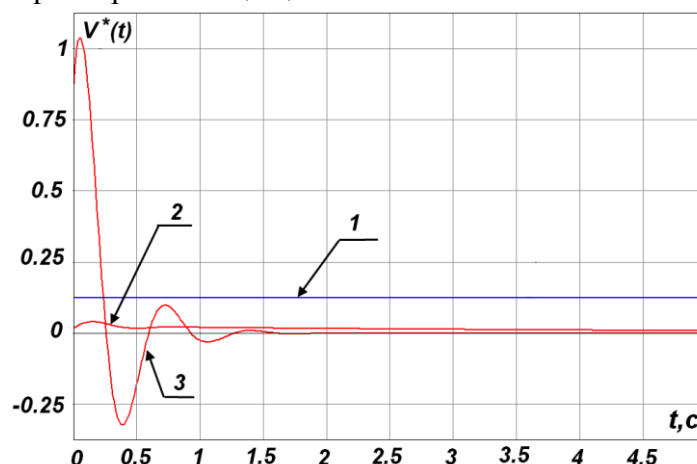


Рис.12 - Переходные характеристики АСВ с УД:
1 – входное ступенчатое воздействие; 2 – АСВ с УД в замкнутом состоянии;
3 – АСВ с УД в разомкнутом состоянии.

Как следует из рис.12 введение последовательного корректирующего устройства с ПФ (12) позволило снизить значение максимальной виброскорости защищаемого объекта.

Показатель качества переходного процесса в АСВ с УД по возмущению $V^*(t) = \frac{V_{\max}^{зам}(t)}{V_{\max}^{раз}(t)}$,

определяемый как отношение максимального значения виброскорости $V_{\max}^{зам}(t)$ защищаемого объекта в разомкнутой АСВ с УД к максимальному значению виброскорости $V_{\max}^{раз}(t)$ в разомкнутой АСВ с УД, равен 0,0144, что доказывает эффективность синтезированного регулятора.

Список литературы

1. Гордеев, Б.А. Системы виброзащиты с использованием инерционности и диссипации реологических сред / Гордеев Б.А., Ерофеев В.И., Синёв А.В., Мугин О.О. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 176 с.-ISBN 5-9221-0561-2.
2. Гусаров, В.И. О.П. Виброзащитные механизмы переменного демпфирования систем железнодорожного транспорта / Гусаров В.И., Ковтунов А.В., Мулюкин О.П., под ред. О.П. Мулюкина. Самара: СамГАПС, 2004. - 178 с.
3. Ротенберг, Р.В. Подвеска автомобиля. Изд-е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1972.- 392 с.
4. Чегодаев, Д.Е. Управляемая виброизоляция: (Конструктивные варианты и эффективность) / Чегодаев Д. Е., Шатилов Ю. В. Самара: Самар. аэрокосм. ун-т, 1995. - 144с.: ил.

05.13.18

А.А. Свиридов

Тульский государственный университет,
механико-математический факультет,
кафедра прикладной математики и информатики,
Тула, Sviridov86@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУМЕРНОГО ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ КОМПРЕССИИ АУДИО

В работе предлагается подход к компрессии аудио, заключающийся в применении двумерного дискретного вейвлет-преобразования к двумерному представлению исходного аудио сигнала. Сначала описывается способ такого представления, приводятся некоторые его свойства, затем рассматривается обработка данных. Проводится анализ работы экспериментального кодека, написанного в математическом пакете MATLAB.

Ключевые слова: аудио, компрессия, двумерное дискретное вейвлет-преобразование, кодек.

Данная работа является продолжением исследований о возможности сжатия аудио сигналов двумерными методами, первые результаты которых опубликованы в [1], где рассматривается способ представления фреймов аудио в виде матриц, которые предлагается сжимать с помощью разложения по сингулярным числам матрицы.

В [1] даётся описание общих принципов работы большинства наиболее известных и эффективных современных кодеков потокового аудио (таких как MP3, Ogg Vorbis, WMA, AAC Plus). Ключевым моментом здесь является то, что аудио сигнал обрабатывается как одномерный вектор.

Двумерное дискретное вейвлет-преобразование (2D DWT, two-dimensional discrete wavelet transform, [2]) уже использовалось при компрессии аудио, метод описан в [3], где предлагается работать с двумерной моделью сигнала, основанной на PS-представлении (PSSR, pitch-synchronous signal representation), детальное описание которого даётся в [4]. Рассмотрим основные идеи этого подхода.

В PSSR используется тот факт, что некоторые аудио сигналы псевдо периодичны во временной области по своей природе. Под псевдо периодичностью понимается то, что на некоторых временных интервалах можно выделить период, для которого форма волны сигнала на всех соответствующих этому периоду участках будет не одинаковой в точности, но очень близкой для всех участков. Примерами таких сигналов могут служить эхокардиограммы (ЭКГ) и речь.

Пусть $x(t)$ – входной аналоговый аудио сигнал, $P(k)$ – длина k -ого промежутка, на котором сигнал практически периодичен. Тогда двумерное представление сигнала записывается следующим образом [4]

$$\begin{aligned} v &= (v_0(k), v_1(k), \dots, v_{P(k)-1}(k))^T, \\ v_q(k) &= x \left(q + \sum_{i=0}^{k-1} P(i) \right) = \sum_i x(i) \delta(i - q - M(k)), \\ q &= 0, 1, \dots, P(k) - 1, \\ M(k) &= \sum_{i=0}^{k-1} P(i), \delta(k) = \begin{cases} 1, & k = 0, \\ 0, & k \neq 0. \end{cases} \end{aligned}$$

Заметим, что величины $P(k)$ будут разными, поэтому вектора $v_q(k)$ дополняются нулями так, чтобы их длины были равны $\max_k P(k)$. Обратное преобразование задаётся следующей формулой [4]

$$x(k) = \sum_i \sum_{q=0}^{P(i)-1} v_q(i) \delta(k - q - M(i)).$$

В работе [4] строки матрицы v обрабатывается с помощью одномерного DWT, а в [3] 2D DWT применяется к самой матрице v . Метод, предлагаемый в [3], может использоваться для любого аудио сигнала, но, прежде всего, он рассчитан на сигналы с псевдо периодичной природой и наилучший результат будет получаться для них. В случае, если вообще не удастся выделить псевдо периодичных участков, матрица v вырождается в одномерный вектор, совпадающий с исходным вектором отсчётов сигнала.

В данной работе предлагается математическая модель представления звука, отличающаяся от всех моделей, используемых в рассмотренных выше статьях. Назовём её DWT2R (two-dimensional discrete wavelet transform representation).

Двумерное представление аудио будет таким же, как в [1], будем называть его R2 (two-dimensional representation). Из дискретных отсчётов $x_1, \dots, x_N$ аудио сигнала составляется матрица $X = (x_{ij})$, где $x_{ij} = x((i-1)n + j)$, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$. Обратное преобразование имеет вид

$$x_i = X \left(\left\lfloor \frac{i}{n} + 1 \right\rfloor, i - \left\lfloor \frac{i}{n} \right\rfloor \cdot n \right), \text{ где } \lfloor i \rfloor = \max_{\substack{n \in \mathbb{Z}, \\ n \leq i}} n.$$

В проведённых исследованиях использовалось равномерное разбиение временного интервала, но, вообще говоря, оно может быть произвольным.

В качестве преимуществ такого подхода перед PSSR можно выделить следующее:

- всегда получается двумерное представление (если только специально не сделать его одномерным), размеры матрицы представления могут выбираться свободно;
- простые формулы преобразования, заметим, что сам по себе расчёт последовательности $\{P(k)\}$ является достаточно сложной задачей, ссылки на работы по этой теме приводятся в [4].

Отметим, что в R2 изображения псевдо периодичных сигналов имеют определённую достаточно простую структуру (вопрос визуализации аудио с помощью изображений рассматривается в [1]). В качестве иллюстрации на рис. 1 предлагается несколько вариантов визуализации периодичного сигнала $x(t) = \sin(t)$, $t \in [0, 10\pi]$.

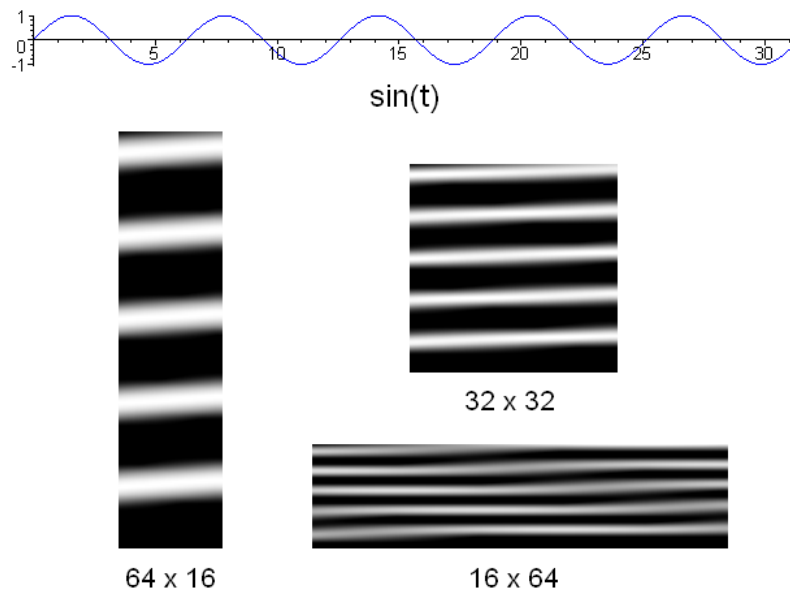


Рис. 1 - Примеры R2 разной размерности для периодического сигнала $x(t) = \sin(t)$ при $t \in [0, 10\pi]$

Построенное R2 может быть проанализировано с помощью двумерного кратномасштабного анализа, определяемого формулами [5, с. 568]

$$a_{s,k} = \frac{1}{\sqrt{nm}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \varphi_{s,k}(i,j),$$

$$d_{s,k}^{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{nm}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \psi_{s,k}^{\lambda}(i,j), \quad \lambda = h, v, d, \quad (1)$$

где $a_{s,k}$ – коэффициенты аппроксимации матрицы X при масштабирующих функциях $\varphi_{s,k}$, $d_{s,k}^h$, $d_{s,k}^v$ и $d_{s,k}^d$ – коэффициенты в разложении по семейству двумерных вейвлет-функций $\psi_{s,k}^h$, $\psi_{s,k}^v$ и $\psi_{s,k}^d$, описывающие горизонтальные, вертикальные и диагональные детали соответственно, $k = (k_1, k_2)$ – двумерный вектор, определяющий по координатные смещения аргументов функций. Обратное преобразование определяется как

$$x_{ij} = \frac{1}{\sqrt{nm}} \sum_{k_1 k_2} a_{s_0, k} \varphi_{s_0, k}(i,j) + \frac{1}{\sqrt{nm}} \sum_{\lambda=h,v,d} \sum_{s \geq s_0} \sum_{k_1 k_2} d_{s,k}^{\lambda} \psi_{s,k}^{\lambda}(i,j), \quad (2)$$

где s_0 – любой фиксированный масштаб. Подробно кратномасштабный анализ обсуждается в [2] и [5]. Пример применения преобразования (1) показан на рис. 2.

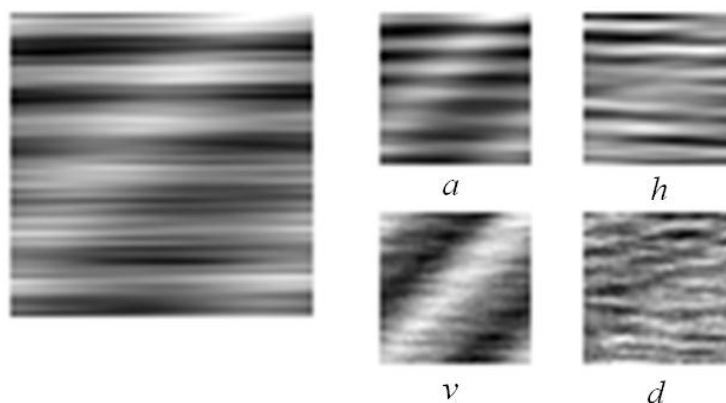


Рис. 2 - Пример разложения фрейма аудио сигнала размера 64×64 с помощью кратномасштабного анализа

Для тестирования модели работы с аудио, определяемой как использование (1) и (2) в R2, был написан кодек в математическом пакете MATLAB. В ходе проведения численных экспериментов было обнаружено, что наиболее значимыми коэффициентами являются коэффициенты аппроксимации и горизонтальных деталей. Такие выводы можно сделать на основе анализа данных Таблицы, где приведены отношения сигнал/шум (SNR, signal to noise ratio) при сохранении различных наборов коэффициентов (нижний индекс определяет, какие детали оставались, например, SNR_{ah} означает, что были оставлены только коэффициенты аппроксимации и горизонтальных деталей).

В работе предложена модель представления аудио, которая может быть использована при сжатии или анализе этого типа сигналов. Выявлены наиболее значимые коэффициенты модели. На основе проведенного исследования можно сделать вывод, что 2D DWT может применяться, прежде всего, в задачах максимально сильного сжатия при сохранении заранее заданного качества. Дело в том, что для обеспечения хорошей компрессии, вероятнее всего, придется обнулять коэффициенты вертикальных и диагональных деталей, при этом ещё остаётся запас для дальнейшего сжатия ($SNR \approx 18$), но потери в качестве уже станут заметны. Особый интерес представляет случай обработки фреймов большого размера порядка 256×256 , что соответствует примерно 14.72 секундам звучания, поскольку в этом случае есть “запас” для более сильного сжатия посредством выполнения кратномасштабного анализа изображения, представляющего собой аппроксимацию исходного (изображение a на рис. 2).

**Таблица - Изменение отношения сигнал/шум
при обнулении коэффициентов различных деталей**

№	Композиция	SNR _{ahvd}	SNR _{ah}	SNR _{avd}	SNR _{hvd}
1	James Last - The Lonely Sheeperd	74.8934	22.9279	1.3960	5.6896
2	Wolfgang Amadeus Mozart - Symphony of the Heart	74.3131	26.5169	1.0063	6.8910
3	Louis Armstrong - What a wonderful world	74.8426	17.2682	2.9379	3.2529
4	B.B. King - Summer in the City	82.0780	21.4470	4.3949	2.0112
5	Roxette - What's She Like	73.0522	19.6621	4.7032	1.8669
6	Evans Blue - This Time It's Different	80.1304	20.0443	4.7158	1.8543
7	Immortal - One By One	83.2491	16.4654	6.9286	1.1092
8	Speech (Audio Book) - Robinson Crusoe	81.8358	14.7721	3.7847	2.6095
9	Звуки природы - Шум дождя	67.7648	15.6695	3.8455	2.5154

В дальнейшем также можно исследовать вопрос об улучшении качества и повышении степени сжатия, основываясь на адаптивном подходе к обнулению коэффициентов кратномасштабного анализа, применении вейвлетов с параметрами сжатия больше двух, использовании более высоких размерностей представления аудио (3D, 4D и т.д.) для анализа с помощью кратномасштабного представления соответствующей размерности.

Список литературы

1. Свиридов А.А. Использование сингулярного разложения для компрессии потокового аудио // Известия ТулГУ. Технические науки. Выпуск 3. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – С. 175-183.
2. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. – 464 с.
3. Dominic Mathew, Devassia V.P., Tessamma Thomas. Compression of Pseudo-periodic Signals Using 2D Wavelet Transform // American Journal of Signal Processing, 1(2), 2011. – P. 46-50.
4. Gianpaolo Evangelista. Pitch-Synchronous Wavelet Representations of Speech and Music Signals // IEEE Transactions On Signal Processing, Vol. 41, No. 12, December 1993. – P. 3313-3330.
5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

05.13.15

И.А. Стотланд

Московский государственный технический университет радиотехники,
электроники и автоматики (МГТУ МИРЭА),
факультет информационных технологий,
кафедра вычислительной техники,
г. Москва, irastot@gmail.com

МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЕРИФИКАЦИИ МОДУЛЕЙ СИСТЕМНОГО ОБМЕНА МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В статье введено понятие модулей системного обмена (МСО) микропроцессорных вычислительных комплексов. Предложена формальная модель МСО, на основе которой разработан метод динамической верификации МСО с применением функциональных эталонных моделей уровня транзакций. Обоснована архитектура тестовой системы и ее основные компоненты.

Ключевые слова: микропроцессор, динамическая верификация, модуль системного обмена, TLM, эталонная модель.

Введение

Современное развитие микропроцессорных вычислительных систем идет как по пути усложнения процессорного ядра и увеличения его производительности, так и по пути увеличения количества процессорных ядер на кристалле и количества микропроцессоров. Задача расширения применения таких систем для решения все более широкого спектра сложных задач затруднительна из-за ограниченности надежных характеристик разрабатываемых систем. Поэтому столь остро стоит вопрос проверки правильности микропроцессорных систем, начиная с самых ранних стадий маршрута проектирования. Усилия, затрачиваемые на обеспечение уверенности в корректности системы, поглощают все возрастающую долю стоимости и времени цикла проектирования. Как отмечает Дж. Бергерон в [1], на проверку функциональной корректности СБИС требуется около 70% трудозатрат. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 9000-2001 «*верификация* — это подтверждение на основе предъявления объективных свидетельств того, что установленные требования были выполнены» [2]. На каждом этапе проектирования применяются специализированные средства верификации, призванные не пропустить неисправности на последующие стадии разработки [3].

Одной из важнейших задач при интеграции процессорных ядер и процессоров в многопроцессорные системы является поддержание взаимодействия функциональных модулей системы, заключающееся в обеспечении согласованности и достоверности передаваемых данных. В данной статье модули, входящие в состав многопроцессорных систем и выполняющие перечисленные выше функции, выделены в отдельных класс, называемый модулями системного обмена.

В настоящее время не существует единой универсальной методологии автономной верификации, учитывающей специфику верифицируемых RTL-моделей (Register Transfer Level). В данной статье предложен метод динамической автономной верификации модулей системного обмена, учитывающий архитектурные и функциональные особенности этого класса функциональных модулей.

Анализ подходов к верификации микропроцессорных систем

Чтобы убедиться, что система удовлетворяет всем функциональным требованиям, сформулированным в спецификациях, применяется *функциональная верификация*. Варианты функциональной верификации микропроцессорных систем можно разделить на два основных класса: *динамическую верификацию*, основанную на имитационном тестировании (simulation-based verification) и *формальную верификацию* (formal verification). Объектом динамической верификации является RTL-модель разрабатываемой системы. Объектом формальной верификации является формальная статическая модель, построенная на основе формализации спецификаций.

В [4] под *формальной верификацией* понимаются приемы и методы формального доказательства (или опровержения) того, что модель системы удовлетворяет заданной формальной спецификации. Формальные методы основаны на исследовании модели аппаратуры в статическом состоянии. Центральной проблемой формальной верификации является возможный «комбинаторный взрыв» в пространстве состояний (state explosion problem) при увеличении сложности верифицируемых моделей. Это существенно ограничивает применение формальных методов для верификации промышленных разработок.

Динамическая верификация осуществляется посредством наблюдения за процессом изменения состояний системы во времени. При верификации сложных промышленных RTL-моделей зачастую применяется динамическая верификация на основе *тестовых систем*. Тестовая система имитирует окружение, в котором будет в дальнейшем функционировать верифицируемое устройство. В общем случае тестовая система решает три основные задачи: генерацию входных воздействий, проверку правильности выходных реакций и оценку полноты тестирования. С учетом основных выполняемых задач детализируют тестовую систему на компоненты: *генератор входных воздействий* (stimulus generator), *устройство проверки* (checker), *анализатор* (scoreboard). Такую структуру предлагают в своих работах ряд зарубежных и отечественных специалистов в области верификации: Дж. Бергерон [1], В. Лам [5], А.С. Камкин и М.С. Чупилко [6], группа специалистов компании IBM в монографии [7].

Ключевым вопросом при разработке тестовых систем для автономной динамической верификации RTL-моделей является способ проверки правильности результатов симуляции. Ричард Хо в своей диссертации [8] выделяет два основных способа: самопроверяющие тесты (self-checking) и сравнение с эталонной моделью (co-simulation). В самопроверяющей или *детерминированной* тестовой системе устройство проверки осуществляет не только анализ выходных сигналов, но и описывает правильную функциональность верифицируемого устройства. Детерминированные тестовые системы требуют больших усилий на разработку и поддержку тестов. В связи с этим преимущество имеет применение тестовых систем на основе эталонных *программных моделей*. Этот подход лишен недостатков, связанных и использованием детерминированных тестовых систем, так как в данном случае отдельно от самой тестовой системы разрабатывается программная модель верифицируемого устройства.

Существует целый ряд подходов к построению тестовых систем, таких как расширенная методология верификации (*Advanced Verification Methodology, AVM*), открытая методология верификации (*Open Verification Methodology, OVM*), универсальная методология верификации (*Universal Verification Methodology, UVM*). Каждая из этих методологий предлагает некоторый набор библиотечных средств построения тестовых систем и документацию по их применению. Однако все методологии предусматривают проверку корректности тестируемой системы с помощью утверждений, поэтому они не касаются вопроса построения эталонных моделей и организации их взаимодействия с тестовой системы.

На основе проведенного исследования существующих подходов к функциональной верификации микропроцессоров можно сделать вывод об актуальности разработки новых методов автономной динамической верификации на основе тестовых систем с применением

эталонных моделей. Кроме того, среди существующих подходов к автономной функциональной верификации, учитывающих специфику верифицируемых блоков, можно выделить лишь метод, предложенный в [6], для модулей с конвейерной архитектурой. Однако модули, организующие взаимодействие в многопроцессорных системах, как правило, имеют неконвейеризованную архитектуру. Другие существующие методики, представленные в [1, 5, 7, 8], являются универсальными.

Модули системного обмена

Модули системного обмена (МСО) – системы, обеспечивающие взаимодействие между операционными модулями микропроцессора, процессорным ядром и памятью, микропроцессором и внешними абонентами микропроцессорной системы, а также организующие межпроцессорный обмен внутри многопроцессорных и многокластерных вычислительных систем. Выделим основные особенности МСО с точки зрения их функциональной верификации:

- непрерывное бесконечное функционирование;
- параметром функции преобразования является только формат представления данных, сами данные остаются неизменными;
- МСО осуществляют трансляцию и коммутацию данных;
- целостность транзакций;
- маркированность данных;
- параллельная обработка нескольких операций;
- отсутствие конвейера и, как правило, четких временных характеристик обработки транзакций (в тактах).

При проектировании МСО в спецификации определяется ряд функций, которые должен выполнять модуль. Такие функции можно разделить на *базовые*, заключающиеся в организации взаимодействия окружения МСО (обмен данными и управляющей информацией) и *дополнительные*, заключающиеся в поддержке адекватного функционирования МСО (настройка конфигурации, системный сброс). Логически завершённую последовательность действий, реализующую базовую функцию МСО, будем называть *операцией МСО*.

Определение 1. Автоматной моделью базовой операции МСО называется расширенный конечный автомат $AP = \langle S, Trans, V, T, F, G_p \rangle$, где

S — конечное множество состояний автомата;

$Trans$ — множество транзакций операции AP ;

V — множество контекстных переменных, состоящих из подмножества входных параметров иницирующих транзакций V_{init} , подмножества параметров реагирующих транзакций V_r и подмножества внутренних контекстных переменных операции $V_{internal}$;

T — множество переходов автомата;

G_p — множество глобальных охранных предикатов, определенных над доменом транзакций операции AP и множеством внутренних контекстных переменных;

$F \subseteq S$ — множество финальных состояний.

Одной из отличительных особенностей МСО является возможность параллельного выполнения нескольких операций. Множество всех операций МСО будем называть *доменом операций* $D(MCO)$. Таким образом, можно определить автоматную модель МСО как параллельную композицию базовых операций МСО, входящих в $D(MCO)$.

Выделим формальные критерии, по которым функциональный блок микропроцессорного вычислительного комплекса можно отнести к классу МСО.

Критерий 1 (*целостности транзакций*). Пусть дано множество транзакций $t_i = \langle S_i, Z_i, V_i \rangle$ базовой операции P МСО, где $i = \overline{1, N}$ — идентификатор транзакции, Z_i — множество интерфейсных сигналов транзакции, таких что $\forall i = 1, 2, \dots$ и $\forall j = 1, 2, \dots$ $Z_i = Z_j$. Транзакция t_i допустима в конфигурации $\langle s, v \rangle P$, тогда и только тогда, когда $\forall j \neq i$ $s(t_j) \neq s'_{execj}$, где $s'_{execj} \in \{s_{execj}\}$, где s_{exec} — состояния графа переходов транзакции.

Критерий 2 (*маркированности операции*). Операция является маркированной, если множество входных воздействий однозначно отображается во множество реакций.

Критерий 3 (*переменной длительности операции*). Пусть t_p — время выполнения базовой операции в тактах системной частоты, t_{nm} — время в тактах системной частоты между началом выполнения двух транзакций базовой операции, где $n, m = \overline{1, N}$ — идентификаторы транзакций. Базовая операция является операцией переменной длительности, если $t_p \neq const$ и $\forall n, m$ $t_{nm} \neq const$.

Таким образом, функциональный блок микропроцессорной системы, удовлетворяющий критериям 1-3, можно отнести к модулям системного обмена.

Метод динамической верификации модулей системного обмена

Одними из основных свойств МСО является их неконвейеризированная архитектура и отсутствие жестких временных ограничений на обработку транзакции. Благодаря этому, при верификации таких модулей возможен переход с потактового регистрового уровня на уровень транзакций (TLM) с использованием функциональных эталонных моделей. Однако в таком случае встает вопрос преобразования входов и выходов тестовой системой, заключающийся в реализации взаимодействующих автоматов входных и выходных транзакций. Один из подходов к организации взаимодействия тестовой системы и эталонной модели при переходе на уровень транзакций основан на преобразовании входных воздействий в битовый формат (сериализацию) и выходных реакций в формат транзакций (десериализацию).

Определение 2. *Сериализацией* называется отображение вида

$$T : S_{tlm} \times I_{trans} \rightarrow S_t \times I_{bit}, \quad (1)$$

где

T — отображение входных воздействий в битовый формат;

S_{tlm} — конечное множество состояний автомата обработки единичных воздействий на уровне TLM;

S_t — конечное множество состояний автомата обработки единичных воздействий на потактовом уровне;

I_{trans} — конечное множество входных воздействий в формате транзакций;

I_{bit} — конечное множество входных воздействий в битовом формате.

Определение 3. *Десериализацией* называется отображение вида

$$D : S_t \times O_{bit} \rightarrow S_{tlm} \times O_{tlm}, \quad (2)$$

где

D — отображение выходных воздействий в битовом формате в выходные транзакции TLM;

S_t — конечное множество состояний автомата обработки единичных воздействий на потактовом уровне;

S_{tlm} — конечное множество состояний автомата обработки единичных воздействий на уровне TLM;

O_{bit} — конечное множество реакций в битовой формате;

O_{trans} — конечное множество реакций в формате транзакций.

При построении тестовой системы с применением методологии OVM преобразование входных стимулов осуществляют драйверы тестовой системы, преобразование реакций — мониторы.

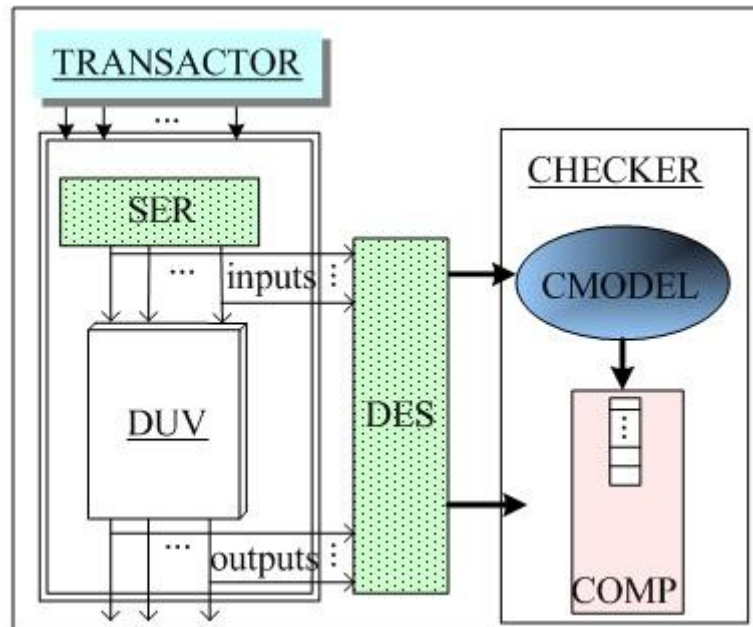


Рис. 1- Архитектура тестовой системы для верификации модулей системного обмена

На рис. 1 представлена разработанная архитектура тестовой системы для верификации модулей системного обмена. В отличие от классической схемы тестовой системы ([5], [6]) данная тестовая система основана на эталонной модели уровня TLM, что определяет наличие в ней преобразователей входных воздействий (SER) и реакций (DES) и дополнительного компаратора реакций (COMP) в устройстве сравнения (CHECKER). В компараторе реализуется функция поиска транзакции, полученной от MCO, в соответствующем буфере транзакций эталонной модели. Транзакции уровня TLM создаются генератором высокоуровневых транзакций (TRANSACTOR).

Опыт применения метода

Описанный метод динамической верификации был применен при автономной верификации хост-контроллера микропроцессора «Эльбрус-2S», разрабатываемого в ЗАО «МЦСТ». Хост-контроллер организует взаимодействие между процессором и контроллером периферийных устройств (IОНUB), конструктивно расположенном на отдельном кристалле. Хост-контроллер преобразует запросы от процессоров в запросы, понятные IОНUB, формирует соответствующие пакеты и передаёт их в каналы ввода-вывода. При поступлении пакетов запросов от IОНUB (DMA-запросы), хост-контроллер преобразует их в соответствующие запросы к системной памяти и отслеживает их выдачу и выполнение. Хост-контроллер удовлетворяет критериям 1-3, сформулированным в данной статье, поэтому является MCO. На основе методологии OVM были построены генератор высокоуровневых транзакций, преобразователи входных воздействий и реакций, устройство сравнения тестовой системы. Для верификации была использована функциональная эталонная модель уровня TLM. Эталонная модель принимает входные транзакции и немедленно выдает выходные реакции, которые буферизуются в устройстве сравнения тестовой системы. Выходные реакции верифицируемого устройства сначала преобразуются

в формат транзакций мониторами тестовой системы, после чего запускается функция поиска полученных транзакций в соответствующих буферах эталонной модели. При автономной верификации хост-контроллера был обнаружен ряд ошибок в RTL-модели и спецификациях, связанных с преобразованием форматов данных, обработкой очередей запросов, упорядоченностью данных. Всего было обнаружено 78 ошибок, из них 35 — в программной модели хост-контроллера, 24 — в RTL-модели и 19 — в спецификации.

Заключение

Описанный в статье подход к автономной верификации модулей системного обмена микропроцессорных вычислительных комплексов положен в основу комплексной методики автономной верификации, ключевой особенностью которой является учет функциональных и архитектурных характеристик верифицируемых модулей. В статье также приведена автоматная модель МСО, сформулированы свойства МСО. По сравнению с универсальными методами, основным преимуществом предложенного метода динамической верификации модулей системного обмена является существенное упрощение тестовой системы и эталонной модели путем перехода на уровень транзакций.

Опыт практического применения разработанного метода показал его эффективность. Дальнейшими направлениями представленного исследования будут формализация спецификаций, автоматизация построения тестовых систем и эталонных моделей.

Список литературы

1. *Bergeron J.* Writing testbenches: functional verification of HDL models. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003.
2. ГОСТ Р ИСО 9000-2001. Государственный стандарт Российской Федерации. Система менеджмента качества. Основные положения и словарь. ИПК Издательство стандартов, 2001. С.19.
3. *Деменкова Т.А., Певцов Е.Ф., Стотланд И.А.* Методика функциональной верификации цифровых устройств // Научно-технический журнал «Электронная техника». Серия 2. Полупроводниковые приборы. Выпуск 2(225). М.: «ФГУП НИИ «Пульсар», 2011. С.16-23.
4. *Карпов Ю.Г.* Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 560 с.
5. *Lam W.* Hardware design verification: simulation and formal method-based approaches. New Jersey: Prentice Hall, 2005.
6. *Chupilko M., Kamkin A.* Contract Specification of Hardware Designs at Different Abstraction Levels: Application to Functional Verification. Proceedings of SYRCoSE 2010: The 4th Spring Young Researchers Colloquium on Software Engineering, 2010. P. 125–129.
7. *Wile B, Goss J, Roesner W.* Comprehensive functional verification the complete industry cycle. Morgan Kaufmann Publishers, 2005.
8. *Ho R.* Validation tools for complex digital designs. PhD thesis, Stanford University, 1996.

05.17.01

В.А. Тихонов, С.В. Лановецкий к.т.н., В.З. Пойлов д.т.н., А.А. Кетов д.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, lsv98@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ТИТАНА МЕТАЛЛАМИ ВТОРОЙ ГРУППЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Проведены исследования получения высокодисперсных порошков титана по технологии кальциегидридо-термического и магниетермического восстановления оксида титана. Установлено влияние температуры, времени изотермической выдержки, соотношения компонентов и вида восстановителя на размер и качество синтезируемых частиц титановых порошков.

Ключевые слова: Оксид титана, высокодисперсные титановые порошки, металлотермическое восстановление.

Порошки металлического титана широко используются в производстве фильтров, газопоглотителей, для изготовления деталей часовых механизмов и кислотостойкого оборудования [1,2]. Широкое применение порошки титана нашли в пиротехнике, где выбор исходного вещества определяется, наряду с удельным количеством выделяющегося тепла химической стабильностью, токсичностью, совместимостью со связующими компонентами, стойкостью самого порошка и другими факторами [3,4]. Титан имеет высокую коррозионную стойкость, не токсичен и относительно дешёвый. При его сгорании выделяется довольно значительное количество тепла. Весьма эффективно применение титана для резки металлов, огнеупоров и других материалов [5].

Высокодисперсные порошки металлического титана, в свою очередь, представляют значительный интерес для изготовления композиционных изделий новой техники, в том числе приборостроения, радиоэлектроники, медицины [6-10]. Кондиции металлических порошков во многом определяют уровень развития этих отраслей. Основными характеристиками металлических порошков являются дисперсность, плотность распределения объемов частиц по интервалам диаметров и удельная поверхность, играющая решающую роль при определении технологических условий предела порошков.

На сегодняшний день для получения ультрадисперсных титановых порошков предложены технологии, основанные на таких методах как механическое измельчение в мельницах [11], распыление расплавленного металла [12], испарение исходных веществ и их конденсация в вакууме [13], газофазное осаждение [14], пиролиз соединений, электросаждение [15]. Наибольшее распространение в отечественной практике получил метод химического восстановления оксидов титана гидридом кальция и магнием. Метод позволяет получать порошки, как правило, с широким диапазоном распределения частиц по размерам. Вместе с тем, получение высокодисперсных металлических порошков строго определенного гранулометрического состава и заданной степени чистоты остается проблематичным.

Целью представленной работы явилось исследование влияния основных параметров процесса восстановления диоксида титана металлами второй группы периодической системы на гранулометрический состав получаемых частиц титанового порошка и чистоту синтезируемого продукта.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Порошки металлического титана получали по методике, описанной в работе [16] восстановлением диоксида титана гидридом кальция или магнием. Процесс получения титанового порошка включал синтез в среде восстановителя при температуре 800-1000°C при постоянной продувке аргоном, выщелачивание продуктов реакции раствором соляной

кислоты и промывку дистиллированной водой. Продукты реакции восстановления идентифицировали методом рентгеноспектрального анализа. Структуру порошков изучали на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения S-3400N японской фирмы Hitachi с приставкой для рентгеноспектрального анализа фирмы Bruker. Гранулометрические характеристики порошков определяли на лазерном анализаторе частиц Microsizer 201C. Удельную поверхность порошков анализировали по методу БЭТ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

В таблицах 1, 2 и 3 представлены результаты анализа среднего размера частиц титана, полученного кальциегидротермическим способом, в зависимости от условий процесса.

Таблица 1 – Зависимость среднего размера частиц порошка от стехиометрического соотношения компонентов и длительности процесса при $t = 800^\circ\text{C}$

Отношение CaH_2 : TiO_2 Время выдержки, мин	1:1	1,25:1	1,5:1
0	0,55 мкм	0,43 мкм	0,55 мкм
15	0,40 мкм	0,43 мкм	0,78 мкм
30	0,40 мкм	0,47 мкм	1,52 мкм

Таблица 2 – Зависимость среднего размера частиц порошка от стехиометрического соотношения компонентов и длительности процесса при $t = 900^\circ\text{C}$

Отношение CaH_2 : TiO_2 Время выдержки, мин	1:1	1,25:1	1,5:1
0	0,40 мкм	0,53 мкм	0,40 мкм
15	0,88 мкм	0,83 мкм	1,14 мкм
30	2,18 мкм	1,12 мкм	1,60 мкм

Таблица 3 – Зависимость среднего размера частиц порошка от стехиометрического соотношения компонентов и длительности процесса при $t = 1000^\circ\text{C}$

Отношение CaH_2 : TiO_2 Время выдержки, мин	1:1	1,25:1	1,5:1
0	1,68 мкм	2,79 мкм	3,99 мкм
15	1,91 мкм	2,35 мкм	3,72 мкм
30	1,6 мкм	1,66 мкм	3,30 мкм

Из анализа таблиц видно, что повышение температуры процесса восстановления диоксида титана приводит к росту среднего размер синтезируемых частиц титанового порошка. В результате воздействия высокой температуры происходит спекание частиц порошка с формированием крупных агломератов. Анализ качества продукта полученного при различных условиях синтеза (табл. 4) показал, что наиболее качественный порошок получается при температуре 900°C . Доля титана в порошке превышает 99%. Понижение температуры синтеза мене 800°C приводит к резкому падению доли титана (77,45%) и росту содержания кальция (21,85%) в порошке, что говорит о том, что процесс восстановления еще не подошел к своей заключительной стадии. Синтез титанового порошка при 1000°C также позволяет получать довольно качественный продукт (доля $\text{Ti} \geq 0,98$), однако в порошке

появляется кальций, количество которого колеблется в интервале 1-1,5%. Наличие кальция в виде примеси вызвано агломерацией частиц титана с локализацией кальция в порах.

Таблица 4 – Влияние температуры восстановления на состав титанового порошка

Компоненты	Температура восстановления, °C			
	700	800	900	1000
Ti	77,45%	85,02%	99,07%	98,40%
Ca	21,85%	8,12%	-	1,10%

На качество получаемого продукта также оказывает существенное влияние удельная поверхность исходного компонента TiO_2 . Так, например, в ходе экспериментальных работ было установлено, что увеличение удельной поверхности частиц диоксида титана приводит к значительному росту доли титана в получаемом продукте. В соответствии с теорией проведения топохимических реакций необходимо, чтобы площадь контакта фаз взаимодействующих веществ была как можно больше, достигается это путём увеличения удельной поверхности. Экспериментально было установлено, что при удельной поверхности диоксида титана $14,3 \text{ м}^2/\text{г}$ содержание титана составляет 99%, в то время как при удельной поверхности $0,0375 \text{ м}^2/\text{г}$ – 92%.

С целью определения более точных значений размера получаемых частиц был проведен анализ с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения (СЭМ). Снимки, сделанные при помощи электронной микроскопии (рис. 1), свидетельствуют о том, что полученные продукты состоят из отдельных мельчайших частиц, средний размер которых составляет 80 до 1000 нм, в зависимости от условий синтеза. Эти данные хорошо согласуются с результатами анализа по методу БЭТ, в соответствии с которым удельная поверхность частиц титана колеблется в интервале от $1,2$ – $17,6 \text{ м}^2/\text{г}$ (табл. 5).

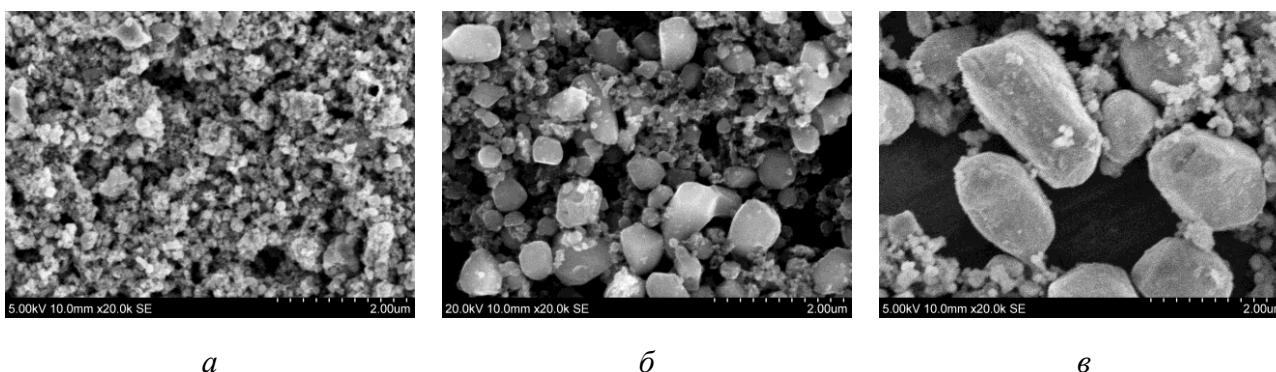


Рис.1 – Микрофотографии частиц титанового порошка полученного при различных температурах синтеза: а – 700°C, б – 900°C, в – 1000°C

Таблица 5 – Зависимость гранулометрических характеристик титанового порошка от температуры восстановления

Температура, °C	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	Средний размер частиц (по БЭТ), нм	Средний размер частиц (по СЭМ), нм
700	17,6	75,1	85
900	5	264,3	300
1000	1,4	944	1010

По результатам рентгеноспектрального анализа было установлено, что с увеличением времени изотермической выдержки наблюдается повышение качества получаемого продукта вследствие его более полного восстановления. Так, например, при 900°C без выдержки содержание титана в анализируемой пробе составляет 97,67%, тогда как при 30-минутной выдержке – 99,07%.

Результаты исследований по восстановлению диоксида титана магнием представлены в табл. 6, 7. Для увеличения степени конверсии диоксида титана восстановление проводилось при 30-минутной выдержке.

Влияние условий синтеза на средний размер частиц титанового порошка представлено в табл. 6. Использование металлического магния в качестве восстановителя позволяет снизить агломерацию получаемых частиц, что в свою очередь обусловлено образованием низших оксидов титана. Предположительно оксидные структуры подвергаются меньшей агломерации, чем металлические, вследствие индивидуальной химической природы. По результатам рентгеноспектрального анализа установлено, что при 1000°C с 30-минутной выдержкой содержание титана в анализируемой пробе составляет 92,90%.

Таблица 6 – Зависимость среднего размер частиц титанового порошка от условий синтеза

Отношение Mg: TiO ₂	1:1	1,25:1	1,5:1
Температура, °C			
900	0,50 мкм	0,43 мкм	0,48 мкм
1000	0,46 мкм	0,40 мкм	0,42 мкм

В ходе экспериментов была изучена зависимость размера получаемых частиц титана от размеров исходного диоксида титана (рис. 2). Опыты проводились при 1000°C, полукратном избытке восстановителя – магния и 30-минутной выдержке.

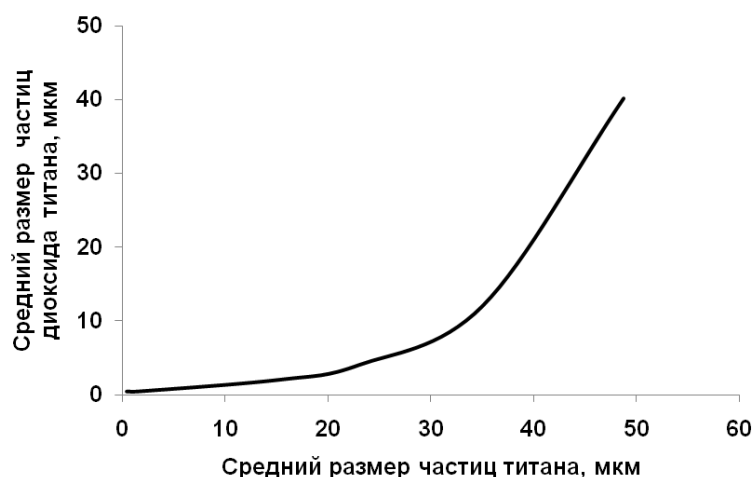


Рис. 2 – Влияние размера исходных частиц TiO₂ на размер титанового порошка

Анализ данных представленных на рисунке показал, что размер исходного прекурсора хорошо коррелирует с размером частиц получаемого продукта. Однако высокого качества по содержанию титана в порошке полученного восстановлением диоксида титана магнием получить не удалось.

ВЫВОДЫ

Результаты выполненных экспериментов демонстрируют влияние температуры, времени изотермической выдержки, соотношения компонентов и вида восстановителя на размер и качество синтезируемых частиц титановых порошков. Установлено, что наиболее предпочтительным восстановителем является гидрид кальция, при этом по мере роста температуры восстановления увеличивается средний диаметр синтезируемых частиц. Выявленные зависимости обеспечивают возможность получения высокодисперсных титановых порошков различного качества и гранулометрического состава.

Список литературы

1. Порошки титана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.polema.net/production/metal_powder/titan – 09.03.2011.
2. Воробьев Б.Я., Олесов Ю.Г., Дрозденко В.А. Производство изделий из титановых порошков. – Киев: Техника, 2006. – 174 с.
3. Пиротехнический состав: пат. 2222520 Рос. Федерация: МПК C06B33/00 / В.В. Ярошенко, А.А. Усков, М.В. Харламов и др.; патентообладатель: РФЯЦ – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Министерство РФ по атомной энергии. – №2001135693/02; заявл. 24.12.2001; опубл. 27.01.2004.
4. Пиротехнический искристо-форсовый состав: пат. 2008116749 Рос. Федерация: МПК C06B33/14 / М.С. Резников, И.Н. Шакиров, В.Л. Гинзбург и др.; патентообладатель: ФГУП «Чебоксарское производственное объединение им. В.И. Чапаева». – №2008116749/02; заявл. 30.04.2008; опубл. 10.11.2009.
5. Анохин В.М., Огнев Р.К., Саливон В.П. Титановые изделия из порошков. – М.: Химия, 1984. – 52 с.
6. Семенова И.П., Латыш В.В., Щербаков А.В., Якушина Е.Б. Наноструктурный титан для биомедицинских применений: новые разработки и перспективы коммерциализации // Российские нанотехнологии. – 2008. – Т.3, № 9-10. – С. 106-115.
7. Brunette D.M., Tengvall P., Textor M., Thomsen P. Titanium in Medicine. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 2001. – 1019 p.
8. Валиев Р.З. Создание наноструктурных металлов и сплавов с уникальными свойствами, используя интенсивные пластические деформации // Российские нанотехнологии. – 2006. – Т.1, №1-2. – С. 208-216.
9. Sergueeva A.V., Stolyarov V.V., Valiev R.Z., Mukherjee A.K. Advanced mechanical properties of pure titanium with ultrafine grained structure // Scripta Mater. – 2001. – № 45. – P. 747-752.
10. Шаркеев Ю.П., Ерошенко А.Ю., Братчиков А.Д. и др. Объемный ультрамелкозернистый титан с высокими механическими свойствами для медицинских имплантатов // Нанотехника. – 2007. – № 3(11). – С. 81-87.
11. Способ получения титанового порошка: пат. 2178341 Рос. Федерация: МПК B02C19/18, B22F9/04 / В.Н. Анциферов, А.А. Сметкин, А.Н. Ярмонов, С.Н. Пещеренко; патентообладатель: Республиканский инженерно-технический центр порошковой металлургии с НИИ проблем порошковой технологии и покрытий и опытным производством. – №2000102380/03; заявл. 31.01.2000; опубл. 20.01.2002.
12. Способ центробежного распыления металла и устройство для его осуществления: пат. 2171160 Рос. Федерация: МПК B22F9/10 / А.В. Полетаев, И.В. Анисимов; патентообладатель: А.В. Полетаев, И.В. Анисимов. – № 99127172/02; заявл. 28.12.1999; опубл.: 27.07.2001.
13. Способ испарения металла и устройство для его осуществления: пат. 2113942 Рос. Федерация: МПК B22F9/12 / И.В. Фришберг, М.Б. Ландау, В.Г. Брезанский, С.Г. Ефремов; патентообладатель: И.В. Фришберг. – №97108534/02; заявл. 27.05.1997; опубл.: 27.06.1998.
14. Иванов В.Е., Нечипоренко Е.П., Криворучко В.М. и др. Кристаллизация тугоплавких металлов из газовой фазы. – М.: Атомиздат, 1974. – 305 с.
15. Карелин В.А., Каменева О.В. Применение фторидных солевых систем для получения титана методом электролиза // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311, № 3. – С. 42-44.
16. Тихонов В.А., Лановецкий С.В., Замятин А.И., Пойлов В.З. Исследование процесса получения ультрадисперсных порошков металлического титана // Вестник ПГТУ. Химическая технология и биотехнология. – 2011. – №12. – С. 14-20.

05.13.18

Э.В. Урывский

Ухтинский государственный технический университет,
факультет информационных технологий, кафедра прикладной математики и информатики,
Ухта, Esvilance@gmail.com

ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ АЛГОРИТМА СИСТЕМЫ ТРЕХМЕРНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ СЦЕН ОКРУЖЕНИЯ

Анализируется предложенный ранее алгоритм автоматического трехмерного моделирования окружающих объектов. Дается оценка и обоснование алгоритма. Практическое значение исследования состоит в показе взаимосвязи скорости и качества обработки потока изображения для реконструкции трехмерной сцены и характера ее оптимизации с учетом индивидуальных особенностей алгоритма.

Ключевые слова: *компьютерное зрение, анализ, алгоритм реконструкции, оценка.*

В современных условиях необходимость в искусственном интеллекте и компьютерном зрении возникает в самых разных областях деятельности человека. На текущий момент применение теории ограничено решением вопросов идентификации и поиска объектов. Сравнительно недавно начало развиваться направление, связанное с автоматизацией процесса создания трехмерных моделей объектов и их восстановления по некоторым известным свойствам. Распознавание двумерных образов достаточно широко развито и эффективно используется в практической деятельности, в то же время, алгоритмы трехмерного «зрения» далеки от совершенства, имеют существенные недостатки и нуждаются в дальнейшем развитии.

Задача реконструкции трехмерной модели сцены окружения состоит в определении пространственных координат точек поверхности объектов по изображениям на снимках. В качестве исходных данных используются изображения, содержащие необходимые для реконструкции объекты под разными ракурсами (или видеопоток). Из изображений возможно извлечь пространственные характеристики объектов. В результате обработки исходных данных формируется трехмерная модель сцены, которая корректируется при поступлении и обработке новых данных.

Наиболее распространенный алгоритм работы подобной системы, назовем его базовым, состоит из следующих этапов:

- нахождение калибровок камер;
- нахождение особенностей на изображениях (проекций точки в пространстве);
- сопоставление особенностей для получения пространственных координат точки;
- построение модели по набору точек и ее текстурирование.

Данный алгоритм работает быстро, но очень нестабильно, из-за большого количества погрешностей и ошибок, которые возникают ввиду нестандартизированных и необработанных исходных данных, отсутствия контроля за качеством реконструкции и т.п. Поэтому его использование ограничено системами, где необходимо хотя бы как-то обозначить трехмерную модель или заранее знать какие специфические данные будут необходимо реконструировать.

Был разработан алгоритм повышенной точности, по сравнению с приведенным выше. Он включает в себя следующие этапы [1]:

1. Предобработка, нормализация и сортировка пакета изображений;
2. Калибровка и ректификация изображений;
3. Составление сегментированной панорамы;
4. Нахождение и сопоставление особенностей, слежение за камерой;

5. Построение вершин моделей;
6. Построение и текстурирование моделей;
7. Оптимизация результатов;
8. Выходные процессы.

На рис.1 представлена общая схема алгоритма в виде диаграммы потоков данных:

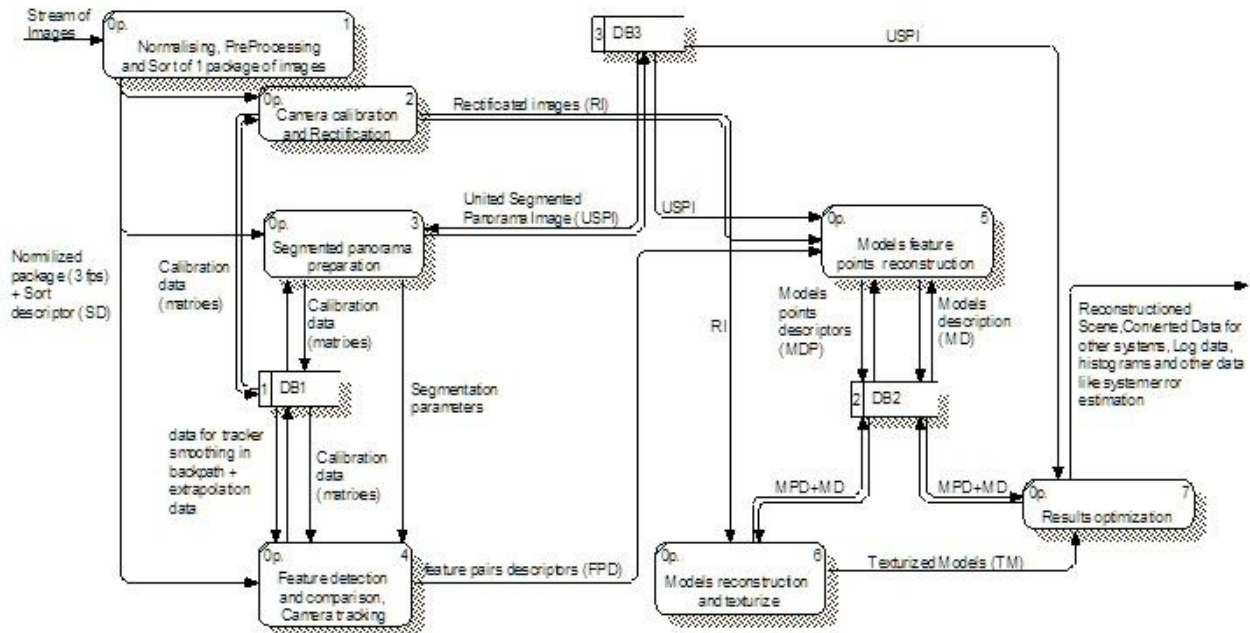


Рис. 1 – Диаграмма потоков данных алгоритма

В итоге за первый цикл обрабатывается 1 секунда видеопотока с тремя лучшими кадрами и инициализируются все переменные и необходимые дескрипторы. При всех последующих циклах работы системы, идет оптимизация результатов и построение трехмерной сцены реконструированного окружения в реальном времени.

Проверка качества работы алгоритма реконструкции трехмерных сцен окружения - довольно сложная и объемная задача. В качестве проверки была выбрана многокритериальная оценка методов, в которой используются сравнения различных свойств эталонного изображения (с которого велась реконструкция) и результата работы алгоритма. Выбраны следующие свойства изображений:

1. Качество и корректность границ на изображении.

Кросс-корреляция ключевых особенностей изображений, нормализованных и обработанных алгоритмом Кенни [2].

$$E = \frac{n_1}{n_2}, \quad (1)$$

где n_1 - количество особенностей на эталонном изображении, n_2 - количество сопоставленных особенностей. Вес метода 40%.

2. Общий цветовой баланс изображения.

Общая ошибка разницы значений гистограмм исходного и полученного изображения. Вес метода 22%.

$$E = \prod_i^n \frac{I_{xi}}{F_{xi}}, \quad (2)$$

3. Корректность особенных точек реконструированной сцены.

Подсчет найденных и сопоставленных особенностей на исходном и полученных изображениях. Вес метода 28%.

4. Точность сопоставленных особенностей.

$$E = \frac{\sum_{i,j}^n (I_{i,j} - F_{i,j})}{n^2}, \quad (3)$$

где I и F – эталонное и конечное изображения, $I_{i,j}$ – точка с окрестности особенности эталонного изображения, $F_{i,j}$ – точка с окрестности особенности конечного изображения, сопоставленной с особенностью эталонного. n – размерность окрестности. Вес метода 10%.

Точности реконструкции:

$$T = 0.4A_1 + 0.22A_2 + 0.28A_3 + 0.1A_4, \quad (4)$$

где A_1, A_2, A_3, A_4 – методы проверки точности.

Таблица 1 - Характеристики предложенного алгоритма

Оцениваемое свойство	Реконструкция макета (рис. 2)	Реконструкция медведя (рис. 2)	Реконструкция человека (рис. 2)	Реконструкция мелких вещей (рис. 3)
Качество и корректность границ на изображении	0.57	0.43	0.46	0.03
Общий цветовой баланс изображения	0.75	0.87	0.74	0.2
Корректность особенных точек реконструированной сцены	0.52	0.45	0.41	0.04
Точность сопоставленных особенностей	0.88	0.84	0.77	0.47
Время работы (с)	31	33	33	48
Итоговая точность работы алгоритма (%)	62.6	57.3	53.9	11.4

Восстановленные модели:



Рис. 2 – Примеры реконструкций

Реконструкция мелких вещей, с точностью реконструкции менее 50%, принятая за неудавшуюся:

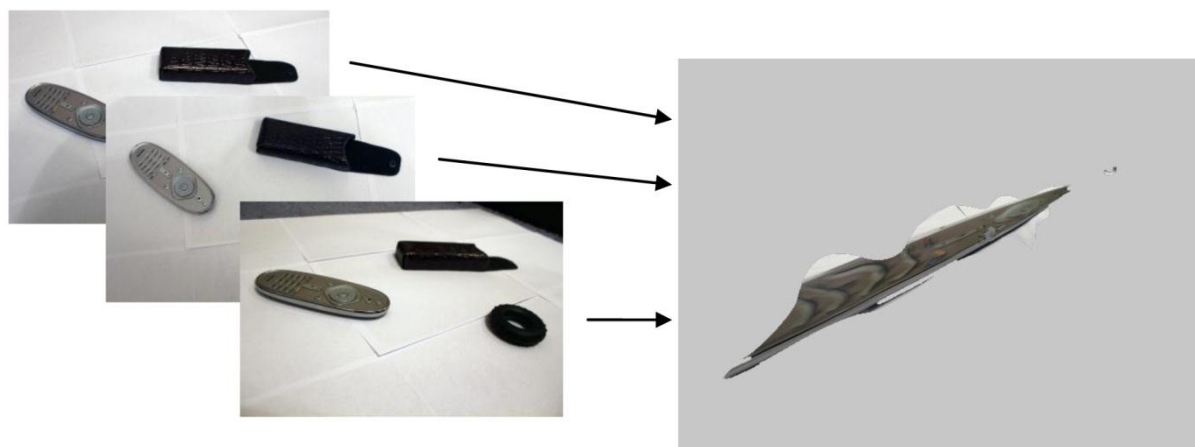


Рис. 3 – Неудавшаяся реконструкция модели

Для сравнения, точность реконструкции программы Photosculpt 3d (<http://www.photosculpt.net>) по данной оценке около 85-90% (но программа дает лишь слегка выдавленный результат, а не полную глубину трехмерной сцены), программа Autodesk 123D catch (<http://www.123dapp.com/catch>) дает 70-75% (соблюдая полную глубину сцены).

Предлагаемый алгоритм отличается значительно более высокой точностью и стабильностью по сравнению с базовым, что достигнуто за счет согласования результатов работы разных методов и оптимизации результатов с использованием базы данных и поточности входных данных.

Алгоритм можно использовать практически для любой реконструкции сцен окружения, создания трехмерной сцены квартиры из любительской съемки, реконструкции окружения из фильмов, как художественных, так и документальных или любой другой съемки или фотографий.

Список литературы

1. *Урывский Э.В.* Анализ алгоритма работы системы трехмерной реконструкции сцен окружения // Научно-технический вестник Поволжья №2 - Казань, 2012.
2. *Canny, J.* A Computational Approach To Edge Detection // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence - 1986. - №8(6) P. 679–698.

05.13.11

В.С. Фанасков, Ю.А. Степанов к.т.н.

Новокузнецкий институт (филиал)
ФГБОУ ВПО Кемеровского государственного университета,
г. Новокузнецк, vsnkfi@gmail.com

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА БАЗЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

В статье описаны типовые модели архитектуры специализированного программного обеспечения на базе ГИС-технологий и сформулированы принципы их построения. Предложена авторская архитектура. Описаны преимущества и недостатки разработанной архитектуры.

Ключевые слова: *ГИС, архитектура ГИС, технологии ГИС, программное обеспечение ГИС, специализированное программное обеспечение.*

Под геоинформационной системой (ГИС) понимается набор инструментов (пространственных систем управления базами данных - СУБД, программных каркасов, редакторов и так далее), позволяющих осуществлять операции поиска, анализа, редактирования, визуализации и хранения пространственных данных и связанной с ними информации об объектах. В специализированном программном обеспечении на базе ГИС-технологий частично применяются характерные для специализированных ГИС методы и средства, однако основной программный продукт может решать задачи, методами и средствами, характерными для выбранной предметной области, но отличными от тех, которые применяются в ГИС.

Приведённые определения позволяют понять, что специализированное программное обеспечение на базе ГИС представляет собой сложную по числу связей систему, объединяющую технологии характерные для ГИС и актуальной предметной области, а также подсистемы общего назначения. Помимо этого, западные исследователи классифицируют программное обеспечение ГИС, как корпоративные информационные системы [4], что определяет ГИС как сложные интегрированные системы, обладающие спецификой в обработке данных. Стоит отметить, что согласно модели издержек разработки (*Constructive Cost Model – COCOMO*) специализированное ПО на базе ГИС можно отнести к очень сложному или экстрасложному программному обеспечению [5], которое имеет высокую стоимость разработки.

Одним из способов уменьшения стоимости разработки и сложности системы, при сохранении необходимой функциональности, представляется проектирование функционального и компонентного состава системы с учётом специфики предметной области. Таким образом, актуальной является задача разработки архитектуры специализированного ПО на базе ГИС.

Для перехода к детальному рассмотрению архитектуры, были проанализированы программные продукты ГИС общего назначения (ArcView, AutoCAD Map, MapInfo и «Панорама»). На основе анализа популярных пакетов сформулированы требования к рассматриваемому классу программного обеспечения. Для специализированного ПО на базе ГИС важна слабая связанность элементов системы и возможность проверки адекватности полученных результатов. Максимальная продолжительность жизненного цикла программного средства может быть достигнута за счёт возможности изменения конфигурации для учёта деталей анализа данных или изменения аналитических функций и возможности ввода в систему дополнительных возможностей, расширяющих аналитические функции. Возможность адекватной реакции на изменение объёма анализируемых данных

достигается за счёт открытости системы и оригинальных архитектурных решений. В системе должно присутствовать чёткое разделение функций общего назначения ГИС и специализированных функций.

На практике применяются три основных типа архитектуры программного обеспечения на базе ГИС технологий: полносвязная архитектура, архитектура с разделением модели и представления, и архитектура с разделением модели и представления и введением дополнительного слоя бизнес-логики. Выбор архитектуры зависит от многих факторов, в частности от типа приложения, от типа решаемых задач и от используемых программных решений.

Полносвязная архитектура предполагает наличие связей между всеми компонентами системы. Данная архитектура обладает рядом существенных недостатков. Поэлементное тестирование осложнено сильной связанностью элементов. Функциональные возможности частично или полностью интегрированы между собой. При изменении даже одной из используемых функций, придётся вносить изменения во все остальные компоненты программной системы. Следовательно, данная архитектура не подходит для разработки специализированного программного обеспечения на базе ГИС, так как не удовлетворяет большей части сформулированных требований.

Архитектура с разделением модели и представления позволяет отделить обработку действий пользователя от операций с моделями данных и аналитическими функциями. При данном подходе количество связей между элементами системы уменьшается. Однако бизнес-логика всё ещё является частью компонентов, отвечающих за визуальное представление. К тому же одному представлению необходимо задействовать возможности сразу трёх компонентов, что приводит к явному дублированию реализации бизнес-логики и увеличению числа связей. Таким образом, архитектура с явным разделением модели и представления допустима при реализации небольших проектов, например дополнений к существующим системам.

Архитектура с явным разделением модели, представления и бизнес-логики, в классическом случае, основана на шаблоне (паттерне) проектирования модель-представление-контроллер (Model-View-Controller)[6]. Одним из основных преимуществ MVC-ориентированной архитектуры является минимальная связанность элементов. За счёт вынесения бизнес-логики в отдельный компонент, решена проблема усложнения реализации клиентской части. Архитектура, основанная на концепции MVC, может успешно применяться в классических настольных приложениях, клиент-серверных приложениях и приложениях на основе облачных технологий. Таким образом, MVC-ориентированная архитектура подходит для реализации сложных коммерческих проектов, в которых используется большое количество специализированных функций.

С учётом достоинств и недостатков рассмотренных архитектур, была разработана структура специализированного ПО на базе ГИС-технологий, основанная на классической модели MVC. На рисунке 1 представлен максимально обобщённый вариант разработанной архитектуры.

Рассмотрим основные компоненты архитектуры специализированного ПО на базе ГИС. Слой бизнес-логики представлен компонентами пакета Controllers. Контроллер Graphics отвечает за согласование взаимодействия пользовательских интерфейсов и основной системы, по средствам обработки пользовательских действий и принятия решений о реакции системы. Контроллер Functional обрабатывает запросы на предоставление функций и моделей. Контроллер Database согласует работу системы с локальными и удалёнными источниками данных. Контроллер General отвечает за согласование взаимодействия элементов системы.

Компоненты пакета Database отвечают за взаимодействие с источниками данных. На схеме представлены два компонента пакета Functions and Models – General и Specialized. Компонент General реализует функции общего назначения. Компонент Specialized реализует функции, характерные для рассматриваемой предметной области. Данный компонент

предоставляет интерфейс ISpecializedFMService, и является открытым. Компоненты пакета Spatial отвечают за согласование взаимодействия с функциями работы с типовыми источниками пространственных данных (Database services) и функциями ГИС (Functional services). Интеграции с другими продуктами способствует выделения пакета Spatial и наличия внешнего интерфейса ILibServices.

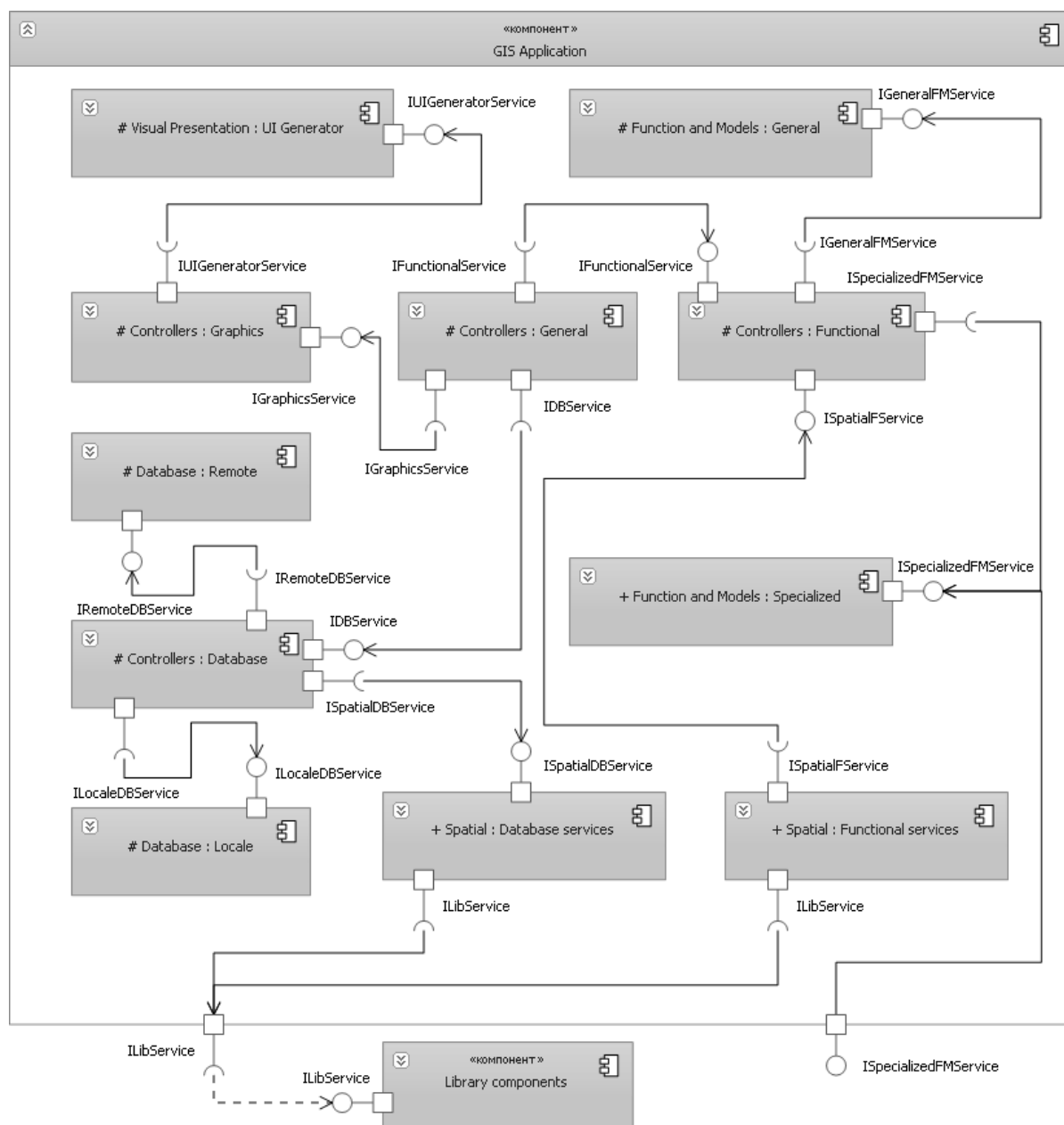


Рис. 1 – Компонентная модель специализированного программного обеспечения на базе ГИС

Таким образом, представленная компонентная модель полностью соответствует сформулированным требованиям к архитектуре рассматриваемого класса программного обеспечения, и может применяться при разработке специализированного ПО на базе ГИС. К недостаткам данной архитектуры можно отнести сложность в реализации и необходимость привлечения квалифицированных специалистов. Это затрудняет её реализацию при разработке небольших проектов. В этом случае, целесообразно отказаться от создания независимого приложения и разрабатывать его в качестве дополнительного модуля (плагины) к существующей ГИС общего назначения.

Разработанная структура удовлетворяет всем сформулированным требованиям. В основе архитектуры лежит объектно-ориентированный подход к созданию программного обеспечения и концепции MVC, что в совокупности позволяет достичь компромисса между качеством программного обеспечения и скоростью разработки. Применение описанных технологий позволяет эффективно реализовать предложенную архитектуру и добиться модифицируемости, расширяемости, масштабируемости программного обеспечения и адекватности результатов пространственного анализа. Дальнейшим направлением работы является создание методики разработки специализированного программного обеспечения на базе ГИС-технологий, основанной на принципах гибкой разработки.

Список литературы

1. «Rapport sur la marche et les effets du choléra dans Paris et le département de la Seine» [Электронный ресурс]. – <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k842918/f353.image> (дата обращения 05.06.2012).
2. *Е.Г. Капралов*. Основы геоинформатики: Учебное пособие / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др., - М.: Издательский центр «Академия». 2004. – 325с.
3. *Ципилёва Т.А.* Геоинформационные системы: Учебное пособие. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2004. –162 с.
4. Классификация прикладного программного обеспечения [Электронный ресурс]. – [http://en.wikipedia.org/wiki/Application_software# Application_software_classification](http://en.wikipedia.org/wiki/Application_software#Application_software_classification) (дата обращения 05.06.2012).
5. Официальный сайт COCOMO [Электронный ресурс]. – http://sunset.usc.edu/csse/research/COCOMOII/cocomo_main.html (дата обращения 05.06.2012).
6. *Э. Фримен*. Паттерн проектирования / Э. Фримен, Эл. Фримен, К. Сьерра. – Питер, 2011. – 656с.
7. Паттерны проектирования программного обеспечения [Электронный ресурс]. – http://en.wikipedia.org/wiki/Software_design_pattern (дата обращения 05.06.2012).

05.13.06

А.А. Фардеев

Камская государственная инженерно-экономическая академия,
факультет автоматизации и прогрессивных технологий,
кафедра прикладной информатики и управления,
Набережные Челны, progmast@mail.ru

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ОБЪЁМОМ НАСОСА МАНИПУЛЯТОРА,
ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ КОВКИ ЗАГОТОВОК**

В работе предлагается ввести в существующий технологический процесс ковки заготовок манипулятор. Разработана автоматизированная система управления рабочим объёмом насоса рассматриваемого манипулятора. Составлена математическая модель этой системы управления. Предложенная в данной статье система управления, позволяет повысить эффективность производства за счёт уменьшения энергозатрат.

Ключевые слова: ковка, манипулятор, автоматизированная система управления, рабочий объём насоса, математическая модель.

Для автоматизации технологического процесса ковки или горячей штамповки заготовок предлагается использовать манипулятор, который применяется для перемещения заготовки в рабочую зону прессы и извлечения её из этой зоны. Манипулятор также необходим для изменения положения заготовки [3].

С целью увеличения скорости выполнения операций манипулятором предлагается использовать автоматизированную систему управления [4], одной из функций которой является изменение рабочего объёма насоса при изменении скоростей движения подвижных частей манипулятора. Делается это для экономии энергии при уменьшении скорости движения по одной или нескольким переносным степеням подвижности.

Схема предлагаемой автоматизированной системы управления рабочим объёмом общего для всех степеней подвижности насоса показана на рис. 1

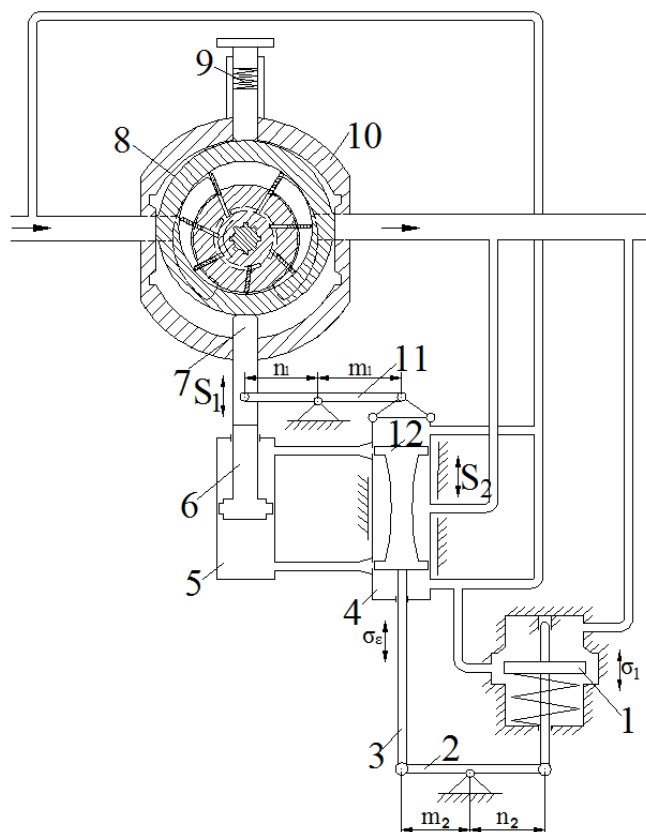


Рис. 1– Схема автоматизированной системы управления рабочим объемом насоса манипулятора

Здесь 1 – переливной клапан, 2 и 11 – рычаги, 3 и 7 – штоки, 4 –золотниковый гидрораспределитель, 5 – сервомотор, 6 и 12 – плунжеры, 9 – пружина, 8 – подвижный корпус, 10 – регулируемый пластинчатый насос.

Работает данная система управления следующим образом: при увеличении или уменьшении скоростей движения подвижных частей манипулятора изменяется расход клапана 1. При этом он перемещается вверх или вниз. Это перемещение преобразуется при помощи элементов 2, 3, 12, 4, 5, 6, 7, 11 в движение подвижного корпуса 8 вверх или вниз, что вызывает увеличение или уменьшение рабочего объема насоса соответственно [2].

Составим математическую модель предложенной системы управления. При этом будем пользоваться цифровыми обозначениями элементов системы, представленными на рис. 1.

Перемещение σ_ε задаётся перемещением клапана 1. Обозначим это перемещение σ_1 . Тогда:

$$\sigma_\varepsilon = \frac{m_2}{n_2} \sigma_1, \quad (1)$$

Расход Q_1 жидкости через окно гидроцилиндра 4 пропорционален открытию окна σ :

$$Q_1 = k_1 \sigma, \quad (2)$$

где k_1 зависит от перепада давлений в гидролиниях. Чтобы получить открытие окна σ нужно из перемещения σ_ε плунжера 12 вычесть перемещение S_2 корпуса распределителя 4, которое возникает при движении плунжера 6. Пусть S_1 – перемещение плунжера 6. Тогда:

$$S_2 = \frac{m_1}{n_1} S_1. \quad (3)$$

Формула для открытия окна σ согласно (3) примет вид:

$$\sigma = \sigma_{\varepsilon} - \frac{m_1}{n_1} S_1. \quad (4)$$

Скорость $\frac{dS_1}{dt}$ движения плунжера 6 пропорциональна расходу Q_1 :

$$\frac{dS_1}{dt} = k_2 Q_1, \quad (5)$$

где k_2 зависит от площади торца плунжера 6. Если последовательно подставить в (5) выражения (2), (4), (1), то получим:

$$\begin{aligned} \frac{dS_1}{dt} &= k_2 k_1 \sigma = k_2 k_1 \left(\sigma_{\varepsilon} - \frac{m_1}{n_1} S_1 \right) = k_2 k_1 \left(\frac{m_2}{n_2} \sigma_1 - \frac{m_1}{n_1} S_1 \right) = \\ &= k_1 k_2 \frac{m_2}{n_2} \sigma_1 - k_1 k_2 \frac{m_1}{n_1} S_1 \end{aligned}$$

или

$$\frac{n_1}{m_1 k_1 k_2} \frac{dS_1}{dt} + S_1 = \frac{n_1 m_2}{m_1 n_2} \sigma_1. \quad (6)$$

В номинальном режиме при закрытом окне (т. е. при $\sigma = 0$) $\frac{dS_1}{dt} = 0$, $S_1 = S_{10}$, $\sigma_1 = \sigma_{10}$. Следовательно, согласно выражению (6)

$$S_{10} = \frac{n_1 m_2}{m_1 n_2} \sigma_{10}. \quad (7)$$

Вычтем из (6) выражение (7). После этого поделим обе части полученного уравнения на S_{10} , а правую его часть поделим и умножим на σ_{10} . Тогда:

$$\frac{n_1}{m_1 k_1 k_2} \frac{d\left(\frac{S_1 - S_{10}}{S_{10}}\right)}{dt} + \frac{S_1 - S_{10}}{S_{10}} = \frac{n_1 m_2 \sigma_{10}}{m_1 n_2 S_{10}} \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_{10}}{\sigma_{10}} \right). \quad (8)$$

Введём относительные переменные

$$\theta = \frac{\sigma_1 - \sigma_{10}}{\sigma_{10}}, \quad \gamma = \frac{S_1 - S_{10}}{S_{10}}, \quad u_v = \frac{V_{OH} - V_{OH0}}{V_{OH0}}$$

Здесь θ – относительное перемещение клапана 1, γ – относительное перемещение плунжера 6, u_v – относительное изменение рабочего объёма насоса, V_{OH} – рабочий объём насоса 10, V_{OH0} – рабочий объём насоса в номинальном режиме. Относительное изменение рабочего объёма насоса u_v совпадает с относительным перемещением γ плунжера 6, т. к. подвижный корпус 8 насоса 10 и плунжер 6 связаны жёсткой кинематической связью, т. е. $\gamma = u_v$. Тогда уравнение (8) примет вид:

$$\frac{n_1}{m_1 k_1 k_2} \frac{du_v}{dt} + u_v = \frac{n_1 m_2 \sigma_{10}}{m_1 n_2 S_{10}} \theta. \quad (9)$$

Обозначим $K_{12} = k_1 k_2$, $K_{m1} = \frac{m_1}{n_1}$, $K_{m2} = \frac{m_2}{n_2}$, $T_s = \frac{1}{K_{12} K_{m1}}$, $K_{\theta} = \frac{K_{m2} \sigma_{10}}{K_{m1} S_{10}}$. Тогда уравнение (9) примет вид:

$$T_s \frac{du_v}{dt} + u_v = K_{\theta} \theta. \quad (10)$$

В уравнении (10) присутствует переменная θ . Выведем зависимость θ от относительного изменения давления насоса.

Уравнение равновесия клапана для переменных режимов работы имеет вид [1]:

$$C(z_0 + \sigma_1) = p_k A_k \psi, \quad (11)$$

где C – жёсткость пружины, z_0 – поджатие пружины, p_k – давление клапана, представляющее собой разность давлений в подводящей и отводящей гидролиниях, A_k – площадь рабочего сечения клапана, ψ – коэффициент нагрузки. Коэффициент нагрузки ψ зависит от числа Re . Эта зависимость для кромочных клапанов «кромка на конусе» установлена экспериментально [1] и приведена на рис. 2.

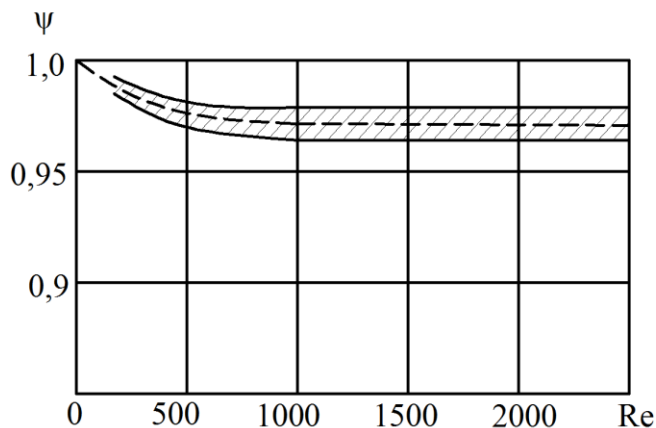


Рис. 2– Зависимость коэффициента нагрузки для кромочных клапанов «кромка на конусе» от числа Re

Из рисунка видно, что при достаточно больших числах Re коэффициент нагрузки ψ принимает постоянное значение. Пусть давление p_k принимает достаточно большие значения, которые обеспечивают большие значения чисел Re . Тогда коэффициент ψ принимает постоянное значение и согласно (11) существует линейная зависимость между σ_1 и p_k :

$$\sigma_1 = \frac{p_k A_k \psi}{C} - z_0. \quad (12)$$

Для переливного клапана 1 и насоса 10 (см. рис.1) гидролинии высокого и низкого давлений одни и те же. Поэтому $p_k = p_{нас}$, где $p_{нас}$ – давление насоса. Тогда зависимость (12) примет вид:

$$\sigma_1 = \frac{p_{нас} A_k \psi}{C} - z_0. \quad (13)$$

В номинальном режиме при $p_{нас} = p_{нас0}$ величина $\sigma_1 = \sigma_{10}$ и выражение (13) примет вид:

$$\sigma_{10} = \frac{p_{нас0} A_k \psi}{C} - z_0. \quad (14)$$

Вычтем из (13) выражение (14) и поделим обе части полученного выражения на $p_{нас0}$, а левую его часть умножим и поделим на σ_{10}

$$\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_{10}}{\sigma_{10}} \right) \frac{\sigma_{10}}{p_{нас0}} = \left(\frac{p_{нас} - p_{нас0}}{p_{нас0}} \right) \frac{A_k \psi}{C}. \quad (15)$$

Введём переменную u_p – относительное изменение давления насоса: $u_p = \frac{p_{нас} - p_{нас0}}{p_{нас0}}$.

Обозначим $K_{p1} = \frac{p_{нас0} A_k \psi}{C \sigma_{10}}$. Тогда выражение (15) примет вид:

$$\theta = K_{p1} u_p. \quad (16)$$

Подставим (16) в (10), обозначив $K_p = K_\theta K_{p1}$, тогда:

$$T_s \frac{du_v}{dt} + u_v = K_p u_p \quad (17)$$

Уравнение (17) описывает работу автоматизированной системы управления рабочим объёмом насоса манипулятора, используемого в технологическом процессековки заготовок.

Список литературы

1. Баишта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов – М.: Машиностроение, 1982, – 423 с.
2. Воронов А.А. Теория автоматического управления. – М.: Высш. шк., 1986, – 368 с.
3. Костюк В.И., Гавриш А.П., Ямпольский Л.С., Карлов А.Г. Промышленные роботы: Конструирование, управление, эксплуатация. – К.: Вища. шк. Головное изд-во, 1985, – 359 с.
4. Попов Е.П., Письменный Г.В. Основы робототехники: введение в специальность. – М.: Высш. шк., 1990, – 224 с.

05.13.06

Э.Л. Хазиев

Камская государственная инженерно-экономическая академия,
факультет Автоматизации и прогрессивных технологий,
кафедра Прикладной информатики и управления,
Набережные Челны, emilius@yandex.ru

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ

Рассмотрена система управления пневматическим промышленным роботом с применением кранового пневмораспределителя, который имеет привод от электрического шагового двигателя.

Ключевые слова: *система управления, крановый распределитель, шаговый двигатель, пневматический робот.*

Пневматические промышленные роботы получили широкое распространение при автоматизации и механизации технологических процессов и производства. Такие роботы, по сравнению с электромеханическими и гидравлическими, имеют высокое быстродействие, относительную простоту конструкции и эксплуатации, простые защитные устройства, пожарную безопасность, взрывобезопасность, низкую стоимость и высокую надежность при работе в тяжелых условиях.

Применяемые традиционно в пневмоаппаратуре в качестве управляющего привода электромагниты и сервоприводы не удовлетворяют требованиям по точности позиционирования запорно-регулирующего элемента, это в конечном итоге, влияет на точность работы конечных механизмов манипуляторов и роботов. Кроме того, для направления, а самое главное для удержания потока рабочей среды в нужном направлении через пневмораспределитель такого типа, без использования дополнительного оборудования, значительно увеличивает потребление электроэнергии. Для решения этих задач предлагается применять в качестве управляющего органа пневмораспределителя поворотный электрический шаговый двигатель. А сам пневмораспределитель с «толкающим» золотником - заменить на пневмораспределитель кранового типа.

На рисунке 1 показан привод промышленного пневмоманипулятора, а также место шагового двигателя и кранового пневмораспределителя в предлагаемом приводе:

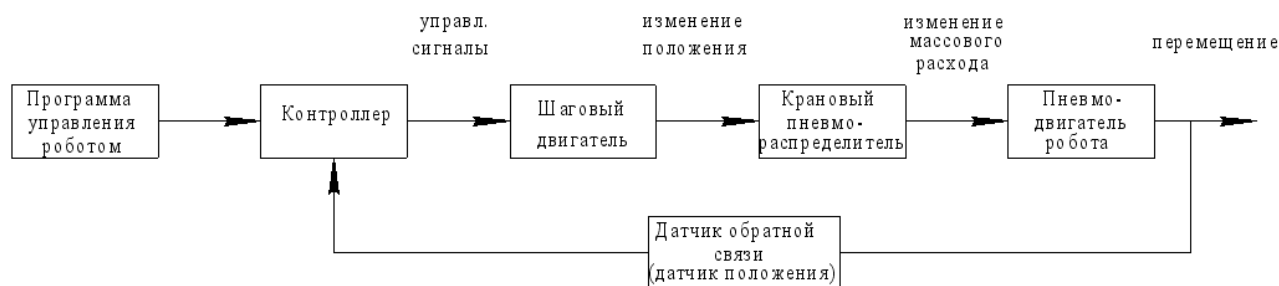


Рисунок 1. Система управления промышленного пневматического робота

Построим структурную схему системы управления, для этого воспользуемся разработанной математической моделью [2].

Уравнение движения шагового двигателя:

$$(1) \quad J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + D \frac{d\varphi}{dt} + i_A^2 nL \sin 2n\varphi + i_B^2 nL \sin 2n(\varphi - \lambda) + 2i_A i_B nM \sin 2n\left(\varphi - \frac{\lambda}{2}\right) = 0;$$

Уравнения для напряжения в обеих обмотках:

$$(2) \quad U - ri_A - \frac{d}{dt}(L_A i_A) - \frac{d}{dt}(M_{AB} i_B) = 0;$$

$$(3) \quad U - ri_B - \frac{d}{dt}(L_B i_B) - \frac{d}{dt}(M_{AB} i_A) = 0;$$

В линеаризованной форме эти уравнения примут вид:

$$(4) \quad J \frac{d^2(\delta\varphi)}{dt^2} + D \frac{d(\delta\varphi)}{dt} + 4n^2 i_0^2 (M + L \cos n\lambda)(\delta\varphi) + 2nI_0 L \sin 2n\lambda(\delta i_A - \delta i_B) = 0;$$

$$(5) \quad r(\delta i_A) + (L_0 + L \cos n\lambda) \frac{d}{dt}(\delta i_A) + (M - M_0) \frac{d}{dt}(\delta i_B) - 2nI_0 L \sin n\lambda \frac{d}{dt}(\delta\varphi) = 0;$$

$$(6) \quad r(\delta i_B) + (L_0 + L \cos n\lambda) \frac{d}{dt}(\delta i_B) + (M - M_0) \frac{d}{dt}(\delta i_A) - 2nI_0 L \sin n\lambda \frac{d}{dt}(\delta\varphi) = 0;$$

После линеаризации этого уравнения и преобразовании по методу Лапласа получим решение:

$$(7) \quad I_A = -I_B = \frac{2nI_0 L \sin(n\lambda)(s\Phi - \varphi_i)}{(r + L_0 s)} - \text{управляющее (входное) воздействие на работу шагового двигателя};$$

$$(8) \quad \Phi(s) = \frac{\left[s^2 + \left(\frac{r}{L_v} + \frac{D}{J} \right) s + \frac{r}{L_v} \cdot \frac{D}{J} + k_p \cdot \omega_{nv}^2 \right] \cdot \varphi_i}{s^3 + \left(\frac{r}{L_v} + \frac{D}{J} \right) s^2 + \left(\frac{r}{L_v} + \frac{D}{J} + \omega_{nv}^2 (1 + k_v) \right) s + \left(\frac{r}{L_v} \right) \omega^2} - \text{выходная координата}$$

работы шагового двигателя;

$$(9) \quad L_v = L_0 + L \cos n\lambda - M + M_0;$$

$$(10) \quad k_v = \frac{2L^2 \sin^2 n\lambda}{L_v (M + L \cos n\lambda)};$$

$$(11) \quad \omega^2 = \frac{4n^2 I_0^2 (M + L \cos n\lambda)}{J}.$$

Величины (9), (10), (11) выступают в качестве коэффициентов регулирующего воздействия и коэффициента самовыравнивания.

Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела:

$$(12) \quad M_{ин} \cdot \beta = M,$$

где

$$M_{ин} = \int r^2 dm - \text{момент инерции вращающегося тела};$$

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} - \text{проекция угловой скорости};$$

M – алгебраическая сумма моментов внешних сил.

Тогда из (12) найдем уравнение закона вращения кранового пневматического распределителя:

$$(13) \quad \frac{d^2\varphi}{dt^2} \int r^2 dm = F_{дав} + F_{тр} + F_{реакц},$$

где

$$F_{дав} = \left[\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\pi \cdot r_f^2}{360} d\varphi - \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} f d\varphi \right] \cdot p - \text{радиальная сила давления};$$

$F_{тр} = \zeta \cdot F_{давл} \cdot S_{нов}$ - сила трения;

$F_{реакц} = mg$ - сила реакции опоры; ζ – коэффициент трения качения; $S_{нов}$ – площадь поверхности золотника пневмораспределителя; r_f – радиус впускного канала; m – масса подвижных частей пневмораспределителя; f – площадь открытия окна пневмораспределителя.

Из уравнения (13) видно, что входным воздействием на работу пневмораспределителя является угол поворота φ , который задает шаговый двигатель (8). Выходным параметром будет выступать расход газа через пневмораспределитель. В уравнении (13) массовый расход будет учитываться совмещением впускного канала r_f и площади открытия окна пневмораспределителя f .

Расход газа через крановый пневмораспределитель составит

$$(14) \quad G = \mu \cdot f \cdot \psi \cdot P \cdot \varphi \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT}},$$

где μ - коэффициент расхода, f – площадь проходного сечения, p – давление газа, φ - угол поворота пневмораспределителя k – показатель адиабаты; R – универсальная газовая постоянная; T – температура газа в магистрали.

Уравнение движения пневмодвигателя (пневмоцилиндра):

$$(15) \quad m_{np} \frac{dV}{dt} = p_{пор} \cdot S_{пор} - p_{шт} \cdot S_{шт} - F_{вн.н} - \lambda \cdot V - F_{тр} \cdot \text{sign}(V),$$

где $S_{пор}$, $S_{шт}$ - соответственно эффективная площадь поршневой и штоковой полостей пневмоцилиндра; $p_{пор}$, $p_{шт}$ –давление воздуха соответственно в поршневой и штоковой полости пневмоцилиндра; V –скорость движения перемещаемой массы газа; λ –коэффициент вязкостного трения; $F_{тр}$ – суммарная сила трения в подвижных соединениях; $F_{вн.н}$ –внешняя нагрузка; m_{np} – приведенная масса подвижных частей привода.

В уравнении (15) левая часть выражения показывает выходное перемещение конечного привода манипулятора.

Построим структурную схему привода в программном пакете MBTU 3.7 и проведем моделирование переходных процессов, а также анализ на устойчивость системы.

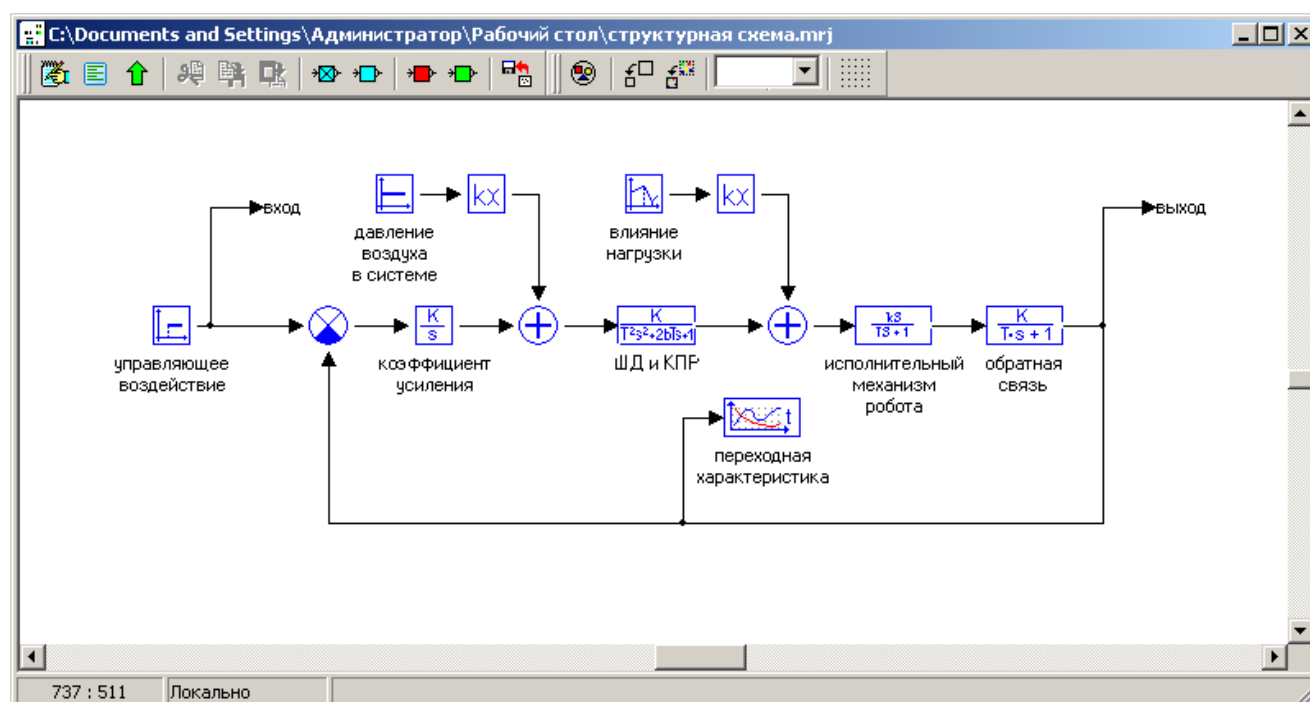
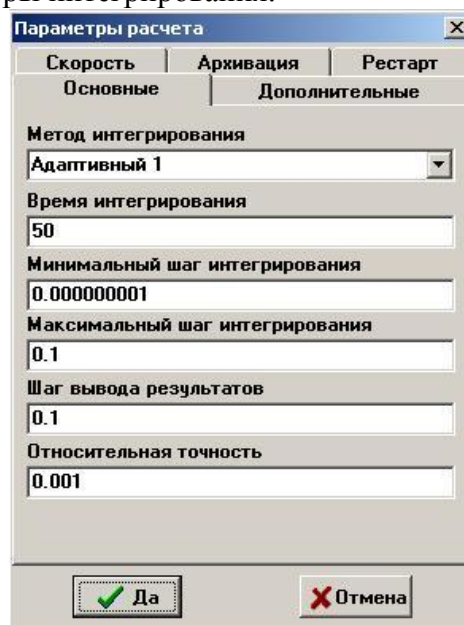


Рисунок 2. Структурная схема системы управления.

Необходимо задать параметры интегрирования:



Параметры расчета

Скорость | Архивация | Рестарт

Основные | Дополнительные

Метод интегрирования
Адаптивный 1

Время интегрирования
50

Минимальный шаг интегрирования
0.00000001

Максимальный шаг интегрирования
0.1

Шаг вывода результатов
0.1

Относительная точность
0.001

Да Отмена

Рисунок 3. Параметры расчета.

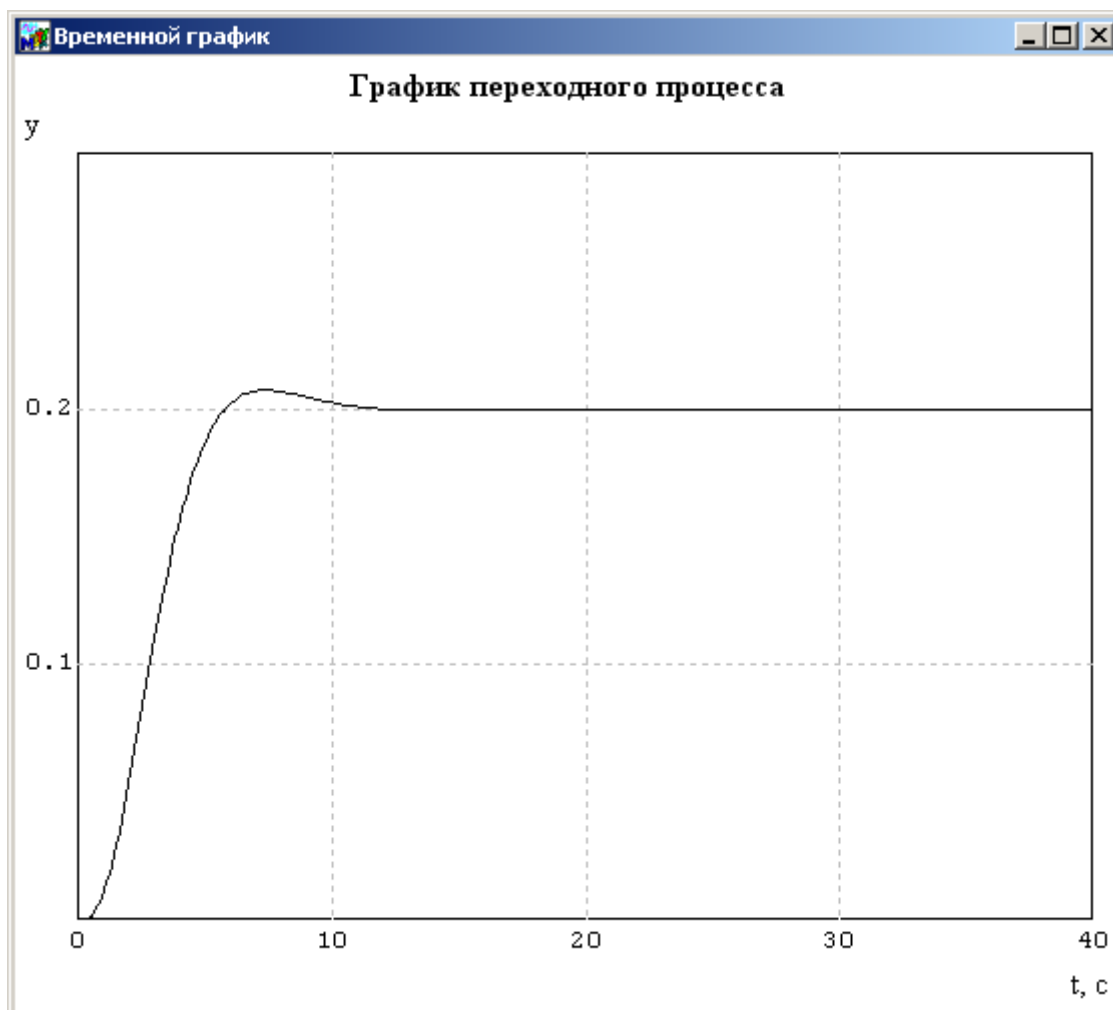


Рисунок 4. Переходный процесс.

Анализ полученных данных показывает, что требуемые характеристики переходного процесса достигнуты: перерегулирование - отсутствует; время входа в 5-ти процентную "трубку" не превышает 20 секунд.

Характеристика переходного процесса в САУ представляет собой сумму составляющих, количество которых определяется числом корней характеристического уравнения. В общем случае корни являются комплексными [1]. Поэтому проведем расчет передаточных функций и определим комплексно-сопряженные корни.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ		
ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ		
Степень	Знаменатель	Числители (Вход - Выход)
s	$L(s)$	вход-выход
0	0	0
1	1	0.2
2	3.2	
3	4.8	
4	3.2	
5	0.8	
ПОЛЮСЫ И НУЛИ		
Номер	Полюсы	Нули (Вход - Выход)
N°	$Re + jIm$	вход-выход
1	0	0
2	-0.5 + 0.5j	
3	-0.5 - 0.5j	
4	-1.5 + 0.5j	
5	-1.5 - 0.5j	

Рисунок 5. Расчет параметров передаточных функций.

Видно, что процесс затухающий.

Теперь необходимо исследовать систему на устойчивость. Построим амплитудно-фазовые частотные характеристики и проверим устойчивость по критерию Найквиста.

Необходимо задать параметры анализа.

Параметры частотного анализа			
Начальная частота	0.01	<input checked="" type="button" value="Да"/> Отмена	
Конечная частота	1000		
Число точек вывода	250	Создать окно	
Приращение для Якобиана		Характеристик	
Относительное	0.001	Годографов	
Абсолютное	1E-6		
Расчет		Годограф Михайлова	
N°	Входы	Выходы	Характеристика
1	вход	выход	ЛАХ
2	вход	выход	ФЧХ

Рисунок 6. Параметры частотного анализа.

Построим требуемые характеристики

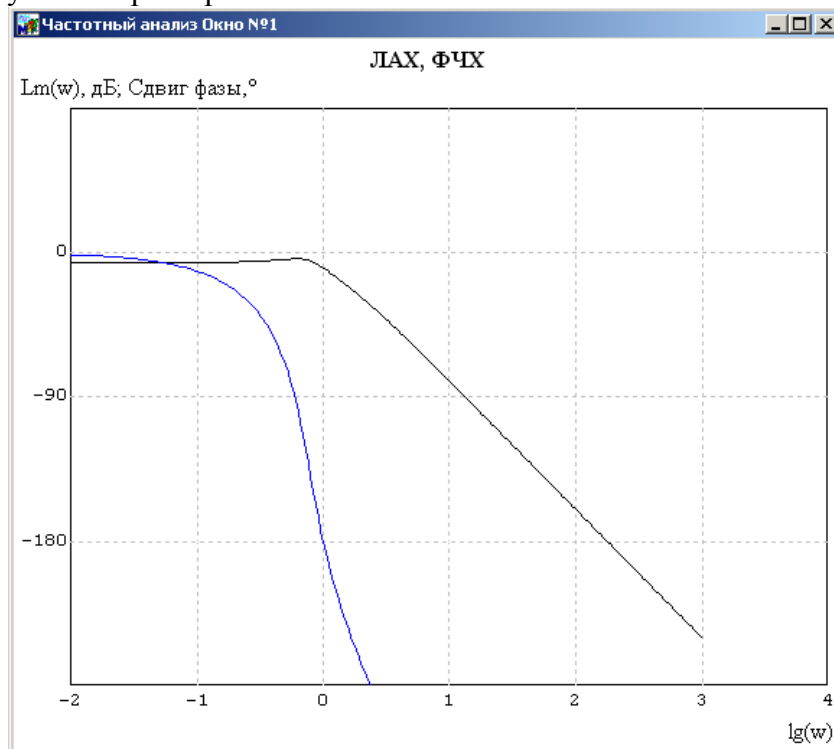


Рисунок 7. Логарифмическая амплитудно-фазовая частотная характеристика.

Проверим устойчивость по критерию Найквиста.

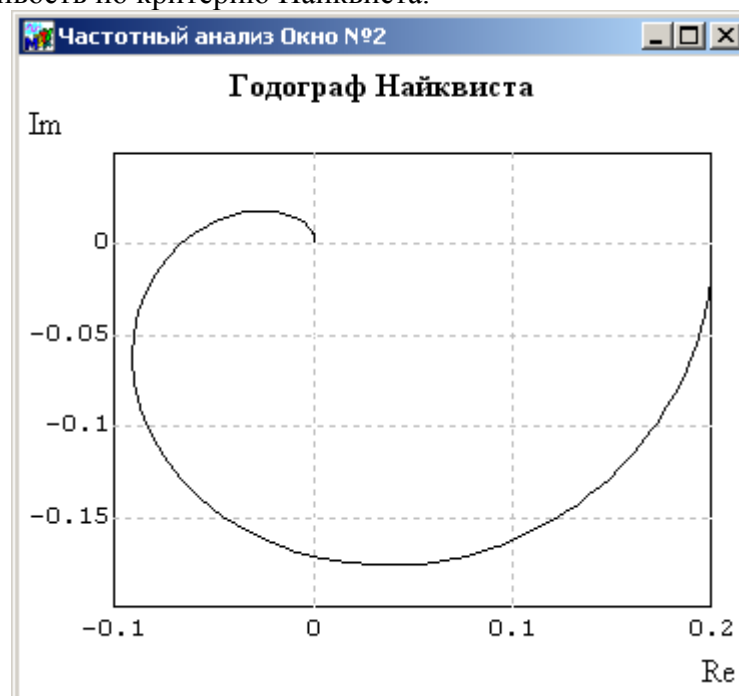


Рисунок 8. Годограф Найквиста

Так как линия годографа разомкнутой САР на рисунке 8, без сомнения, не охватывает точку $(-1, 0 \cdot i)$, то исходная САР в замкнутом состоянии будет абсолютно устойчива (устойчива при любом уменьшении коэффициентов усиления).

Таким образом, проведенное теоретическое моделирование показывает адекватность предлагаемой системы. Теперь состоятельность системы необходимо проверить практическим экспериментом.

Список литературы

1. *Ерофеев А.А.* Теория автоматического управления: Учебник для вузов. СПб.: Политехника, 2001.
2. *Хазиев Э.Л.* Математическое моделирование системы управления пневматического манипулятора промышленного робота. // Научно-технический вестник Поволжья №3 2011г. – Казань.
3. *Хазиев Э.Л.* Управление промышленным пневматическим манипулятором с применением кранового пневмораспределительного механизма с приводом от электрического шагового двигателя. Материалы межрегиональной научно-практической конференции «IV Камские чтения». 27 апреля 2012 г. сб-к док. часть 3 – 263с.

05.13.06

Э.Л. Хазиев

Камская государственная инженерно-экономическая академия,
факультет Автоматизации и прогрессивных технологий,
кафедра Прикладной информатики и управления,
Набережные Челны, emilius@yandex.ru

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРАНОВОГО ПНЕВМОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Рассмотрена методика расчета параметров кранового пневмораспределителя.

Ключевые слова: *система управления, крановый распределитель, шаговый двигатель, пневматический робот.*

Применяемые традиционно в пневмоаппаратуре в качестве управляющего привода электромагниты и сервоприводы не удовлетворяют требованиям по точности позиционирования запорно-регулирующего элемента, это в конечном итоге, влияет на точность работы конечных механизмов манипуляторов и роботов. Кроме того, для направления, а самое главное для удержания потока рабочей среды в нужном направлении через пневмораспределитель такого типа, без использования дополнительного оборудования, значительно увеличивает потребление электроэнергии. Для решения этих задач предлагается применять в качестве управляющего органа пневмораспределителя поворотный электрический шаговый двигатель. А сам пневмораспределитель с «толкающим» золотником - заменить на пневмораспределитель кранового типа.

Предлагаемое устройство представлено на рисунке 1.

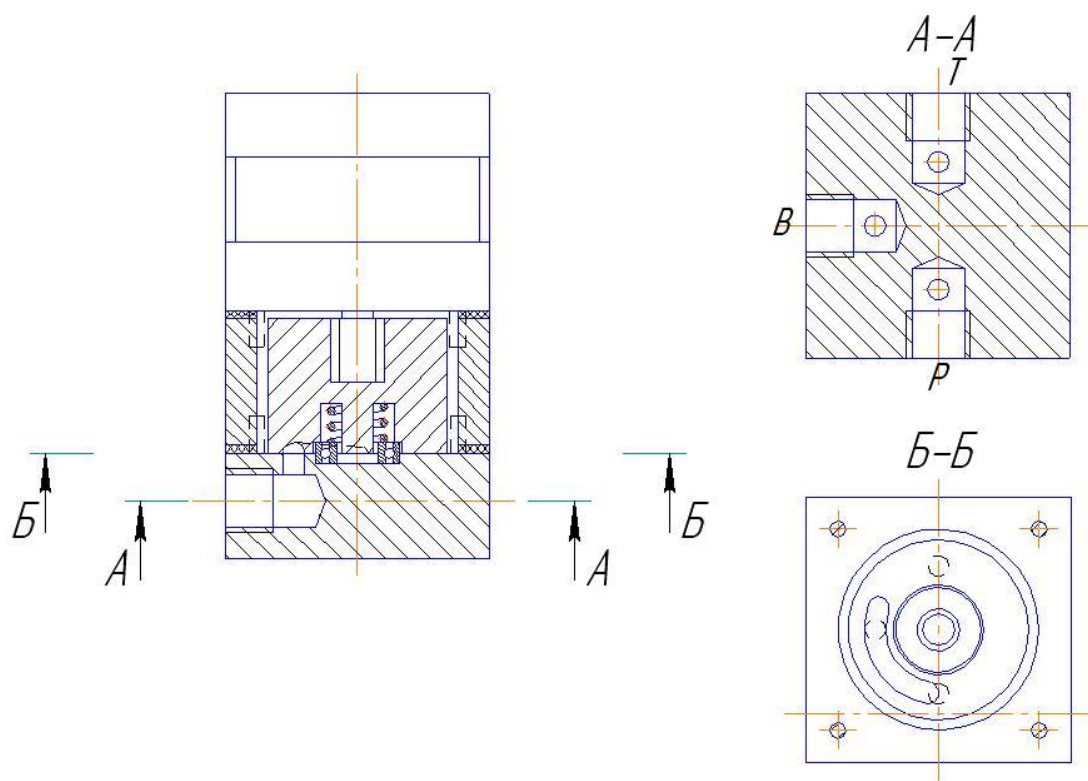


Рис.1. Пневматический крановый распределитель пневматического манипулятора промышленного робота с приводом от шагового электрического двигателя.

Согласно разработанной математической модели пневматического манипулятора промышленного робота [6] произведем расчет основных параметров предлагаемой системы. Последовательность расчета представлена на рисунке 2 в виде блок-схемы основных этапов расчета технологических параметров.

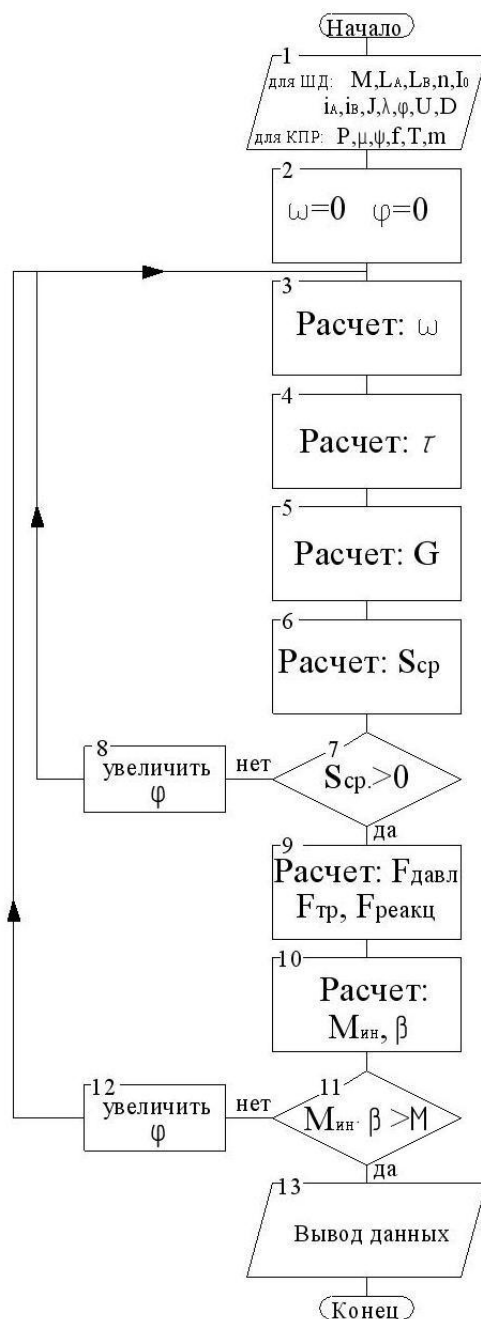


Рис.2. Блок-схема этапов расчета.

Входными данными (блок 1) для расчета являются:

а) для расчета параметров необходимого электрического шагового двигателя:
 L_A - собственная индуктивность фазы А; L_B - собственная индуктивность фазы В;
 L - индуктивность ротора; L_0 - начальная индуктивность ротора; I_0 - ток питания обмоток статора; M - взаимная индуктивность; n - число пар полюсов шагового двигателя; i_A - ток в обмотке А; i_B - ток в обмотке В; J - момент инерции ротора; λ - угол между обмотками статора; φ - угловое положение ротора; U - напряжение источника питания; D - коэффициент вязкого трения;

б) для расчета пневмораспределителя: P – давление газа; μ – коэффициент расхода через распределитель; ψ – функция, зависящая от режима течения газа; f – площадь открытия окна со стороны впускного канала; T – температура газа; m – масса подвижных частей пневмораспределителя.

В блоке 2 задаем начальные значения угловой скорости шагового двигателя и угла поворота золотника.

В блоках 3 и 4 рассчитываем параметры электрического реактивного шагового двигателя. Электромагнитный момент создаваемый i_A и i_B :

(1)

$$\tau = \frac{1}{2} i_A^2 \cdot \frac{dL_A}{d\varphi} + \frac{1}{2} i_B^2 \cdot \frac{dL_B}{dt} + i_A i_B \frac{dM_{AB}}{d\varphi} = \left[i_A^2 nL \sin 2n\varphi + i_B^2 nL \sin 2n(\varphi - \lambda) + 2i_A i_B nM \sin 2n\left(\varphi - \frac{\lambda}{2}\right) \right]$$

Угловое перемещение ротора шагового двигателя:

(2)

$$\omega = \sqrt{\frac{4n^2 I_0^2 (M + L \cos n\lambda)}{J}};$$

При разработке математической модели кранового пневматического распределителя (КПР) рассматривается установившийся режим, при условии неразрывности потока:

(3)

$$G_1 = G_2;$$

В связи с этим допущением в блоке 5 рассчитывается расход газа через крановый пневмораспределитель

(4)

$$G = \mu \cdot f \cdot \psi \cdot P \cdot \varphi \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT}},$$

В блоке 6 рассчитывается среднее значение параметра «время – сечение» ($S_{cp.}$) за весь промежуток времени работы кранового пневмораспределителя в течение рабочего цикла:

(5)

$$S_{cp.} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} dS}{t_2 - t_1} = \frac{\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} f(\varphi) d\varphi}{t_2 - t_1}.$$

где S – «время – сечение» кранового пневмораспределителя:

(6)

$$dS = f(\varphi) \cdot \frac{d\varphi}{dt} \cdot dt = f(\varphi) \cdot d\varphi,$$

где $f(\varphi)$ – площадь открытия окна со стороны впускного канала по углу поворота золотника, $\varphi(t)$ – угол поворота золотника по времени.

В блоке 9 определяются силы влияющие на движение кранового пневмораспределителя:

Радиальная сила давления:

(7)

$$F_{\text{дав}} = \left[\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\pi \cdot r_f^2}{360} d\varphi - \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} f d\varphi \right] \cdot p,$$

где r_f – радиус впускного канала;

Сила трения:

(8)

$$F_{\text{тр}} = \zeta \cdot F_{\text{дав}} \cdot S_{\text{нов}},$$

где ζ – коэффициент трения качения; $S_{\text{нов}}$ – площадь поверхности золотника пневмораспределителя.

Сила реакции опоры:

(9)

$$F_{\text{реакц}} = mg,$$

где m – масса подвижных частей пневмораспределителя.

В блоке 11 в соответствии с основным уравнением динамики вращательного движения твердого тела:

(10)

$$M_{\text{ин}} \cdot \beta = M,$$

где $M_{ин} = \int r^2 dm$ – момент инерции вращающегося тела; $\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ – проекция угловой скорости; M – алгебраическая сумма моментов внешних сил; определим закон вращения кранового пневматического распределителя:

$$(11) \quad \frac{d^2\varphi}{dt^2} \int r^2 dm = F_{двиг} + F_{тр} + F_{реакц}.$$

При расчете, необходимо учитывать, что шаговый двигатель ограничивает скорость вращения пневмораспределителя. В этом случае необходимо пересмотреть входные данные расчета.

Список литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. М.: Высшая школа, 1978.
2. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления: Учебник для вузов. СПб.: Политехника, 2001.
3. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Ридико Л. Раз шажок, два шажок...//Схемотехника, № 6, 7, 2001.
5. Солоха А.А. Уточненная математическая модель шагового двигателя. // Математические методы в технике и технологиях: материалы XVII междунар. научн. конф. – Казань. – 2005. – Т.5.
6. Хазиев Э.Л. Математическое моделирование системы управления пневматического манипулятора промышленного робота.//Научно-технический вестник Поволжья №3 2011г. – Казань.
7. Хазиев Э.Л. Управление промышленным пневматическим манипулятором с применением кранового пневмораспределительного механизма с приводом от электрического шагового двигателя. Материалы межрегиональной научно-практической конференции «IV Камские чтения». 27 апреля 2012 г. сб-к док. часть 3 – 263с.

05.05.04

А.Ф. Шакмаков, Ш.М. Мерданов д.т.н., А.Г. Обухов д.ф-м.н., А.Л. Егоров к.т.н.

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
кафедра «Транспортные и технологические системы»,
Тюмень, tts@tsogu.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ СНЕГА ПНЕВМОКОЛЕСНЫМ КАТКОМ

В статье рассматривается процесс уплотнения снега в зависимости от скорости нагружения, вида нагрузки, влажности снежной массы и давления в шинах катка.

Ключевые слова: *плотность снега, давление, скорость движения, проходы катка, нагрузка.*

Влияние дорожно-строительной техники, в частности катков на пневматических шинах [1], т.е. нагрузки на процесс изменения плотности снега во времени в конкретной точке дороги можно представить в виде графика (Рис.1). Для каждого вида снега есть предельное значение плотности ρ_{∞} , которое не зависит от нарастания нагрузки или увеличения числа проходов уплотняющего катка.

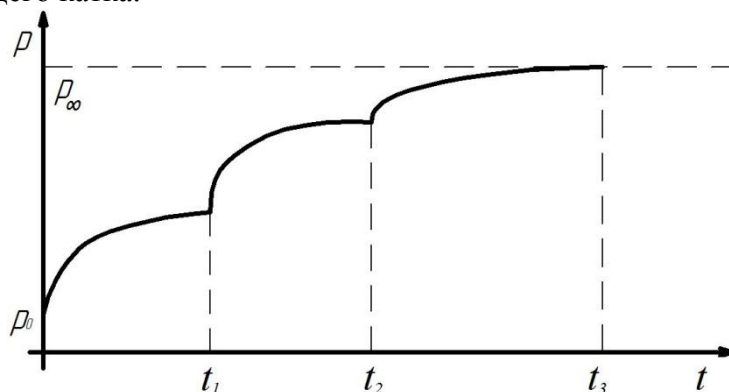


Рис. 1. Процесс изменения плотности во времени при 3-х проходах пневмокотка в определенной точке дороги (t_1 , t_2 и t_3 – время прохождения катка по конкретному месту дороги в 1-й, во 2-й и 3-й раз, ρ_0 – начальная плотность снега)

Построить полное математическое описание этого процесса затруднительно. Однако, вполне возможно создать его интегральную приближенную модель.

Основное допущение: скорость изменения плотности снежного покрова пропорциональна действующей нагрузке и разности предельно достижимой плотности и текущей плотности снега:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{P(t)}{k(t)} (\rho_{\max} - \rho). \quad (1)$$

Частная производная по времени здесь берется потому, что плотность зависит от множества переменных: глубины, влажности, температуры и др. При этом коэффициент пропорциональности $k(t)$ – это время, за которое достигается единичный прирост плотности снега под воздействием единичного поверхностного давления и имеет размерность $\left[\frac{\text{время} \cdot \text{сила}}{\text{площадь}} \right]$.

Величину параметра k нужно определять экспериментально.

Второе допущение: влияние температуры, влажности и других природных условий на процесс уплотнения снега незначительно в сравнении с эффектом воздействия дорожно-

строительного катка за малый промежуток времени. [2] Поэтому уравнение уплотнения снега под воздействием нагрузки (1) в первом приближении можно записать в виде одномерного дифференциального уравнения первого порядка:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{P(t)}{k(t)}(\rho_{\infty} - \rho). \quad (2)$$

Постоянная величина k может моделировать естественные условия уплотнения снега либо постоянное длительное воздействие уплотняющей нагрузки. В этом случае при $P = \text{const}$ дифференциальное уравнение уплотнения снега легко интегрируется в явном виде. Однако кратковременное интенсивное воздействие уплотнительного катка нуждается в особом описании. Оно не может быть выражено в элементарных функциях. Для описания подобного вида нагрузки требуется использование обобщенных функций, в частности функции Хевисайда:

$$H(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ \frac{1}{2}, & x = 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$$

В простейшем случае проход катка можно аппроксимировать внезапно возникшим в момент времени t_{in} ($t_{in} > t_0$, t_0 – момент начала отсчета времени наблюдения за процессом уплотнения снега) постоянным давлением P_i , действующим до момента времени t_{ik} ($t_{ik} > t_{in}$). Такое поведение нагрузки можно описать с помощью произведения двух функций Хевисайда:

$$P_i [H(t - t_{in}) H(t - t_{ik})], \quad (3)$$

где P_i – давление катка на снег в течении i -го прохода.

Если величина k в течении одного прохода не меняется, то множитель при разности плотностей в уравнении (2) может быть выражен в следующем виде:

$$\frac{P(t)}{k(t)} = \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{k_i} [H(t - t_{in}) H(t - t_{ik})], \quad (4)$$

где N – число проходов катка.

В этом случае уравнение так же возможно проинтегрировать явно. Его решение имеет вид:

$$\rho = \rho_{\infty} - (\rho_{\infty} - \rho_0) e^{-\sum_{i=1}^N \frac{P_i}{k_i} [(t - t_{in}) H(t - t_{in}) - (t - t_{ik}) H(t - t_{ik})]}. \quad (5)$$

Здесь:

ρ_{∞} – предельно достижимая плотность снега;

ρ_0 – начальная (на момент начала уплотнения t_0) плотность снега;

P_i – давление катка на снег в течении i -го прохода.

Имея решение в явном виде в виде выражения (5), можно рассмотреть ряд практических задач по уплотнению снега дорожными катками на пневматических шинах [3], например:

1. Определить величины оптимальных давлений в шинах катка для каждого прохода.
2. Определить оптимальное количество проходов катка.
3. Определить скорость движения катка в каждом проходе.

Введем понятие равноэффективного прохода катка, под которым будем понимать такой проход, в результате которого прирост плотности снега ρ одинаков при каждом проходе, т.е. каждый проход вносит равный вклад в приращение плотности ρ . Максимально возможный прирост ρ равен разности величин ρ_{∞} и ρ_0 :

$$\rho_{\infty} - \rho_0.$$

Рассмотрим случай двух проходов катка по одному и тому же месту, то есть когда $N=2$.

При $N=2$ выражение (5) примет вид:

$$\rho = \rho_{\infty} - (\rho_{\infty} - \rho_0) e^{\frac{P_1}{k_1}[(t-t_{1n})H(t-t_{1n})-(t-t_{1k})H(t-t_{1k})] - \frac{P_2}{k_2}[(t-t_{2n})H(t-t_{2n})-(t-t_{2k})H(t-t_{2k})]}.$$

Таким образом, каждый из двух равноэффективных проходов должен давать прирост равный

$$\frac{\rho_{\infty} - \rho}{2}.$$

На момент окончания первого прохода, т.е. при $t = t_{1k+0}$ должно быть

$$\frac{\rho_{\infty} - \rho}{2} = \rho_{\infty} - (\rho_{\infty} - \rho_0) e^{-\frac{P_1}{k_1}(t_{1k} - t_{1n})}.$$

Иначе,

$$e^{-\frac{P_1}{k_1}(t_{1k} - t_{1n})} = \frac{\rho_{\infty} + \rho_0}{2(\rho_{\infty} - \rho_0)}.$$

Отсюда можно получить актуальную для практики формулу для подбора давления и скорости катка (косвенно через время воздействия), для обеспечения половинного от максимально достижимого уплотнения снега:

$$-\frac{P_1}{k_1}(t_{1k} - t_{1n}) = \ln \frac{\rho_{\infty} + \rho_0}{2(\rho_{\infty} - \rho_0)}. \quad (6)$$

На момент окончания второго прохода при равно эффективных проходах теоретически должна достигаться предельная плотность снега. Это возможно тогда, когда множитель

$$e^{-\frac{P_1}{k_1}(t_{1k} - t_{1n}) - \frac{P_2}{k_2}(t_{2k} - t_{2n})} = 0.$$

Нулю же он может быть равен только в одном случае, когда

$$\frac{P_2}{k_2}(t_{2k} - t_{2n}) \rightarrow \infty. \quad (7)$$

Поэтому любой последующий проход катка в реальных условиях не может быть равноэффективным предыдущему. Тем не менее, постановка вопроса о равной эффективности последовательных проходов катка имеет практическую ценность, так как из (7) хорошо видно, что эффективность второго прохода растет при увеличении давления и снижении скорости движения катка (увеличивая время воздействия).

Таким образом, для второго (и любого последующего) прохода можно рекомендовать, с одной стороны, увеличение до максимально возможного давления на снег со стороны уплотняющего катка. С другой – снижение скорости проходов до минимально допустимой по технологическому регламенту работ.

В качестве примера проведем следующий расчет.

Допустим, что при втором проходе давление в два раза больше, а скорость в два раза меньше чем в предыдущем проходе:

$$P_2 = 2 P_1; \quad t_{2k} - t_{2n} = 2(t_{1k} - t_{1n}).$$

Тогда эффективность второго прохода составит

$$\left| \frac{e^{-\frac{P_1}{k_1}(t_{1k}-t_{1n})} - e^{-4\frac{P_1}{k_2}(t_{1k}-t_{1n})}}{e^{-\frac{P_1}{k_1}(t_{1k}-t_{1n})}} \right| \cdot 100\% = \left| 1 - e^{-P_1(t_{1k}-t_{1n})\left(\frac{4}{k_2} - \frac{1}{k_2}\right)} \right| \cdot 100\%$$

первого прохода.

Для оценки этого выражения, положим для простоты $k_1=k_2$, тогда:

$$(1 - e^{-3}) \cdot 100\% = 95,02\%.$$

То есть, при втором проходе пневмокатак может обеспечить практически равную по результативности первому проходу условия уплотнения.

Таким образом, для достижения максимальной эффективности уплотнения снега пневмоколесным катком теоретически необходимо во втором и последующих проходах примерно двух разное увеличение давления и снижение скорости.

Список литературы

1. Патент RU № 2321700. Устройство для уплотнения снежных насыпей дорожного полотна // Мерданов Ш.М., Иванов А.А., Мерданов М.Ш., Иванов А.А., Самойлова М.И., Обухов А.Г. Оpubл. 10.04 08. – 0,3 с.
2. Мерданов Ш.М. Снеголедовые дороги: исследования, конструкции, технология строительства, механизированные комплексы. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2006. – 160 с.
3. Мерданов Ш.М. Методика расчета основных параметров устройства для уплотнения снега [Текст] / Известия высших учебных заведений «Нефть и газ» № 3 - 2007. Тюмень, С. 88 – 95.

05.13.01

¹Р.А. Ямалеев, ²О.Н. Кузяков д.т.н.¹Тюменский государственный нефтегазовый университет,
г. Тюмень, rystam05@mail.ru²Тюменский государственный нефтегазовый университет,
г. Тюмень, kuzyakov@tsogu.ru

ТРЕХМЕРНЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИМИТАЦИОННЫЙ ТРЕНАЖЕР НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

В работе представлена концепция применения распределенных компьютерных имитационных тренажеров для исследования технологических процессов на примере реализации имитационной модели нефтеперекачивающей станции. Рассмотрено построение математической модели.

Ключевые слова: *имитационное моделирование, распределенные системы моделирования, исследование технологических процессов.*

Современный скоростной темп развития цифровых технологий с каждым годом совершенствует уровень компьютерных устройств, удешевляя их для потребителя. Тем самым позволяя с применением доступных персональных компьютеров реализовывать все более сложные и ёмкие математические модели, а также создавать графические модели реальных промышленных объектов.

Необходимость в совершенствовании и модернизации технологического процесса, оборудования может возникнуть как на этапе проектирования, так и при длительной эксплуатации объекта. В связи с необходимостью продолжительных во времени экспериментов с реальным оборудованием и сопровождаемые большими финансовыми затратами, широкое применение нашли имитационные тренажеры, базирующиеся на математическом имитационном моделировании. Однако стоит отметить тот факт, что с каждым годом всё большее распространение получают компьютерные тренажеры, обладающие рядом положительных качеств.

Эффективность применения имитационных математических моделей в производстве описывается в ряде научных публикаций [1, 2, 3], основными аспектами которой являются:

1. Применение при проектировании, модернизации производственных объектов:

- для повышения эффективности использования оборудования в технологических процессах;
- для прогноза долговечности эксплуатируемого оборудования;
- с целью определения наиболее высокоэффективных параметров оборудования, участвующих в технологическом процессе;
- с целью модернизации методик управления технологическим процессом;

2. Применение как в исследовательских целях, так и в целях, носящих учебный характер, позволяет построить аналитическую модель объекта, если в системе есть время, причинные связи, последствие, нелинейности, стохастические (случайные) переменные.

Однако одним из наиболее малоизученных и малореализованных направлений является использование трехмерных компьютерных имитационных тренажеров в качестве программной среды с целью проведения исследовательских работ над технологическими процессами имитируемых объектов.

Существующие имитационные модели позволяют имитировать поведение системы во времени. Причём плюсом является то, что временем в модели можно управлять: замедлять в

случае с быстропротекающими процессами и ускорять - для моделирования систем с медленной изменчивостью. Можно имитировать поведение технических объектов, реальные эксперименты с которыми дороги, невозможны или опасны. С наступлением эпохи персональных компьютеров производство сложных и уникальных изделий, как правило, сопровождается компьютерным трёхмерным и имитационным моделированием. Эта точная и относительно быстрая технология позволяет накопить все необходимые знания, оборудование и методы для будущего производства еще на стадии его проектирования.

Примером такого направления является разработка компьютерного имитационного тренажера нефтеперекачивающей станции (далее КИТ НПС).

Построение сложных имитационных систем предполагает достаточно сложное проектирование. Согласно [4], сначала необходимо определить принципиальный состав федерации в первом приближении, т.е. федераты, объекты федератов и атрибуты объектов. Составленная схема федерации КИТ НПС учитывает и аппаратные компоненты распределенной имитационной системы, т.е. датчики и управляющие аппаратные устройства также представлены в виде федератов, объектов и атрибутов. На рис. 1 показана структура федерации разработанного КИТ НПС.

Федерация модели: $f = \{F_{d \text{ special}} \cup F_d\}, F_d = \bigcup_{i=1}^n f_d, F_{d \text{ special}} = \bigcup_{i=1}^n f_{d \text{ special}}$,

где $F_{d \text{ special}}$ – множество специальных федератов (пользователей), $F_{d \text{ special}} = 1$; F_d – множество федератов; $F_d > 1$ – множество федератов.

Федерат: $f_d = \{B_i \cup M \cup B_{i \text{ special}} \cup M_{\text{special}}\}$, где B_i – множество объектов; M – математическая имитационная модель; $B_{i \text{ special}}$ – заранее заложенные в систему объекты; M_{special} – заранее заложенная математическая имитационная модель.

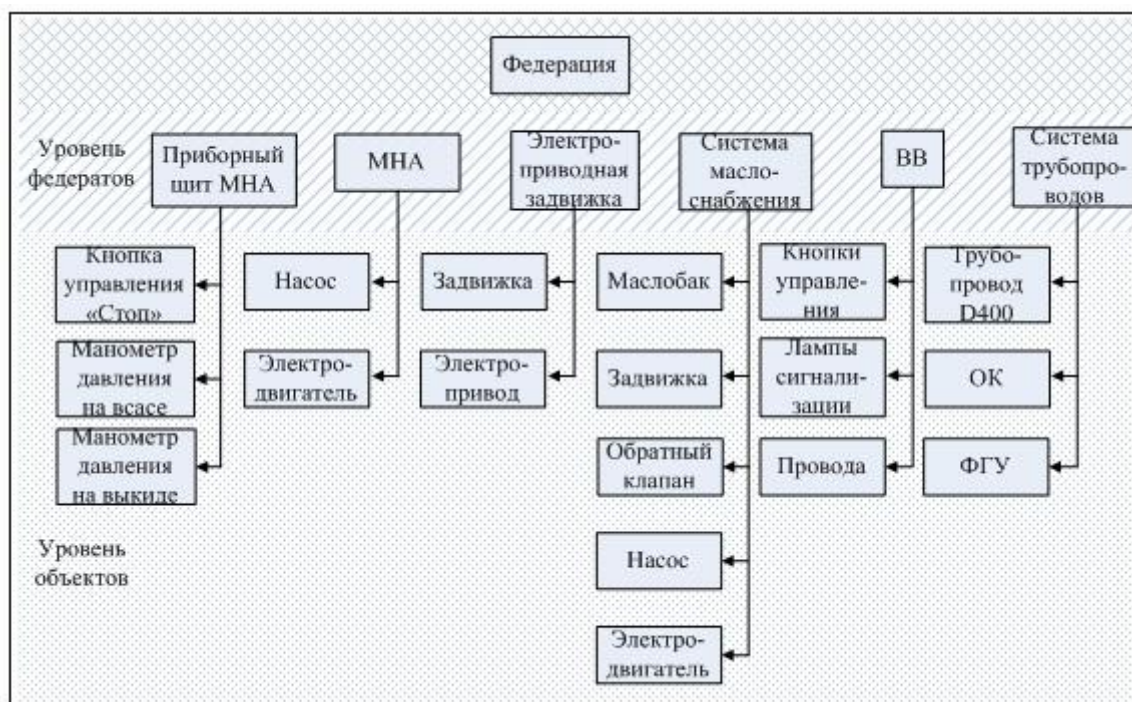


Рис. 1– Структура федерации

Выявлено необходимое количество компьютеров и соответствующее распределение федератов. Решение этой задачи, основывается на экономичности моделей системы через реализацию распределенной системы. Измерение задействованных вычислительных ресурсов разработанного тренажера позволило сделать выводы о необходимости использования двух компьютеров (рис. 2).



Рис. 2– Структура распределенного имитационного тренажера

Основываясь на классификации элементов HLA – федерации [5], был сделан вывод о структуре системы: все федераты системы – обычные с математической моделью; система – однопользовательская, распределенная.

Определены связи математической модели, т.е. отражение того какие федераты изменяют атрибуты объектов, а какие подписываются на эти изменения. Связи представлены на рис. 3.

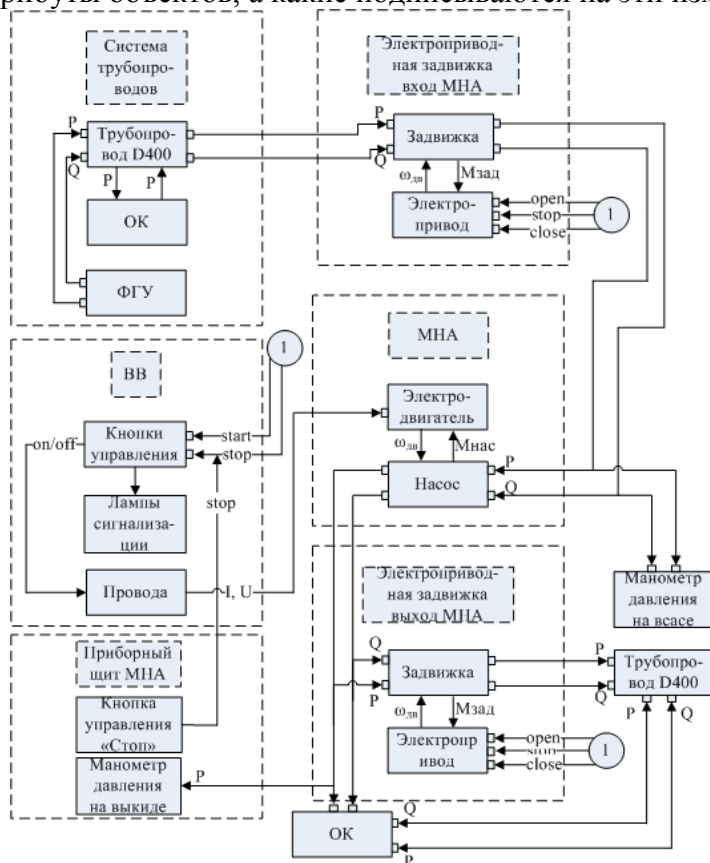


Рис. 3– Определение связей модели

Имитация математического аппарата НПС осуществляется с применением компьютера №1 (рис.2) на базе программного обеспечения LabView, компании National Instruments. Следует отметить достоинства представленной модели, заключающиеся в применении стандартных протоколов передачи данных (OPC, Modbus), в возможности подключения к ней реального оборудования (электроприводы задвижек, датчики), также применения уже имеющихся реализованных моделей. Компьютер №2 осуществляет реализацию трехмерной графической модели НПС на базе системы автоматического проектирования компьютерных имитационных тренажеров научно-исследовательского института электронных

образовательных ресурсов (НИИЭОР) Тюменского государственного нефтегазового университета.

КИТ НПС является развитием имитационного моделирования и позволяет совместить стандартные методы проектирования математических имитационных моделей технологических процессов (на различных языках программирования, с применением кадров мнемосхем) с трехмерной интерактивной моделью объекта моделирования.

Основываясь на опыте разработки КИТ НПС, сделаны следующие выводы:

1. КИТ позволяет воспроизводить прогнозируемые результаты реального исследования с определенной долей вероятности, напрямую зависящей от качественного приближения математической модели к реальной, вследствие чего можно говорить о возможности применения КИТ в исследовании технологических процессов:

- на этапе проектирования;
- при реконструкции объекта моделирования;
- при внедрении нового оборудования;
- при изменении методов ведения технологического процесса;
- и т.д.

2. Возможность реализации систем, имитирующих сложные объекты с высоким количеством математических связей, за счет применения гибкой математической модели объекта:

- возможность создания распределенной математической модели (разделение математической модели объекта на структурные части (федераты), и реализация их в разных программных продуктах);

3. Упрощение методов управления КИТ с помощью применения набора свойств и методов изменения условий моделирования через атрибуты объектов;

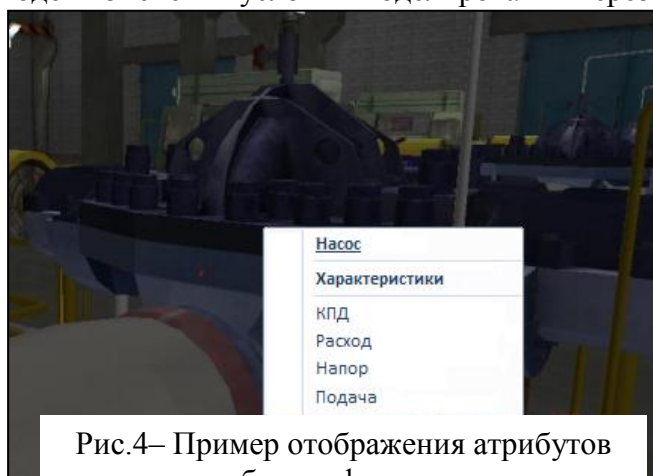


Рис.4– Пример отображения атрибутов объекта федерата

Исследование технологического процесса с применением КИТ НПС позволяет:

- определять эффективные режимы работы технологического оборудования;
- выявлять негативные воздействия без задействования реального оборудования;
- реализовывать проверки параметров, режимов работы, технического состояния оборудования, определения путей безопасной и эффективной работы систем;
- вести комплексно мониторинг различных технологических параметров;
- вносить конструктивные изменения, как замена детали, оборудования, их геометрического положения и т.д.

В свою очередь, результаты работы с КИТ НПС могут способствовать: увеличению эффективности работы объекта исследования, косвенно – увеличению надежности работы реального оборудования. Таким образом достигается снижение количества аварийных остановок реального оборудования. Также плюсы от проведения исследований с помощью КИТ НПС заключаются в тестировании, настройке и оптимизации существующего технологического процесса, воспроизведении и анализе аварий, разработке методик по

реализации корректировок алгоритмов работы технологического оборудования, систем автоматики, совершенствовании порядка действий оперативного персонала в нештатных ситуациях или при отклонениях от технологических режимов.

Список литературы

1. Колесов В.И., Гаммер М.Д., Немков А.В. Имитационное моделирование испытаний насосных установок // Проблемы развития ТЭК Западной Сибири на современном этапе: труды Междунар. Науч.-техн. Конф., посвященной 40-летию Тюменского государственного нефтегазового университета, 25-27 сент. 2003 г. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. – С.98–100.
2. Применение компьютерных имитационных тренажеров и систем виртуальной реальности в учебном процессе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.really.ru/kb.php?mode=article&k=41>
3. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – Издательская группа BHV, 2004. – С.19-21
4. Гаммер М.Д. Имитаторы на базе программно-аппаратной платформы в техническом образовании / М.Д. Гаммер, В.Н. Сызранцев, С.Л. Голофаст – Новосибирск: Наука, 2011. – С.123-124, 195-197
5. Динамические распределенные модели на основе технологии High Level Architecture (HLA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://dcs.isa.ru/www/vladimirv/diar/portal/diar_isa_home_1.html

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.К. Половняк, Ш.В. Садетдинов, А.И. Катанаев,
Р.С. Миргазитова
РАСТВОРИМОСТЬ И ТВЕРДЫЕ ФАЗЫ В СИСТЕМЕ
ДИЦИНКГЕКСАБОРАТ-КАРБАМИД-ВОДА
Ключевые слова: дицинкгексaborат, карбамид,
физико-химический анализ.

Методами физико-химического анализа изучено взаимодействие дицинкгексaborата с карбамидом в водной среде при 50⁰С. Установлено образование нового соединения стехиометрического состава $Zn_2B_6O_4 \cdot 4N_2H_4CO \cdot 2H_2O$. С помощью рентгенофазового, кристаллооптического, дифференциально-термического анализа и ИК-спектроскопии проведена идентификация твёрдых фаз в системе дицинкгексaborат-карбамид-вода.

Д.В. Бережной, М.К. Сагдатуллин, А.А. Саченков
РАСЧЕТ КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
Ключевые слова: семейство переходных конечных
элементов, ортотропность, многослойность.

В работе представлен алгоритм построения комбинированного конечного элемента для определения НДС конструкций существенно переменной толщины. Приведен расчет руля высоты легкомоторного самолета.

В.В. Дружинин, Л.А. Лобов, А.Г. Сироткина
ДЕТЕРМИНАНТНЫЙ ПРИЗНАК ДЕЛИМОСТИ
Ключевые слова: функция делимости, признак
делимости, простое число, система счисления, этаж.

Предложен новый способ определения делимости чисел, позволяющий резко сократить расчеты. Введена детерминантная функция делимости, с помощью которой можно также находить частное дроби и остаток при делении.

В.В. Вольхин, Л.С. Пан, Е.А. Балабенко,
О.И. Бахирева, Г.В. Леонтьева, Н.Б. Ходяшев
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ
СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ СМЕШАННЫХ
ГЕКСАЦИАНОФЕРАТОВ (II) МЕДИ, ЦИНКА-
КАЛИЯ И БИОПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ
Ключевые слова: цезий, водоросль,
гексацианоферратные комплексы, композиционные
сорбенты, сорбция, коэффициент распределения.

В работе представлены результаты изучения состава, макроструктуры (оптическая микроскопия), кристаллической структуры (рентгенофазовый анализ) и сорбционных свойств (коэффициент распределения K_d для ионов Cs^+ на фоне ионов Na^+/K^+) композиционных сорбентов, включающих неорганический компонент – $K_{0.36}Cu_{1.82}[Fe(CN)_6]$ или $K_{1.00}Zn_{1.50}[Fe(CN)_6]$, и органический – водоросль

V.K. Polovnyak, Sh.V. Sadetdinov, A.I. Katanaev,
R.S. Mirgazitova
SOLUBILITY AND SOLID PHASE IN
DITSINKGEKSABORAT-UREA-WATER
Keywords: ditsinkgeksaborat, urea, physico-chemical
analysis.

The methods of physicochemical analysis ditsinkgeksaborata studied the interaction with urea in an aqueous medium at 500C. The formation of a new compound of stoichiometric composition $Zn_2B_6O_4 \cdot 4N_2H_4CO \cdot 2H_2O$. With the help of X-ray, kristalloopticheskogo, differential thermal analysis and IR spectroscopy identified on the solid phases in the system ditsinkgeksaborat-urea-water.

D.V. Berezhnoi, M.K. Sagdatullin, A.A. Sachenkov
CALCULATION OF THE COMBINED
CONSTRUCTIONS BY FINITE ELEMENT METHOD
Keywords: family of transitive finite elements,
orthotropic, multi-layer.

In work the algorithm of construction of the combined finite element for definition of the stress-strain station of constructions essentially variable thickness is submitted. Calculation of an elevator the plane is resulted.

V.V. Druzhinin, L.A. Lobov, A.G. Sirotkina
DETERMINANT SIGN OF DIVISIBILITY
Keywords: function of divisibility, the sign of divisibility,
scale of notation, step, prime number, floor.

The new way of identification of divisibility of numbers is suggested in the article. This new way helps radically shorten calculations. The article is also dedicated to show the determinant function of divisibility which can be used to find the quotient of fraction and the remainder.

V.V. Vol'khin, L.S. Pan, E.A. Balabenko, O.I. Bahireva,
G.V. Leont'eva, N.B. Hodjashev
SYNTHESIS AND PROPERTIES OF COMPOSITE
SORBENTS ON THE BASIS OF MIXED COPPER-
POTASSIUM / POTASSIUM-ZINC
HEXACYANOFERRATE (II) AND BIOPOLYMERIC
MATRIX
Key words: cesium, algae, hexacyanoferrate complexes,
composite sorbents, sorption, distribution coefficient.

In the work results of studying a composition, a macrostructure (optical microscopy), a crystal structure (X-ray diffraction analysis) and sorption properties (distribution coefficient K_d for Cs^+ ions in the presence of Na^+/K^+ ions) of composite sorbents including inorganic component – $K_{0.36}Cu_{1.82}[Fe(CN)_6]$ or $K_{1.00}Zn_{1.50}[Fe(CN)_6]$, and organic one – algae *Cystoseira barbata*. Using Fourier transformed IR spectroscopy,

Cystoseira barbata. Методом ИК-Фурье спектроскопии идентифицированы функциональные группы биомассы водоросли, задействованные при синтезе композиционных сорбентов. Подтверждена селективность композиционного сорбента по отношению к ионам Cs^+ на фоне ионов Na^+ , K^+ .

А.К. Молодкин, Н.Я. Есина, М.Н. Курасова,
М.В. Тачаев

РАЗНОЛИГАНДНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ
СОЕДИНЕНИЯ Pd(II) С АМИНОКИСЛОТАМИ,
АДЕНИНОМ И ГИПОКСАНТИНОМ

Ключевые слова: палладий, комплексные соединения,
аденин, гипоксантин, аминокислота.

Взаимодействием водных растворов синтезированы координационные соединения:
[Pd(C₅H₄N₄O)(C₃H₆NO₂)]Cl, [Pd(C₅H₄N₄O)(C₄H₅NO₄)]Cl,
[Pd(C₅H₄N₄O)(C₆H₁₃N₂O₂)]Cl,
[Pd(C₅H₅N₅)(C₃H₆NO₂)]Cl, [Pd(C₅H₅N₅)(C₄H₅NO₄)]Cl,
[Pd(C₅H₅N₅)(C₆H₁₃N₂O₂)]Cl. Индивидуальность полученных соединений была установлена посредством химического, термогравиметрического анализа и РФА. Выделенные соединения охарактеризованы методами ЯМР, ИК, РФЭС-спектроскопии.

А.М. Юровский, А.В. Тарасов, Ю.А. Москвичев
СИНТЕЗ СУЛЬФАМИДНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ
ИМИДАЗО[2,1-*b*]ТИАЗОЛА И ИМИДАЗО[2,1-*b*][1,3,4]ТИАДИАЗОЛА НА ОСНОВЕ
3-(БРОМАЦЕТИЛ)БЕНЗОЛСУЛЬФАМИДОВ

Ключевые слова: α-бромкетоны, имидазотиазол,
имидазотиадиазол, сульфамиды.

В настоящей статье описывается общий метод синтеза новых 3-(имидазо[2,1-*b*]тиазол-6-ил)бензолсульфамидов и 3-(имидазо[2,1-*b*][1,3,4]тиадиазол-6-ил)бензолсульфамидов на основе реакции производных тиазола и тиадиазола с 3-(бромацетил)бензолсульфамидами различного строения.

В.В. Андреев, М.В. Турченко, А.А. Абрамов
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ С
ЦЕЛЬЮ ОБОБЩЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
ИНФОРМАЦИИ О ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В
ТРУБАХ

Ключевые слова: естественная циркуляция,
теплоноситель, гидравлическое сопротивление, число
Рейнольдса, ламинарное течение, турбулентное
течение.

В работе рассмотрена процедура преобразования экспериментальной информации о течении жидкости в каналах, выполняемая с целью получения обобщенных зависимостей для гидравлических характеристик технических систем широкого спектра. Рассмотрены причины, по которым происходит смещение критического числа Рейнольдса на гидравлических характеристиках, а также сложности, возникающие при попытках построения обобщенных зависимостей

functional groups of algae biomass which are involved in the process of synthesizing the composite sorbents are identified. A selectivity of the composite sorbent towards Cs^+ ions in the presence of Na^+/K^+ ions is confirmed.

A.K. Molodkin, N.Ja. Esina, M.N. Kurasova,
M.V. Tachaev

MIXED-LIGAND COMPLEXES OF Pd(II) WITH
AMINOACIDS, ADENINE AND HYPOXANTHINE

Key words: palladium, complex compounds, adenine,
hypoxanthine, aminoacid.

[Pd(C₅H₄N₄O)(C₃H₆NO₂)]Cl,
[Pd(C₅H₄N₄O)(C₄H₅NO₄)]Cl,
[Pd(C₅H₄N₄O)(C₆H₁₃N₂O₂)]Cl,
[Pd(C₅H₅N₅)(C₃H₆NO₂)]Cl, [Pd(C₅H₅N₅)(C₄H₅NO₄)]Cl,
[Pd(C₅H₅N₅)(C₆H₁₃N₂O₂)]Cl were synthesized by interaction of water solution. Identity of these compounds was determined by means of chemical and thermogravimetric analysis and X-Ray diffraction. Compounds obtained were studied and characterized by NMR, IR- and XPS-spectroscopy.

А.М. Юровский, А.В. Тарасов, Ю.А. Москвичев
SYNTHESIS OF THE SULFONAMIDE
DERIVATIVES OF THE IMIDAZO[2,1-*b*]THIAZOLE
AND IMIDAZO[2,1-*b*][1,3,4]THIADIAZOLE FROM
THE 3-

(BROMOACETYL)BENZENESULFONAMIDES

Keywords: α-bromo ketones, imidazothiazole,
imidazothiadiazol, sulfonamides.

This paper describes the general method of synthesis of the novel 3-(imidazo[2,1-*b*]thiazol-6-yl)benzenesulfonamides and 3-(imidazo[2,1-*b*][1,3,4]thiadiazol-6-yl)benzenesulfonamides, based on the reaction of thiazole and thiadiazole derivatives with various 3-(bromoacetyl)benzenesulfonamides.

В.В. Андреев, М.В. Турченко, А.А. Абрамов
THE HYDRAULIC RESISTANCE
CHARACTERISTICS TRANSFORMATION FOR
GENERALIZATION OF THE FLOW FLUID IN
PIPES EXPERIMENTAL INFORMATION

Keywords: natural circulation, the heat-carrier,
hydraulic resistance, Reynolds number, laminar flow,
turbulent flow.

In the present work the conversion procedure of experimental data on the flow of fluid in the canals, performed in order to obtain generalized relationships for the hydraulic characteristics of a wide range of technical systems. The reasons for which there is a shift of the critical Reynolds numbers in the hydraulic characteristics, as well as the difficulties encountered when trying to build generalized dependencies of this kind. We present estimates of the parameters obtained by the generalized dependence of the above hydraulic characteristics. The data were obtained by processing a

подобного рода. Представлены оценочные параметры полученной обобщенной зависимости приведенных гидравлических характеристик. Данные результаты получены на основе обработки ограниченного объема экспериментальных данных и данных, опубликованных в литературе.

В.Ф. Беккер, М.Г. Гребенева
АНКЕТИРОВАНИЕ СОТРУДНИКОВ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В
УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Ключевые слова: качество продукции, управление качеством, анкетирование, управляющие воздействия, демотиваторы.

Рассматривается человеческий фактор как управляющее воздействие в управлении качеством продукции крупного химического предприятия. Показаны этапы формирования информационной основы такого управления – планирование, методика проведения, получение и анализ результатов анкетирования работников, а также способы получения управляющих воздействий, последовательно и непрерывно реализуемых персоналом в системе менеджмента качества

И.А. Бируля
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ СТАНКОВ С
ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ

Ключевые слова: Теплофизические факторы; станки с параллельной кинематикой; точность.

В статье рассмотрены теплофизические факторы обеспечения заданной точности станков с параллельной кинематикой. Показано, что теплофизические факторы становятся особенно значимыми для высокоточных станков. В то же время должен быть обеспечен определенный баланс факторов точности, надежности и эффективности.

А.П. Буйнов
ПРИМЕНЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО СОСТАВА
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ ДО
ОБТОЧКИ КОЛЕСНЫХ ПАР
ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Ключевые слова: электровоз, электропоезд, колесная пара, бандаж, износ, триботехнический состав, обточка, ресурс.

Представлены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния применения триботехнического состава НИОД на повышение ресурса бандажей до обточки колесных пар электровозов и моторных вагонов электропоездов. Выполнен сравнительный анализ долговечности бандажей колесных пар обработанных и необработанных триботехническим составом.

limited amount of experimental data and the data published in the literature.

V.F. Bekker, M.G. Grebeneva
INTERVIEW DEBRIEFING OF STAFF INDUSTRIAL
FIRM IN QUALITY MANAGEMENT INDUSTRIAL
ENTERPRISES

Key words: quality, quality management, questioning, demote controlling influence.

We consider the human factor as the control action in the management of product quality of a large chemical company. The stages of forming the basis of the information management – planning, methods of, obtaining and analyzing the results of questioning of employees, as well as ways to get control actions, consistently and continuously implemented personnel in quality management system.

I.A. Birulya
THERMOPHYSICAL FACTORS TO ENSURE A
GIVEN PRECISION MACHINE TOOLS WITH
PARALLEL KINEMATICS

Keywords: Thermal factors, machine tools with parallel kinematics, accuracy.

The thermal factors are given to ensure the accuracy of machine tools with parallel kinematics. It is shown that thermal factors are particularly important for high-precision machine tools. At the same time, should be provided with a balance of factors of accuracy, reliability, and efficiency.

A.P. Buinsov
TRIBOTEKHNIЧЕСKY'S APPLICATION OF
STRUCTURE FOR INCREASE OF THE RESOURCE
OF BANDAGES BEFORE TURNING OF WHEEL
PAIRS OF ELECTROROLLING STOCK

Key words: electric locomotive, electric train, wheel pair, bandage, wear, tribotekhnicheskyy structure, turning, resource.

Results of pilot studies are presented according to influence of application of tribotekhnicheskyy structure of NIOD on increase of a resource of bandages before turning of wheel pairs of electric locomotives and motor cars of electric trains. The comparative analysis of durability of bandages of wheel pairs processed and raw by tribotekhnicheskyy structure is made.

А.П. Буйносов, А.М. Кислицын
ИЗМЕРЕНИЕ И ВЫЧИСЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ
ЛОКОМОТИВА

Ключевые слова: локомотив, движение, колесная пара, параметры, измерение.

В статье описано измерение с помощью неконтактных ультразвуковых датчиков и вычисления параметров колесной пары при использовании автоматической измерительной системы при движении локомотива.

A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn
MEASUREMENT AND CALCULATION OF
PARAMETERS OF WHEEL PAIR AT LOCOMOTIVE
MOVEMENT

Key words: the locomotive, movement, wheel pair, parameters, measurement.

In article measurement by means of not contact ultrasonic sensors and calculation of parameters of wheel pair when using automatic measuring system at locomotive movement is described.

А.П. Буйносов, Д.Ю. Козаков
РАЗРАБОТКА СХЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ЗАРЯДКИ
АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА
ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ С РЕОСТАТНЫМ
ТОРМОЖЕНИЕМ

Ключевые слова: электропоезд, реостатное торможение, аккумуляторная батарея, схема зарядки, стабилизация.

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

A.P. Buinosov, D.Y. Kozakov
DEVELOPMENT OF THE SCHEME OF
STABILIZATION OF THE CHARGING OF
STORAGE BATTERIES ON ELECTRIC TRAINS
WITH RHEOSTATIC BRAKING

Key words: electric train, rheostatic braking, storage battery, charging scheme, stabilization.

In article the most significant operating conditions of the storage batteries, new perspective development are considered, the problem solution on stabilization of a charging of storage batteries on electric trains of a direct current with rheostatic braking is found.

А.П. Буйносов, И.М. Пышный
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ
ГРЕБНЕСМАЗЫВАНИЯ АГС-8 НА
ПРОМЫШЛЕННОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ
ТРАНСПОРТЕ

Ключевые слова: тепловоз, колесная пара, бандаж, гребнесмазыватель, блок, анализ, результаты.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по оценке применения системы АГС-8. Показана ее эффективность только после применения разработанного в УрГУПС блока автоматического управления системой гребнесмазывания бандажей колесных пар тепловозов на железнодорожном транспорте необщего пользования.

A.P. Buinosov, I.M. Pishniy
RESULTS OF APPLICATION OF SYSTEM OF
GREBNESMAZYVANY AGS-8 ON INDUSTRIAL
RAILWAY TRANSPORT

Key words: locomotive, wheel pair, bandage, grebnesmazyvatel, block, analysis, results.

In article results of pilot studies on estimates of application of AGS-8 system are presented. Its efficiency only after use of the block of automatic control developed in USURT by system of a grebnesmazyvaniye of bandages of wheel pairs of locomotives on railway transport of uncommon using is shown.

А.П. Буйносов, В.А. Тихонов
ОПТИМИЗАЦИЯ ОСТАТОЧНОГО ПРОКАТА
БАНДАЖЕЙ ПРИ ОБТОЧКЕ КОЛЕСНЫХ ПАР
ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ11

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, износ, обточка, остаточный прокат, ресурс.

В статье изложены методика и результаты экспериментальных исследований выбора оптимального остаточного проката бандажей исходя из критерия максимального ресурса до обточки колесных пар электровозов ВЛ11 в ремонтном локомотивном депо Пермь.

A.P. Buinosov, V.A. Tikhonov
OPTIMIZATION OF RESIDUAL HIRE OF
BANDAGES WHEN TURNING WHEEL PAIRS OF
ELECTRIC LOCOMOTIVES VL11

Keywords: electric locomotive, wheel pair, bandage, wear, turning, residual hire, resource.

In article the technique and results of pilot studies of a choice of optimum residual hire of bandages proceeding from criterion of the maximum resource before turning of wheel pairs of electric locomotives VL11 in repair locomotive depot Perm are stated.

Р.Н. Габдрахманов, А.А. Кетов, В.С. Корзанов
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ
ХЛОРАТА, БРОМАТА И ЙОДАТА КАЛИЯ ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА ПЕРХЛОРАТА, ПЕРБРОМАТА И
ПЕРИОДАТА КАЛИЯ

Ключевые слова: хлорат, бромат, йодат калия;
термическое разложение, термическая диссоциация,
технология.

Доказано, что технология получения перхлората, пербромата и периодата калия не может быть основана на термическом диспропорционировании соответствующих солей NaI (+5). Представлены результаты термического поведения хлората, бромата и йодата калия, полученные при помощи дифференциальной сканирующей калориметрии комбинированной с термогравиметрическим анализом. Исходя из полученных термограмм, предложена общая схема термического разложения данных солей.

А.М. Гирфанов, Д.В. Неделько
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОЛОЗКОВОГО
ШАССИ ВЕРТОЛЕТА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ
СЕТИ

Ключевые слова: Вертолет, ползковое шасси,
имитационное моделирование, нейронная сеть.

Разработан алгоритм построения нейронной сети для формирования имитационной модели ползкового шасси применительно к решению задачи расчета управляемой посадки вертолета. Исследовано влияние топологии нейронной сети на точность моделирования реакций ползкового шасси при посадке на твердую гладкую поверхность. Показана практическая применимость и достоверность разработанной имитационной модели.

М.А. Донченко, Ю.Н. Журавлёв, М.С. Шерстюков
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА СИСТЕМУ «РОЛИК
РОМБОИДА-КУЛАЧОК» РОТОРНО-ЛОПАСТНОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ВНЕШНИМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ
В РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА

Ключевые слова: внешний подвод теплоты, кулачок,
реакции.

В данной статье рассматривается режим холостого хода работы двигателя, определена зависимость нагрузок от угла поворота выходного вала, действующих на систему «ролик ромбоида-кулачок».

А.В. Дорошенко
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВЫХ
ПОТОКОВ ВОКРУГ ЖИВОЙ ИЗГОРОДИ

Ключевые слова: численное моделирование, натурные
испытания, аэродинамика, живая изгородь, пористая
область.

В работе описаны результаты численного моделирования ветровых потоков вокруг живой изгороди. Модель представлена как изотропная пористая область и основывается на уравнении потери импульса. Приведены результаты натурных

R.N. Gabdrakhmanov, A.A. Ketov, V.S. Korzanov
RESEARCH OF THERMAL BEHAVIOUR OF
POTASSIUM CHLORATE, BROMATE AND
IODATE

Keywords: potassium chlorate, bromate, iodate; thermal
decomposition, thermal dissociation.

The thermal behavior of potassium chlorate, bromate and the iodate, gained by means of a differential scanning calorimetry combined with thermogravimetric analysis is introduced. The common thermal decomposition scheme of these salts is proposed according the thermal data.

A.M. Girfanov, D.V. Nedelko
A SIMULATION MODEL OF HELICOPTER SKID
LANDING GEAR BASED ON NEURAL NETWORK

Keywords: helicopter, skid landing gear, simulation,
neural network.

An algorithm for constructing a neural network simulation model for the formation of skid landing gear in relation to the problem of calculating a controlled landing of a helicopter. The effect of neural network topology on the accuracy of modeling reactions skid landing gear when landing on a hard smooth surface. Shows the practical applicability and reliability of the developed simulation model.

M.A. Donchenko, Y.N. Zhuravlev, M.S. Sherstyukov
DEFINITION OF LOADS OF SYSTEM «THE
RHOMBOID ROLLER-THE CAM» THE ROTARY
BLADE-ENGINE WITH AN EXTERNAL HEAT
SUPPLY

Key words: external supply of warmth, cam, reactions.

In this paper starting power setting is considered and dependence of the loadings operating on system «rhomboid cam roller», on an angle of rotation of a target shaft is defined.

A.V. Doroshenko
NUMERICAL SIMULATION OF WIND FLOWS
AROUND THE HEDGE

Keywords: numerical simulation, field testing,
aerodynamics, hedge, porous region.

This paper describes the results of numerical simulation of wind flows around the hedge. The model is represented as an isotropic porous region and builds on the momentum equation. The results of field tests of simulated hedge are represented. The loss coefficient at which the discrepancy between the results of numerical

испытаний моделируемой живой изгороди. Подобран коэффициент потери, при котором расхождение результатов численного моделирования и натурных испытаний минимально.

С.Х. Загидуллин, Е.Н. Ненасhev, Ф.М. Кузнецов,
В.Л. Долганов

ГРАНУЛИРОВАНИЕ ПЫЛЕВИДНЫХ ФРАКЦИЙ ФЛОТАЦИОННОГО ХЛОРИСТОГО КАЛИЯ МЕТОДОМ ОКАТЫВАНИЯ

Ключевые слова: пылевидный хлористый калий, гранулирование, смачиваемость, поверхностно-активные вещества, метод окатывания.

Проведены экспериментальные исследования процесса гранулирования пылевидного хлористого калия методом окатывания со связующими добавками в различных типах грануляторов. Изучены основные физико-химические и физико-механические характеристики получаемых гранул. Результаты исследований могут быть использованы для проектирования опытно-промышленной грануляционной установки.

Н.С. Захаров, В.Г. Логачев, В.А. Тюлькин,
И.В. Яблочкин

ВЛИЯНИЕ ОСАДКОВ НА СКОРОСТНОЙ РЕЖИМ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО МАГИСТРАЛЬНЫМ ДОРОГАМ

Ключевые слова: средняя скорость движения автомобилей, атмосферно-климатические условия, атмосферные осадки, влияние условий эксплуатации.

В работе рассматривается вопрос влияния факторов атмосферно-климатических условий на скорость движения автомобилей. Для описания распределения скорости автомобиля при движении по магистральным дорогам предложен ТР-закон.

Н.С. Захаров, В.Г. Логачев, В.А. Тюлькин,
И.В. Яблочкин

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА НА СКОРОСТНОЙ РЕЖИМ ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЕЙ ПО МАГИСТРАЛЬНЫМ ДОРОГАМ

Ключевые слова: средняя скорость движения автомобилей, температура окружающего воздуха, влияние условий эксплуатации.

В работе рассматривается вопрос влияния температуры окружающего воздуха на скорость движения автомобилей. Для описания влияния температуры окружающего воздуха на скорость движения автомобиля предложен квадратичный вид математической модели.

А.М. Игнатова, А.О. Артемов, С.В. Наумов
ИНФОРМАТИВНОСТЬ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМ
ОЦЕНКИ И ВЫБОРА ПЕТРУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Ключевые слова: Петрургия, каменное литье, оценка сырья, характеристика петрургических расплавов, требования к петрургическому сырью.

simulations and field tests are minimal is obtained.

S.H. Zagidullin, E.N. Nenashev, F.M. Kuznetsov,
V.L. Dolganov

GRANULATION OF PULVERULENT FRACTIONS POTASSIUM CHLORIDE FLOTATION BY METHOD OF PELLETIZATION

Key words: pulverulent potassium chloride, granulation, wettability, surface-active substances, method of pelletization.

Experimental study of the granulation process of pulverulent fractions potassium chloride the method of pelletization with binding additives depending in various type granulators was carried out. We studied the basic physical, chemical and physico-mechanical properties of pellets produced. Results of researches can be used for design of experimental-industrial granulation plant.

N.S. Zakharov, V.G. Logachev, V.A. Tyulkin,
I.V. Yablochkin

INFLUENCE OF THE PRECIPITATION ON THE HIGH-SPEED MODE OF CARS WHILE DRIVING ON TRUNK ROADS

Keywords: average car speed, atmospheric and climatic conditions, rainfall, the influence of service conditions.

This paper discusses the influence of factors of atmospheric and climatic conditions on the car speed. To describe the distribution of car speed when driving on major trunk routes the TP-law was proposed.

N.S. Zakharov, V.G. Logachev, V.A. Tyulkin,
I.V. Yablochkin

INFLUENCE OF AIR TEMPERATURE ON THE HIGH-SPEED MODE OF CARS WHILE DRIVING ON TRUNK ROADS

Keywords: average car speed, air temperature, the influence of service conditions.

This paper discusses the influence of air temperature on the car speed. To describe the influence of air temperature on the car speed a quadratic form of the mathematical model was proposed.

A.M. Ignatova, A.O. Artemov, S.V. Naumov
ALGORITHM AND INFORMATIVE METHOD OF
EVALUATION AND SELECTION PETRURGICAL
RAW

Keywords: Petrurgiya, stone molding, evaluation of raw materials, characterization petrurgical melts, the requirements for raw materials petrurgical.

В работе представлены результаты изучения современных методов оценки петругического сырья, предложен алгоритм наиболее информативной оценки, сформулирован полный перечень требований к петругическому сырию.

А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов, А.Н. Шаманов,
А.В. Коврижных, А.В. Канина, А.И. Черняев
КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ВКЛЮЧЕНИЙ В СТАЛИ 09Г2С НА РАЗНЫХ
ЭТАПАХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПЕРЕДЕЛА

Ключевые слова: неметаллические включения, сталь, металлургический передел.

В работе представлены результаты изучения качественных изменений неметаллических включений в стали на всех этапах получения заготовки от переплава металлома до получения проката.

С.В. Лановецкий, О.Р. Середкина, В.З. Пойлов,
А.А. Кетов
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ОБЕССУЛЬФАЧИВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО
РАСТВОРА НИТРАТА МАГНИЯ

Ключевые слова: раствор нитрата магния, сульфаты, гидроксид бария, нитрат бария.

Проведены исследования по очистке технического раствора нитрата магния от ионов SO_4^{2-} соединениями бария в лабораторных и промышленных условиях. Показано, что для повышения эффективности очистки растворов от сульфат-ионов соединения бария следует вводить в раствор азотной кислоты на стадии приготовления водоотнимающей добавки.

С.В. Лановецкий, А.Г. Старостин, В.З. Пойлов
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ
ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ
ТЕРМОРАЗЛОЖЕНИЯ РАСТВОРОВ НИТРАТА
МАРГАНЦА

Ключевые слова: нитрат марганца, диоксид марганца, термическое разложением, танталовая подложка.

Исследован процесс термического разложения растворов нитрата марганца на танталовой подложке. Установлено влияние концентрации раствора, скорости нагрева, поверхностно-активного вещества, затравочных кристаллов на формирование структуры пленки диоксида марганца.

А.М. Макеев, А.Н. Кролевец
ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ К
ЗАДАЧЕ ПОИСКА ПЛОСКОСТЕЙ
ГРУППИРОВАНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Ключевые слова: алгоритм, моделирование, распределенные параллельные вычисления, кластер, группирование гипоцентров.

Разработан алгоритм и реализующая его

The paper presents the results of a study of modern methods of evaluation petrurgical raw materials, the algorithm estimates the most informative, formulated a complete list of requirements for raw materials petrurgical.

A.M. Ignatova, M.N. Ignatov, A. N. Shamans,
A.V. Kovrizhnykh, A.V. Kanin, A.I. Chernyaev
QUANTITATIVE AND QUALITATIVE
CHARACTERISTICS OF NONMETALLIC
INCLUSIONS IN STEEL 09G2S AT DIFFERENT
STAGES OF METALLURGICAL

Key words: non-metallic inclusions, steel, metallurgical.

The paper presents the results of a study of qualitative changes of non-metallic inclusions in steel at all stages of receipt of the melting metal scrap piece to get rolling.

S.V. Lanovetskiy, O.R. Seredkina, V.Z. Poiylov,
A.A. Ketov
STUDY OF THE CLEANING PROCESS THE
MAGNESIUM NITRATE TECHNICAL SOLUTION
TO SULPHATE

Key words: magnesium nitrate solution, sulphate, barium hydroxide, barium nitrate.

The study of purification magnesium nitrate technical solution from ions SO_4^{2-} barium compounds in the laboratory and industrial conditions have been carried out. It is shown that to increase the effectiveness of cleaning solutions on the sulfate ion barium compounds should be added to nitric acid solution in the preparation stage dehydrating supplement.

S.V. Lanovetskiy, A.G. Starostin, V.Z. Poiylov
FEATURES OF THE FILM COATING STRUCTURE
AS A RESULT THERMAL DECOMPOSITION OF
MANGANESE NITRATE SOLUTION

Key words: manganese nitrate, manganese dioxide, thermal decomposition, tantalum substrate.

The thermal decomposition process of manganese nitrate solutions on a tantalum substrate has been studied. The influence of solution concentration, heating rate, surface-active substances, seed crystals on the formation film structure of manganese dioxide has been determined.

A.M. Makeev, A.N. Krolevets
CLUSTER TECHNOLOGY APPLICATION TO THE
PROBLEM OF REVEALING THE EARTHQUAKE
HYPOCENTERS GROUPING PLANES

Keywords: algorithm, simulation, distributed parallel computing, cluster, hypocenters grouping.

The algorithm and its computer program implementation developed, based on the cluster architecture. The program allows searching planes of earthquake

компьютерная программа, основанная на кластерной архитектуре. Программа позволяет осуществлять поиск плоскостей группирования гипоцентров землетрясений, распределяя вычисления по потокам в пределах одного компьютера или на компьютерах в локальной вычислительной сети.

Н.В. Медведев, С.С. Титов

БИНАРНЫЕ ПОЧТИ ПОРОГОВЫЕ МАТРОИДЫ

Ключевые слова: матроиды, циклы, схемы разделения секрета, коды Рида-Маллера.

В статье рассматривается задача описания класса бинарных почти пороговых матроидов. Установлена связь таких матроидов с кодами Рида-Маллера первого порядка. Представлены бесконечные серии бинарных почти пороговых матроидов. Даны конкретные примеры таких матроидов.

Ш.М. Мерданов, А.В. Яркин, Ф.Д. Шараев,
А.Н. Шуваев

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ ГИДРОПРИВОДА СТРОИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Ключевые слова: эксплуатация техники в зимних условиях, предпусковая подготовка, гидропривод.

В статье представлен анализ особенностей эксплуатации гидрофицированных строительных машин, проведен обзор существующих средств обеспечения работы гидропривода в условиях низких отрицательных температур, представлены перспективные пути решения возникающих проблем.

О.Г. Морозов, А.А. Талипов, А.А. Федоров,
М.Р. Нургазизов, Т.С. Садеев

ИЗМЕРЕНИЕ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ С ПОМОЩЬЮ ДВУХЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Ключевые слова: мгновенная частота, двухчастотный метод, ВРБ.

В работе представлен новый двухчастотный метод нахождения мгновенной частоты и амплитуды неизвестных СВЧ-сигналов. Использование специфики взаимодействия двухчастотного излучения и ВРБ (волоконной решетки Брэгга) с фазовым π -сдвигом позволило получить измерительные характеристики, не зависящие от энергетических флуктуаций оптической несущей и СВЧ-сигнала, и снижение погрешностей измерений, вызванных температурной нестабильностью спектральных характеристик используемых элементов.

С.В. Наумов, А.М. Игнатова

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ СВАРКЕ В СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Ключевые слова: минеральное сырье, отходы горного производства, термический анализ, габбро-диабаз, базальт, горнблендит, жидкое стекло, синтетический минеральный сплав.

hypocenters grouping, with the help of distributed computing threads within a single computer as well as on computers in a local area network.

N.V. Medvedev, S.S. Titov

BINARY ALMOST-THRESHOLD MATROIDS

Keywords: matroids, cycles, secret sharing schemes, Reed-Muller codes.

The article deals with the problem of describing class of binary almost-threshold matroids. A connection of matroids with the Reed-Muller codes of order one is established. Infinite series of binary almost-threshold matroids is presented. Some specific examples are given.

S.M. Merdanov, A.V. Yarkin, F.D. Sharaev,
A.N. Shuvaev

OPERATION OF THE HYDRAULIC EQUIPMENT OF CONSTRUCTION MACHINES IN THE LOW TEMPERATURE CONDITIONS

Key words: operation in winter conditions, prestart heating for hydraulic.

The article presents the analysis of peculiarities of operation for hydraulic constructions machines, review of the existing means to work of hydraulic at low subzero temperatures, promising ways of solving problems.

O.G. Morozov, A.A. Talipov, A.A. Fedorov,
M.R. Nurgazizov, T.S. Sadeev

INSTANTANEOUS FREQUENCY MEASUREMENT USING DOUBLE-FREQUENCY PROBING

Keywords: instantaneous frequency, double-frequency method, FBG.

This paper presents a new double-frequency method for the instantaneous frequency and amplitude measurement of unknown microwave signal. Using the specific interaction of double-frequency radiation and FBG (fiber Bragg grating) with a π phase shift allowed us to obtain measuring characteristics, that are independent of the energy fluctuations of the optical carrier and the microwave signal, and reduce measurement accuracy caused by temperature instability of the spectral characteristics of used elements.

S.V. Naumov, A.M. Ignatova

STUDY OF PHYSICOCHEMICAL PROCESSES OCCURRING DURING WELDING WELDING MATERIALS ON THE BASIS OF MAN-MADE UNITS

Keywords: technological education, minerals, mining waste, thermal analysis, differential scanning calorimetry, gabbro-diabase, basalt, hornblende, liquid glass, synthetic mineral alloy.

Исследованы физико-химические процессы в обмазке электродов на основе мономинеральной шихты, происходящие в процессе сварки.

Our studies determined the phase composition and characteristics of man-made structures of mining companies and their mixtures with liquid crystal in the electrode coating, using thermal and X-ray diffraction analysis from room temperature to 1400 °C temperature range. The obtained results allow to evaluate the impact of hydroxides and the process of passivation of the electrode coating on ignition mixture screenings gabbro-diabase with liquid glass and the formation of new phases, which is necessary for improving the quality of coated electrodes and reduce the influence of hydrogen on the weld metal.

Б.Е. Недбайлюк, С.А. Антонов, И.И. Антонова
ВОВЛЕЧЕНИЕ РАБОТНИКОВ В ПОСТОЯННОЕ
УЛУЧШЕНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА
КАЧЕСТВА

Ключевые слова: системы менеджмента качества, вовлечение работников.

В статье изложены результаты анализа моделей системы менеджмента качества, требования стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2008 и рекомендации стандарта ГОСТ Р ИСО 9004-2010 по влечению работников в постоянное улучшение системы менеджмента качества.

B.E. Nedbailuk, S.A. Antonov, I.I. Antonova
DRAWING OF EMPLOYERS INTO CONSTANT
IMPROVEMENT OF QUALITY MANAGEMENT
SYSTEM

Quality management system's, drawing of employers

In the article there are results of quality management system's models' analysis, requirements of ISO 9001-2008 standard and ISO 9004-2010 standard's recommendations for drawing of employers into constant improvement of quality management system.

Б.Е. Недбайлюк, С.А. Антонов, И.И. Антонова
ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ
ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ
И ПРОЦЕССОВ В НЕПРЕРЫВНОМ
ПРОИЗВОДСТВЕ

Ключевые слова: непрерывные процессы производства, контроль качества.

В статье изложены основные принципы организации процесса контроля качества производственных процессов и продуктов, виды, объекты и цели контроля.

B.E. Nedbailuk, S.A. Antonov, I.I. Antonova
MAIN PRINCIPLES OF DEVELOPMENT OF
PRODUCT QUALITY CONTROL PROCESS AND
PROCESSES IN CONTINUING PRODUCTION
Continuing processes of production, quality control.

In the article there are main principles of organization of industrial processes' and products quality control process, types, objects and aims of control.

О.Е. Нисина, С.Г. Козлов, С.В. Лановецкий,
О.К. Косвинцев
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТЛОЖЕНИЯ
СОЛЕЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ
ОБОРУДОВАНИИ

Ключевые слова: Солеотложение, карбонат кальция, гидроксид калия, гидроксид натрия, шероховатость.

Исследовано влияния различных реагентов на интенсивность отложения труднорастворимых солей на внутренних поверхностях технологического оборудования. Установлено влияние на удельную величину инкрустации шероховатости поверхности используемого материала и марки стали.

O.E. Nisina, S.G. Kozlov, S.V. Lanovetskiy,
O.K. Kosvintsev
STUDY OF SALT DEPOSITS FOR PROCESS
EQUIPMENT

Key words: scale, calcium carbonate, potassium hydroxide, sodium hydroxide, roughness.

The effect of various reagents on the rate of sparingly soluble salts on the inside surfaces of process equipment. The influence of surface roughness and steel grade on the specific value of inlays has been determined.

П.О. Новиков
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ключевые слова: оценка эффективности, железные дороги, модель.

P.O. Novikov
ESTIMATION OF EFFICIENCY OF RAIL
TRANSPORT OF THE RUSSIAN FEDERATION
Keywords: estimation of efficiency, railways, model.

This article uses stochastic frontier analysis to estimate the effectiveness of the rail industry of the Russian

В данной статье используется стохастический граничный анализ для оценки эффективности железнодорожной отрасли Российской Федерации. Железная дорога рассматривается как система, которая использует инфраструктуру (длина путей, количество вагонов (грузовых и пассажирских), численность персонала), а также величина рынка для осуществления перевозок грузов и пассажиров.

Н.Э. Поликарпова, Е.В. Фоменко, А.Х.-Х. Нугманов,
М.А. Никулина

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКОВ КЛИЕНТОВ НА БАЗЕ УСТАНОВИВШИХСЯ СИСТЕМНЫХ СВЯЗЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ

Ключевые слова: поток клиентов, системный анализ процессов, математическая модель, оптимизация ингредиентов.

Работа посвящена анализу процессов при формировании потоков клиентов предприятий общественного питания. Представлена математическая модель функционирования предприятий питания на основе анализа системных связей между технологией, ассортиментной политикой, прибылью и потоком клиентов. Предложен алгоритм оптимизации ингредиентов по критерию минимума стоимости.

Д.Г. Рандин

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ С УПРАВЛЯЕМЫМ ДЕМПФЕРОМ

Ключевые слова: система виброзащиты, управляемый демпфер, динамические характеристики, отрицательная обратная связь, желаемые логарифмические частотные характеристики, синтез регулятора.

Исследованы динамические характеристики системы виброзащиты с управляемым демпфером. На основе желаемых логарифмических частотных характеристик активной системы виброзащиты с отрицательной обратной связью по скорости и исполнительным элементом в виде управляемого демпфера произведен синтез корректирующего устройства и показана его эффективность.

А.А. Свиридов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУМЕРНОГО ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ КОМПРЕССИИ АУДИО

Ключевые слова: аудио, компрессия, двумерное дискретное вейвлет-преобразование, кодек.

В работе предлагается подход к компрессии аудио, заключающийся в применении двумерного дискретного вейвлет-преобразования к двумерному представлению исходного аудио сигнала. Сначала описывается способ такого представления, приводятся некоторые его свойства, затем рассматривается обработка данных. Проводится анализ работы экспериментального кодека, написанного в математическом пакете MATLAB.

Federation. The railway is considered as a system that uses the infrastructure (length of track, the number of wagons (freight and passenger), staff etc.), as well as the market size for freight and passengers transportations.

N.E. Polykarpova, E.V. Fomenko, A.H.-H. Nugmanov,
M.A. Nikulina

FEATURES OF FORMATION OF STREAMS OF CLIENTS ON THE BASIS OF THE ESTABLISHED SYSTEM COMMUNICATIONS IN TECHNOLOGY OF PUBLIC CATERING

Keywords: stream of clients, the system analysis of processes, mathematical model, optimization of components.

This paper presents the analysis of processes at formation of streams of clients of public catering establishments. The mathematical model of functioning of the enterprises of a food on the basis of the analysis of system communications between technology, Policy of assortment, profit and a stream of clients is presented. The algorithm of optimization of components by criterion of a minimum of cost is offered.

D.G. Randin

THE RESEARCH OF ACTIVE VIBRATION ISOLATION SYSTEM WITH CONTROLLED DAMPER

Key words: vibration isolation system, controlled damper, dynamic characteristics, negative feedback loop, frequency-response characteristics, regulator synthesis.

The article deals with the dynamic characteristics of vibration isolation system. The corrector synthesis on the basis of frequency-response characteristics of active vibration isolation system with negative feedback loop for vibration speed and actuator in the form controlled damper regulator is done, its efficiency being shown.

A.A. Sviridov

USING TWO-DIMENSIONAL DISCRETE WAVELET TRANSFORM FOR COMPRESSING AUDIO

Keywords: audio, compression, two-dimensional discrete wavelet transform, codec.

The approach for compressing audio using two-dimensional discrete wavelet transform of two-dimensional audio signal representation is proposed in this paper. Firstly the method of two-dimensional representation is given, some of its properties are listed, then the transformation of the data is under consideration. The analysis of the test codec written in MATLAB are given.

И.А. Стотланд
МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЕРИФИКАЦИИ
МОДУЛЕЙ СИСТЕМНОГО ОБМЕНА
МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ
КОМПЛЕКСОВ

Ключевые слова: микропроцессор, динамическая верификация, модуль системного обмена, TLM, эталонная модель.

В статье введено понятие модулей системного обмена (МСО) микропроцессорных вычислительных комплексов. Предложена формальная модель МСО, на основе которой разработан метод динамической верификации МСО с применением функциональных эталонных моделей уровня транзакций. Обоснована архитектура тестовой системы и ее основные компоненты.

В.А. Тихонов, С.В. Лановецкий, В.З. Пойлов,
А.А. Кетов
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ОКСИДА ТИТАНА МЕТАЛЛАМИ ВТОРОЙ
ГРУППЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: Оксид титана, высокодисперсные титановые порошки, металлотермическое восстановление.

Проведены исследования получения высокодисперсных порошков титана по технологии кальцигидротермического и магнийтермического восстановления оксида титана. Установлено влияние температуры, времени изотермической выдержки, соотношения компонентов и вида восстановителя на размер и качество синтезируемых частиц титановых порошков.

Э.В. Урывский
ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ АЛГОРИТМА
СИСТЕМЫ ТРЕХМЕРНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ
СЦЕН ОКРУЖЕНИЯ

Ключевые слова: компьютерное зрение, анализ, алгоритм реконструкции, оценка.

Анализируется предложенный ранее алгоритм автоматического трехмерного моделирования окружающих объектов. Дается оценка и обоснование алгоритма. Практическое значение исследования состоит в показе взаимосвязи скорости и качества обработки потока изображения для реконструкции трехмерной сцены и характера ее оптимизации с учетом индивидуальных особенностей алгоритма.

В.С. Фанасков, Ю.А. Степанов
РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА БАЗЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ
Ключевые слова: ГИС, архитектура ГИС, технологии ГИС, программное обеспечение ГИС, специализированное программное обеспечение.

В статье описаны типовые модели архитектуры специализированного программного обеспечения на базе ГИС-технологий и сформулированы принципы их

I.A. Stotland
AN APPROACH TO SIMULATION-BASED
VERIFICATION OF INTERCONNECTION
MODULES OF MICROPROCESSOR COMPUTER
SYSTEMS

Keywords: microprocessor, simulation-based verification, interconnection module, TLM, golden model.

In this paper interconnection modules (IMs) of microprocessors introduced. Formal model of IMs is described. Novel approach to simulation-based verification of IMs is developed. Test system architecture using transaction level model is proposed and justified. The results of practical implementation of the discussed approach are also provided.

V.A. Tihonov, S.V. Lanovetskiy, V.Z. Poiylov,
A.A. Ketov
STUDY OF THE TITANIUM OXIDE REDUCTION
METAL TWO GROUPS OF THE PERIODIC TABLE
Key words: titanium oxide, finely dispersed titanium powder, metallothermal reduction.

The study of recovery highly dispersed titanium powders on calciumhydridethermal and magnesiumthermal reduction of titanium oxide technology have been carried out. The influence of temperature, time of isothermal holding, the ratio of the components and the reducing agent type on the size and quality synthesized particles of titanium powders has been determined.

E.V. Uryvskiy
ALGORITHM ANALYSIS OF THREE-
DIMENSIONAL RECONSTRUCTION OF SCENES
ENVIRONMENT

Keywords: computer vision, 3D-scene, reconstruction algorithm, segmentation.

Analysis of A new algorithm of automatic 3D modeling of the surrounding objects given before is offered. An estimate and justification of the algorithm is given. The practical significance of the research is to show the relationship of speed and quality of the image processing for reconstructing 3D scene and the character of its optimization to suit the individual features of the algorithm.

V.S. Fanaskov, Y.A. Stepanov
DEVELOPMENT ARCHITECTURE OF
SPECIALIZED GIS SOFTWARE
Keywords: GIS, GIS architecture, GIS technology, GIS software, specialized software.

This article describes the typical architecture of a model of specialized software based on GIS technology and formulated the principles of their construction. The author 's architecture. The advantages and disadvantages of the developed architecture,

построения. Предложена авторская архитектура. Описаны преимущества и недостатки разработанной архитектуры.

А.А. Фардеев

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ОБЪЕМОМ НАСОСА
МАНИПУЛЯТОРА, ИСПОЛЪЗУЕМОГО В
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ КОВКИ
ЗАГОТОВОК

Ключевые слова: ковка, манипулятор,
автоматизированная система управления, рабочий
объем насоса, математическая модель.

В работе предлагается ввести в существующий технологический процесс ковки заготовок манипулятор. Разработана автоматизированная система управления рабочим объемом насоса рассматриваемого манипулятора. Составлена математическая модель этой системы управления. Предложенная в данной статье система управления, позволяет повысить эффективность производства за счёт уменьшения энергозатрат.

Э.Л. Хазиев

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИМ
ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ

Ключевые слова: система управления, крановый
распределитель, шаговый двигатель, пневматический
робот.

Рассмотрена система управления пневматическим промышленным роботом с применением кранового пневмораспределителя, который имеет привод от электрического шагового двигателя.

Э.Л. Хазиев

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРАНОВОГО
ПНЕВМОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО
РОБОТА

Ключевые слова: система управления, крановый
распределитель, шаговый двигатель, пневматический
робот.

Рассмотрена методика расчета параметров кранового пневмораспределителя.

А.Ф. Шакмаков, Ш.М. Мерданов, А.Г. Обухов,
А.Л. Егоров

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ
СНЕГА ПНЕВМОКОЛЕСНЫМ КАТКОМ

Ключевые слова: плотность снега, давление, скорость
движения, проходы катка, нагрузка.

В статье рассматривается процесс уплотнения снега в зависимости от скорости нагружения, вида нагрузки, влажности снежной массы и давления в шинах катка.

recommendations for its implementation.

A.A. Fardeev

MATHEMATICAL MODEL OF THE AUTOMATED
CONTROL SYSTEM OF DISPLACEMENT PUMP OF
MANIPULATOR, USED IN THE TECHNOLOGICAL
PROCESS OF BLANKS FORGING

Keywords: forging, manipulator, automated control
system, a displacement pump, mathematical model.

The introduction of a manipulator into existing technological process of blanks forging is proposed in the work. An automated control system of displacement pump of a pending manipulator is invented. A mathematical model of this control system is composed. The control system, proposed in this article, improves the production efficiency by reducing energy consumption.

E.L. Khaziev

CONTROL SYSTEM FOR INDUSTRIAL
PNEUMATIC ROBOT

Keywords: control system, crane way
pneumodistributor, stepper motor, a pneumatic robot.

A system of pneumatic control industrial robot using the crane way pneumodistributor, which is driven by an electric stepper motor.

E.L. Khaziev

CALCULATION OF THE MAIN PARAMETERS OF
THE CRANE WAY PNEUMODISTRIBUTOR
INDUSTRIAL ROBOT

Keywords: control system, crane way pneumodistributor,
stepper motor, a pneumatic robot.

The method of calculating the parameters of the crane way pneumodistributor.

A.F. Shakmakov, Sh.M. Merdanov, A.G. Obuhov,
A.L. Egorov

MODELLING OF THE COMPACTION OF SNOW BY
PNEUMATIC WHEEL ROLLER

Key words: snow density, pressure, speed, roller passes,
load.

This article discusses the process of compaction of snow, depending on the loading rate, type of load, moisture, snow mass and tire pressure roller.

Р.А. Ямалеев, О.Н. Кузяков
ТРЕХМЕРНЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ
ИМИТАЦИОННЫЙ ТРЕНАЖЕР
НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ В
КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

*Ключевые слова: имитационное моделирование,
распределенные системы моделирования,
исследование технологических процессов.*

*В работе представлена концепция применения
распределенных компьютерных имитационных
тренажеров для исследования технологических
процессов на примере реализации имитационной
модели нефтеперекачивающей станции. Рассмотрено
построение математической модели.*

R.A. Yamaleev, O.N. Kuzyakov
COMPUTER-BASED SIMULATOR OF OIL-
PUMPING STATION FOR RESEARCH
TECHNOLOGY PROSESS

*Keywords: simulation, distributed modeling system, the
research of technology processes.*

*This paper introduces the concept of using distributed
computer-based simulators for researching technology
processes by implementing a simulation model of oil-
pumping station. Reviewed the construction of a
mathematical model.*

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 редакционных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№4 2012

Направления:

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 15.08.2012 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

13,3 усл.печ.л. 13,9 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 771.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"

420012. г. Казань, ул. Муштары, 12

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»