

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

Сборник научных статей

№4 2011

Направления:

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

Казань

2011

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №4 2011г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2011. – 233 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 сборнике научных трудов отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы сборника 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, 2011 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Обращение Главного редактора – Р. Х. Шагимуллина</i>	8
<i>В.К. Половняк д.х.н. РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ И КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФОСФИНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ПАЛЛАДИЯ(0)</i>	9

СЕКЦИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>А.Р. Абдуллаев д.ф.-м.н., Э.В. Плехова к.ф.-м.н. О СПЕКТРЕ ОПЕРАТОРА ЧЕЗАРО</i>	33
<i>А.С. Андреев д.ф.-м.н., А.В. Аминаров, П.А. Вельмисов д.ф.-м.н. МЕТОД ФУНКЦИОНАЛОВ ЛЯПУНОВА В ЗАДАЧЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ УРАВНЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНОГО ТИПА</i>	38
<i>А.П. Волобуев к.б.н., П.В. Волобуев д.ф.-м.н., Е.Д. Усков УСТРОЙСТВО И СПОСОБ МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КЛЕТКИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ</i>	44
<i>А.Ф. Гайсин, А.З. Гумеров к.т.н., Р.Т. Насибуллин, Л.Р. Саримов МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНОПОРОШКОВ</i>	49
<i>В.А. Евдокимова к.ф.-м.н., Л.П. Карацуба к.ф.-м.н., С.В. Ланкин д.ф.-м.н. ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА ШПОЛЬСКОГО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АДсорбЦИИ ПАУ КЛИНОПТИЛОЛИТАМИ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА</i>	55
<i>Б.Н. Казаков к.ф.-м.н., А.В. Михеев к.ф.-м.н. ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОХОЖДЕНИЯ ПОТОКА ФОТОНОВ ЧЕРЕЗ СРЕДУ</i>	62
<i>А.В. Кузьмин, Д.Ю. Моторина, О.А. Перегудова д.ф.-м.н. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ КОЛЕСНЫМ РОБОТОМ ПРИ УЧЕТЕ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ КОЛЕС</i>	67
<i>А.А. Молгачев к.ф.-м.н., Г.А. Шепелев О ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЯЗКОУПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ</i>	71
<i>А.А. Савочкина ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ЛЬЕНАРА С ОТКЛОНЯЮЩИМСЯ АРГУМЕНТОМ</i>	77
<i>А.Ю. Тимофеев к.ф.-м.н. ОПЕРАТОР ВЕКУА В ПРОСТРАНСТВАХ ОРЛИЧА</i>	81

СЕКЦИЯ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>А.А. Петрова, С.С. Рясенский к.х.н., М.А. Феофанова к.х.н. ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ПОЛИАНИЛИНА</i>	85
--	----

СЕКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Л.Х. Абдулхаликова РЕШЕНИЕ ОДНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАНКЕЛЯ</i>	89
<i>С.Я. Алибеков д.т.н., Н.А. Филина ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БРИКЕТОВ</i>	93
<i>В.Ф. Беккер к.т.н., М.Г. Гребенева УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА ПОСТРОЕНИЕМ ДИАГРАММЫ ПАРЕТО</i>	97
<i>Е.И. Блаженнов д.т.н., Д.С. Новиков, А.И. Яманин д.т.н., И.А. Яманин, НИЗКОЧАСТОТНАЯ ВИБРАЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПЕРЕМЕННОЙ СТЕПЕНЬЮ СЖАТИЯ С КРИВОШИПНО-ШАТУННЫМ МЕХАНИЗМОМ</i>	102

Е.И. Блаженнов д.т.н., Д.С. Новиков, А.И. Яманин д.т.н. ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РАСЧЕТОВ ПРОЧНОСТИ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	109
Т.В. Бурнышева к.т.н., В.О. Каледин д.т.н. СРАВНЕНИЕ ДИСКРЕТНОГО И КОНТИНУАЛЬНОГО ПОДХОДА К РАСЧЕТУ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ	113
А.В. Бушманова ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ В СУБД ORACLE	117
В.И. Голубев к.т.н., В.В. Медисон, В.Ф. Пегашикин д.т.н. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА	121
К.А. Голявин, С.И. Кошелев, Е.В. Кушнарченко, Е.А. Шеин к.т.н. ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛИ 38Х2МЮА ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ОБРАБОТКИ	125
А.Г. Горюнов к.т.н. ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕРАВНОВЕСНОГО МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ЭКСТРАКЦИОННОГО ПРОЦЕССА В СМЕСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЭКСТРАКТОРА	129
А.Г. Горюнов к.т.н., К. А. Козин к.т.н., С.А. Сачков К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ SIEMENS-РЕАКТОРА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ	133
М.Ю. Губин, И.А. Заикин РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	137
И.П. Дешко к.т.н., К.Г. Кряженков МАСШТАБИРУЕМОСТЬ ДИНАМИЧЕСКИХ КОНФИГУРАЦИЙ В УЧЕБНЫХ ИНФОРМУНИКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСАХ С УДАЛЕННЫМ ДОСТУПОМ	142
О.С. Долгов к.т.н., М.А. Лякишев, Е.В. Шорина ФОРМИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ МОМЕНТНО-ИНЕРЦИОННОГО ОБЛИКА САМОЛЕТА НА РАННИХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	147
О.Н. Долинина к.т.н. О МЕТОДЕ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ	152
С.А. Егоров, А.В. Жданов к.т.н., Е.А. Новикова к.т.н. ОЦЕНКА ПЛАВНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МОНОБЛОЧНОГО ПРИВОДА МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ	156
А.Ю. Ерёмченко к.т.н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ НЕЗАКРЕПЛЁННЫХ ДЕТАЛЕЙ В СИЛОВОМ ПОЛЕ АБРАЗИВНО-ЖИДКОСТНОЙ СРЕДЫ ГЕНЕРИРУЕМОМ СТРУЙНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ КАМЕРЫ	162
А.С. Жив д.т.н., Б.Р. Исакулов к.т.н., А.М. Сарсенов д.т.н. УЛУЧШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ ПУТЕМ ПРОПИТКИ СЕРОЙ-ОТХОДОМ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАЗАХСТАНА	167
А.А. Захаров д.т.н., Е.Р. Кожанова, И.М. Ткаченко РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВЕЙВЛЕТ – ФУНКЦИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ	172
А.С. Згурский, Е.В. Корбаинова МЕТОД СОХРАНЕНИЯ ИДЕНТИФИЦИРУЮЩЕЙ УГРОЗУ ИНФОРМАЦИИ В ДЕТЕКТОРНУЮ ПАМЯТЬ	179
Б.Р. Исакулов к.т.н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ КАЗАХСТАНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ	183
В.А. Лысов, О.В. Шевченко, А.В. Щёголев ОТОБРАЖЕНИЕ ПЛОСКИХ ГРАФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ ЭЛЕКТРОННО-АНАЛИТИЧЕСКИМИ ФОРМАМИ	187
Е.Н. Минаев д.т.н. СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДОВ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ КОРРОЗИИ ГАЛЬВАНОПАР	193
Р.Д. Прошина МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В НОРМАЛЬНОЙ ФОРМЕ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ	197

<i>О.И. Разинская, С.В. Суслина, П.В. Хапов</i> СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕМ ПРЕССОВАНИИ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА В ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ α -ФАЗЫ	203
<i>В.П. Славненко д.т.н., М.И. Филатов</i> ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРЕННЫХ ОПОР БЛОКА ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ-740	208
<i>В.Н. Хмелев д.т.н., А.В. Шалунов к.т.н., А.В. Шалунова</i> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСПЫЛИТЕЛЯ ЖИДКОСТИ	212
АННОТАЦИИ	216

THE RELEASE MAINTENANCE

<i>The reference of the Editor-in-chief – R.H.Shagimullin</i>	8
<i>V.K. Polovnyak</i> REACTIVITY AND CATALYTIC ACTIVITY OF PHOSPHINE COMPLEXES OF PALLADIUM (0)	9

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

<i>A.R. Abdullaev, E.V. Plekhova</i> ON A SPECTRUM OF CHESARO OPERATOR	33
<i>A.S. Andreev, A.V. Aminarov, P.A. Vel'misov</i> LYAPUNOV FUNCTIONAL METHOD IN THE STABILITY PROBLEM FOR THE EQUATION OF NEUTRAL TYPE	38
<i>A.P. Volobuyev, P.V. Volobuyev, E.D. Uskov</i> DEVICE AND METHOD FOR THE MAGNETO-THERAPEUTIC EXPOSURE ON MALIGNANT TUMOR CELLS	44
<i>A.F. Gaysin, A.Z. Gumerov, R.T. Nasibullin, L.R. Sarimov</i> MODERNIZATION OF THE PLASMA PLANT FOR OBTAINING FERROMAGNETIC NANOPOWDERS	49
<i>V.A. Evdokimova, L.P. Karatsuba, S.V. Lankin</i> ŠPOL'SKOGO EFFECT OF ADSORPTION FOR PAHS KLINOPTILOLITAMI SIBERIA AND THE FAR EAST	55
<i>B.N. Kazakov, A.V. Mikheev</i> PROBABIISTIC MODEL OF THE PHOTONS PROPAGATION THROUGH THE OPTICAL MEDIUM	62
<i>A.V. Kuzmin, D.Y. Motorina, O.A. Peregudova</i> PROGRAM IMPLEMENTATION OF CONTROL SYNTHESIS ALGORITHM FOR MOBILE WHEELED ROBOT WITH WHEEL SLIP	67
<i>A.A. Molgachev, G.A. Shepelev</i> ON DYNAMICAL STABILITY OF VISCO-ELASTIC ELEMENTS	71
<i>A.A. Savochkina</i> PERIODIC SOLUTION OF LIENARD EQUATION WITH DEVIATING ARGUMENT	77
<i>A.Y.Timofeev</i> THE VEKUA-OPERATOR IN ORLICZ SPACES	81

CHEMICAL SCIENSEC

<i>A.A. Petrova, S.S. Ryasenskiy, M.A. Feofanova</i> THERMO DESTRUCTION OF THE POLYANILINE	85
---	----

ENGINEERING SCIENCE

<i>L.H. Abdulhalikova</i> THE SOLUTION FOR THE HEAT CONDUCTION PROBLEM BY THE HANKEL INTEGRAL TRANSFORM	89
<i>S.J. Alibekov, N.A. Filina</i> STUDYING OF PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF BRIQUETTES	93
<i>V.F. Becker, M.G. Grebeneva</i> QUALITY MANAGEMENT OF THE ROASTING PROCESS OF LIMESTONE TO THE CONSTRUCTION OF A PARETO CHART	97
<i>E.I. Blazhennov, D.S. Novikov, A.I. Yamanin, I.A. Yamanin</i> LOW FREQUENCY VIBRATION OF ENGINES WITH CRANK MECHANISM AND VARIABLE COMPRESSION RATIO	102
<i>E.I. Blazhennov, D.S. Novikov, A.I. Yamanin</i> INCREASE OF STRENGTHS CALCULATIONS VALIDATE OF PISTON ENGINES	109
<i>T.V. Burnysheva, V.O. Kaledin</i> COMPARISON OF DISCRETE AND CONTINUOUS APPROACH TO CALCULATING STRESSES OF RIBBED SHELLS UNDER STATIC LOADING	113
<i>A.V.Bushmanova</i> SECURITY CONSIDERATIONS FOR ORACLE	117

V.I. Golubev, V.V. Medison V.F. Pegashkin USING ELECTRICAL ISOLATION FOR INCREASING WEAR RESISTANCE OF THE CUTTING TOOL	121
K.A. Golyavin, S.I. Koshelev, E.V. Kushnarenko, E.A. Shein WEAR RESISTANCE OF THE STEEL 38X2MIOA AFTER VARIOUS VARIANTS OF PROCESSING	125
A.G. Gorunov DYNAMIC MODEL OF NON-EQUILIBRIUM MULTICOMPONENT PROCESS OF EXTRACTION IN THE MIXING CHAMBER OF CENTRIFUGAL EXTRACTOR	129
A.G. Gorunov, K.A. Kozin, S.A. Sachkov TO THE QUESTION OF SIEMENS REACTOR MODELLING AS CONTROL OBJECT	133
M.U. Gubin, I.A. Zaikin DEVELOPMENT OF ONTOLOGY MODELS SUPPPORT SYSTEM	137
I.P. Deshko, K.G. Kryaxhenkov SCALABILITY OF DYNAMIC CONFIGURATIONS WITH REMOTE ACCESS IN TRAINING INFO-COMMUNICATION COMPLEXES	142
O.S. Dolgov, M.A. Lyakishev, E.V. Shorina AIRPLANE INERTIA-MOMENT SHAPE DETERMINATION ALGORITHM FORMATION ON THE EARLY DESIGN STAGES	147
O.N. Dolinina ABOUT METHOD OF EXPERT SYSTEMS DEVELOPMENT	152
S.A. Egorov, A.V. Zhdanov, E.A. Novikov ESTIMATION OF SMOOTHNESSES OF THE DIPLACEMENT MONOBLOCK DRIVE OF THE MEDICAL TECHNOLOGY	156
A.U. Eremenko MODELING FINISH PROCESSING OF LOOSE PARTS IN THE ABRASIVE-LIQUID FORCE FIELD GENERATED IN DEVICES WITH HORIZONTAL AXIS ROTATION CHAMBER	162
A.S. Zhiv, B.R. Isakulov, A.M. Sarsenov IMPROVEMENT OF PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF EASY CONCRETE BY IMPREGNATION BY SULFUR-WITHDRAWAL OF THE OIL AND GAS INDUSTRY OF KAZAKHSTAN	167
A.A. Zaharov, E.R. Kozhanova, Tkachenko I.M. DEVELOPMENT OF THE INTERFACE OF THE PROGRAMMER PRODUCT ON USE WAVELET - FUNCTION FOR ANALYSIS SIGNAL	172
A.S. Zgursky, E.V. Korbainova METHOD OF PRESERVATION OF THE INFORMATION IDENTIFYING THREAT IN DETECTOR MEMORY	179
B.R. Isakulov THE USE OF INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL WASTES OF KAZAKHSTAN FOR LIGHTWEIGHT CONCRETE	183
V.A. Lysov, O.V. Shevchenko, A.V. Schegolev THE DISPLAY OF THE TWO-DIMENSIONAL GRAPHICAL IMAGES BY THE E-ANALYTICAL FORMS	187
E.N.Minaev PROGNOSTICATION OF GALVANIC-PAIR CORROSION BY JOINTLY USE OF MATHEMATICAL AND ELECTRO-CHEMICAL METHODS	193
R.D. Proshina MATHEMATICAL MODELLING OF CONTROL SYSTEMS IN THE NORMAL FORM OF SPACE OF CONDITIONS	197
O.I. Razinskaya, S.V. Suslina, P.V. Khapov STRUCTURAL CHANGES AT HOT PRESSING OF THE IRON POWDERS IN THE TEMPERATURE INTERVAL OF EXISTENCE α – PHASES	203
V.P. Slavnenko, M.I. Filatov SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF RESTORATION OF RADICAL SUPPORT OF THE BLOCK OF CYLINDERS OF ENGINE KAMAZ-740	208
V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, A.V. Shalunova WORKING OUT AND RESEARCH OF THE HIGH-FREQUENCY ULTRASONIC SPRAY OF THE LIQUID	212
ABSTRACTS	216

Слово Главного редактора



Уважаемые читатели!

Мы продолжаем публикацию статей в пользу развития научно-технической мысли в России.

Данный номер Мы открываем статьей члена редакционной коллегии журнала доктора химических наук, профессора Валентина Константиновича Половняка на тему "Реакционная способность и каталитическая активность фосфиновых комплексов палладия (0)".

Надеемся, что статьи данного выпуска нашего журнала будут полезны и помогут Вам в дальнейшем развитии науки.

С уважением к читателям,

Главный редактор журнала

Р.Х. Шагимуллин

В. К. Половняк д.х.н.,
член редакционной коллегии журнала

Казанский государственный технологический университет
Россия, г. Казань
vkpol@mail.ru

РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ И КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФОСФИНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ПАЛЛАДИЯ(0)

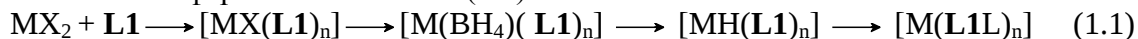
С использованием в качестве восстановителя KB_3H_8 синтезированы трехкоординационные комплексы палладия(0) с разнородными фосфиновыми лигандами, установлено их строение и реакционная способность при активировании кислородом. Выделены двухкоординационные соединения и их димеры, которые обладают высокой каталитической активностью в реакциях гидрирования непредельных соединений.

Ключевые слова: палладий, фосфины, комплексы, активирование, катализ.

Условия синтеза комплексов Pd(0)

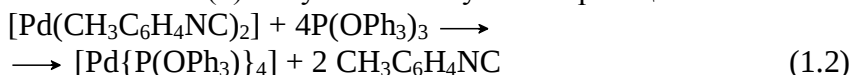
Впервые комплексы $\text{Pd}(0)$, а также $\text{Pt}(0)$ с фосфинами, фосфитами, арсинами и стибинами были получены Малатестой [1,2,4] восстановлением соответствующих соединений палладия(II) и платины(II) гидразином и этилатом натрия. Следует отметить, что существование соединений в нулевой степени окисления палладия и платины довольно долгое время ставилось под сомнение и, прежде всего, из-за возможности образования гидридов указанных элементов. Так, при восстановлении $[\text{Pt}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2]$ этилатом натрия были получены именно гидриды фосфиновых комплексов Pt(II) [5]. В [6-8] было установлено образование комплексов типа $[\text{PdHCl}(\text{PEt}_3)_2]$ и $[\text{PtHCl}(\text{PPh}_3)_2]$. Отметим, что комплексы палладия(II) хотя и могут переходить в гидридные формы, но способность эта выражена в значительно меньшей степени, чем у аналогичных комплексов платины(II). Например, гидридокомплексы $[\text{PdHCl}(\text{PEt}_3)_2]$ и $[\text{PdHCl}(\text{PPh}_3)_2]$ существуют при высоких давлениях, но в растворах при атмосферном давлении быстро разлагаются с образованием элементного палладия [8].

В качестве восстановителей при синтезе комплексов металлов в нулевой степени окисления применяются сильные восстановители: щелочные металлы, амальгама натрия, цинковая пыль, гидразин, нафталат натрия, фосфин и др. Так, комплексы состава $[\text{M}(\text{L1})_n]$ ($n = 2-4$) были получены в [3] восстановлением MX_2 (X – галоген, M – Pt , Pd , Ni) в этанольной среде с помощью тетрагидридобората(III) натрия $\text{Na}[\text{BH}_4]$ в присутствии фосфина **L1** в атмосфере азота по схеме (1.1):



Характер образующегося продукта зависит от температуры: при температуре кипения растворителя преимущественно образуется $[\text{ML}_2]$, при комнатной температуре – $[\text{ML}_3]$, а при температуре ниже нуля – $[\text{ML}_4]$.

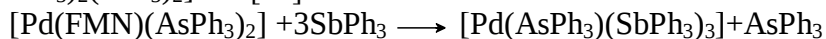
Комплексы $\text{Pd}(0)$ могут быть получены в реакциях обмена лигандов по схеме (1.2) [9]:



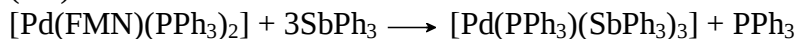
В зависимости от конического угла лиганда, определяющего стерические затруднения при его координации, возможно образование четырех-, трех-, и двухкоординированных комплексов $\text{Pd}(0)$. Так, использование лигандов типа PMe_3 и PEt_3 с коническим углом примерно 140° приводит к образованию комплексов четырехкоординированного $\text{Pd}(0)$, чему способствует низкая температура (-80°C) и избыток лиганда. Применение же фосфиновых

лигандов с коническим углом более 170° типа $\text{P}(\text{t-Bu})_3$, $\text{PPh}(\text{t-Bu})_2$ ведет к образованию двухкоординированных комплексов $[\text{Pd}(\mathbf{L1})_2]$ **1.2** [9].

К настоящему времени синтезировано значительное количество четырех- [1-13], трех- [14–27] и двухкоординированных [28-34] комплексов $\text{Pd}(0)$ с элементарноорганическими лигандами. К примеру, по реакциям замещения лигандов (1.3) и (1.4) в комплексах $[\text{Pd}(\text{FMN})(\text{AsPh}_3)_2]$ и $[\text{Pd}(\text{FMN})(\text{AsPh}_3)_2]$ (FMN – фумаронитрил) в бензольном растворе были получены гетеролигандные комплексы $\text{Pd}(0)$ состава $[\text{Pd}(\text{AsPh}_3)(\text{SbPh}_3)_3]$ **1.3** [14] и $[\text{Pd}(\text{SbPh}_3)_2(\text{PPh}_3)_2]$ **1.4** [15] соответственно:



(1.3)



(1.4)

Целевые продукты **1.3** и **1.4** были выделены путем перекристаллизации из эфирного раствора.

При замещении монодентатных лигандов в комплексе $[\text{Pd}(\text{FMN})(\text{AsPh}_3)_2]$ на бидентатный арсин образуется комплекс $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{AsC}_2\text{H}_4\text{AsPh}_2)(\text{AsPh}_3)]$, при замещении на трифенилстибин – комплекс $[\text{Pd}(\text{AsPh}_3)_2(\text{SbPh}_3)]$ [14].

При восстановлении $[\text{Pd}(\text{PPh}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{PPh}_2)\text{Cl}_2]$ диизобутилгидридом алюминия в присутствии эквимольного количества трифенилфосфина был получен трехкоординационный комплекс, содержащий в координационной сфере моно- и бидентатный фосфин [27].

Синтез трехкоординированных соединений палладия(0) с моно- (**L1**) и бидентатными (**L2**) элементарноорганическими лигандами был описан нами в [10] и осуществлялся посредством мягкого восстановления комплексов палладия(II) типа $[\text{Pd}(\mathbf{L1})_2\text{Cl}_2]$ и $[\text{Pd}(\mathbf{L2})\text{Cl}_2]$ с соответствующими арилфосфинами, ариларсинами и арилстибинами с использованием в качестве восстанавливающего агента октагидридотриборат(III)-аниона $[\text{B}_3\text{H}_8]^-$. Реакция протекает с практически количественным (не менее 90%) выходом в водно-ацетоновой или в водно-1,4-диоксановой среде в атмосфере аргона при температуре 20-25 °С. Характеристики полученных при этом комплексов $\text{Pd}(0)$ представлены в *Таблице 1.1*. Как нетрудно заметить, все они представляют собой мелкокристаллические вещества различных оттенков желтого и оранжевого цветов со сравнительно низкими температурами плавления. Для них характерны весьма небольшие значения электрических моментов диполя (0.9–1.9 D). Эти цифры свидетельствуют о том, что металлокомплексы не являются строго плоско-треугольными, а имеют форму сильно сплюсненной тригональной пирамиды с симметрией C_{3v} . Судя по данным масс-спектрологии, эти соединения мономерны.

В ИК-спектрах синтезированных комплексов палладия(0) полосы координированных лигандов по сравнению со спектрами свободных лигандов сдвинуты в область более высоких частот на $10\text{--}15\text{ см}^{-1}$ для монодентатных и на $15\text{--}40\text{ см}^{-1}$ – для бидентатных элементсодержащих лигандов, что говорит об их координации к атому палладия. В их ИК-спектрах отсутствуют полосы поглощения при $2000\text{--}2200\text{ см}^{-1}$, характерные для связи $\text{Pd}\text{--}\text{H}$ и полосы при 880 см^{-1} , характерные для связи $\text{Pd}\text{--}\text{O}$, что указывает на достаточную чистоту синтезированных координационных соединений. В длинноволновой области ИК-спектра ($200\text{--}500\text{ см}^{-1}$) наблюдаются характерные полосы поглощения, отвечающие образованию связи $\text{Pd}\text{--}\text{E}$ ($\text{E} = \text{P}, \text{As}, \text{Sb}$) (*Таблица 1.2*).

Для подтверждения нулевой степени окисления палладия в комплексах были измерены их рентгеноэлектронные (РЭ) спектры и для сопоставления РЭ- спектры ряда соединений палладия(II) $[\text{Pd}(\mathbf{L1})_2\text{Cl}_2]$ и $[\text{Pd}(\mathbf{L2})\text{Cl}_2]$ [35]. Данные на этот счет представлены в *Таблице 1.3*.

Таблица 1.1.

Выход при синтезе и свойства гетеролигандных трехкоординированных комплексов Pd(0) с элементарноорганическими лигандами

Металлокомплекс	Выход, %	Цвет	$t_{пл}$, °C	μ , D
[Pd(PPh ₃) ₃]	93	Желтый	104	0.9
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ F) ₂ PPh ₃]	96	Ярко – желтый	103	1.6
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ Cl) ₂ PPh ₃]	95	Лимонно– желтый	89	1.4
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ CH ₃) ₂ PPh ₃]	93	Бледно– желтый	93	1.3
[Pd{PhP(C ₆ H ₄ OCH ₃) ₂ } ₂ PPh ₃]	98	Желтый	98	1.2
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ COOH) ₂ PPh ₃]	96	Светло– желтый	95	1.8
[Pd(PPh ₃) ₂ AsPh ₃]	96	Оранжево– желтый	131	-
[Pd(AsPh ₃) ₂ PPh ₃]	98	Лимонно– желтый	156	-
[Pd(PPh ₃) ₂ SbPh ₃]	95	Желто– зеленый	150	-
[Pd(SbPh ₃) ₂ PPh ₃]	98	Светло– серый	-	-
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ F) ₂ AsPh ₃]	97	Оранжево–желтый	126	-
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ F) ₂ SbPh ₃]	94	Лимонно–желтый	148	-
[Pd(Ph ₂ PCH ₂ PPh ₂)PPh ₃]	94	Ярко– желтый	-	-
[Pd{Ph ₂ P(CH ₂) ₂ PPh ₂ }PPh ₃]	96	Желтый	-	-
[Pd{Ph ₂ P(CH ₂) ₃ PPh ₂ }PPh ₃]	90	Желтый	-	-
[Pd{Ph ₂ P(CH ₂) ₂ PPh ₂ }AsPh ₃]	90	Оранжево–желтый	-	-
[Pd{Ph ₂ P(CH ₂) ₂ PPh ₂ }SbPh ₃]	85	Серый	-	-
[Pd{Ph ₂ P(CH ₂) ₂ PPh ₂ }(Ph ₂ PC ₆ H ₄ F)]	92	Лимонно–желтый	-	-
[Pd{Ph ₂ P(CH ₂) ₂ PPh ₂ }(Ph ₂ PC ₆ H ₄ CH ₃)]	95	Желтый	-	-
[Pd(Ph ₂ AsCH ₂ AsPh ₂)PPh ₃]	94	Желтый	-	-
[Pd(Ph ₂ As(CH ₂) ₂ AsPh ₂)PPh ₃]	94	Желтый	-	-
[Pd(Ph ₂ As(CH ₂) ₄ AsPh ₂)PPh ₃]	90	Желтый	-	-

Таблица 1.2.

Максимумы полос поглощения (ν , см⁻¹) комплексов Pd(0) с элементарноорганическими лигандами.

Соединение	ν (Pd-P)	ν (Pd-As)	ν (Pd-Sb)
[Pd(PPh ₃) ₃]	358	-	-
[Pd(PPh ₃) ₂ AsPh ₃]	354	296	-
[Pd(PPh ₃)(AsPh ₃) ₂]	351	294	-
[Pd(PPh ₃) ₂ SbPh ₃]	352	-	190
[Pd(PPh ₃)(SbPh ₃) ₂]	353	-	187

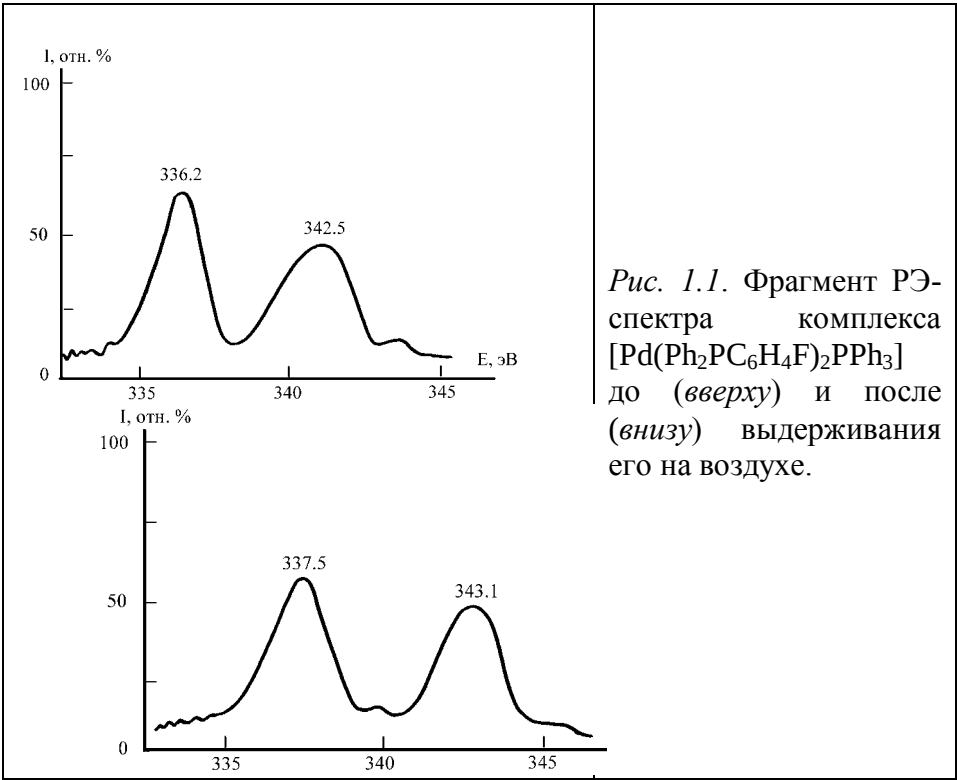
Как видно из данных таблицы 1.3 энергия связи 3d_{5/2} и 3d_{3/2} электронов в рассматриваемых комплексах составляет 335.6–336.3 эВ и 341.9–342.4 эВ соответственно, что согласуется с литературными данными именно для комплексов Pd(0) [36-40].

Таблица 1.3.

Данные рентгеноэлектронных спектров комплексов Pd(0) с элементарноорганическими лигандами

Металлокомплекс	Энергия связи, эВ		Состояние окисления Pd
	3d _{5/2}	3d _{3/2}	
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ F) ₂ PPh ₃]	336.2	342.5	0
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ F) ₂ AsPh ₃]	336.0	342.3	0
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ F) ₂ SbPh ₃]	336.0	342.3	0
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ F) ₂ (AsPh ₃) ₂]	335.7	342.1	0
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ F) ₂ (SbPh ₃) ₂]	335.6	342.3	0
[Pd(Ph ₂ PCH ₂ PPh ₂)PPh ₃]	336.2	342.1	0
[Pd{Ph ₂ P(CH ₂) ₂ PPh ₂ }PPh ₃]	336.0	342.1	0
[Pd{Ph ₂ P(CH ₂) ₃ PPh ₂ }PPh ₃]	335.9	341.8	0
[Pd(PPh ₃) ₂ Cl ₂]	338.1	342.2	II
[Pd(AsPh ₃) ₂ Cl ₂]	338.5	345.4	II
[Pd(SbPh ₃) ₂ Cl ₂]	338.6	344.4	II
[Pd{Ph ₂ P(CH ₂) ₃ PPh ₂ }Cl ₂]	338.3	344.4	II

Характерно, что при контакте синтезированных комплексов с кислородом изменяется их цвет и наблюдается сдвиг полос энергий связи 3d_{5/2} и 3d_{3/2} электронов в РЭ–спектрах. На Рис. 1.1 приведены РЭ–спектры комплекса [Pd(Ph₂PC₆H₄F)₂PPh₃] до и после выдерживания его на воздухе в течение 1 ч. Как видно из него, сигналы в РЭ–спектре энергии связи 3d_{5/2} и 3d_{3/2} электронов составляют 337,5 и 343,1 эВ, что согласно литературным данным отвечает состоянию окисления палладия (I) [40].



На *Рис. 1.2* и *1.3* приведены ЦВА комплекса $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{PPh}_3]$ в диметилформамиде в отсутствие и при наличии в нем молекулярного кислорода O_2 .

Как видно на *Рис. 1.2*, в отсутствие O_2 при катодной поляризации ртутного электрода отсутствуют и какие-либо пики, отвечающие электрохимическому восстановлению данного комплекса. Однако при изменении направления поляризации наблюдаются два анодных пика комплекса при -390 мВ и $+185$ мВ, которые по своим характеристикам отвечают ступенчатому одноэлектронному переносу и протеканию процесса по схемам (1.5) и (1.6):

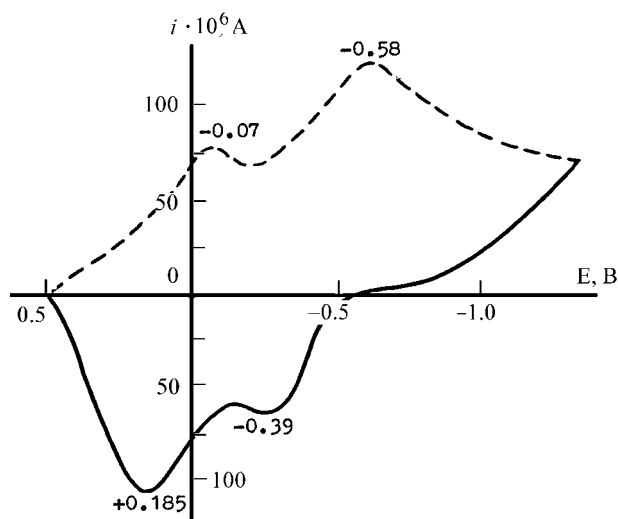


Рис. 1.2. ЦВА комплекса $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{PPh}_3]$ в диметилформамиде до выдерживания его на воздухе. Фоновый электролит – 0.1 М раствор NaClO_4 , развертка 0.1 В/с.

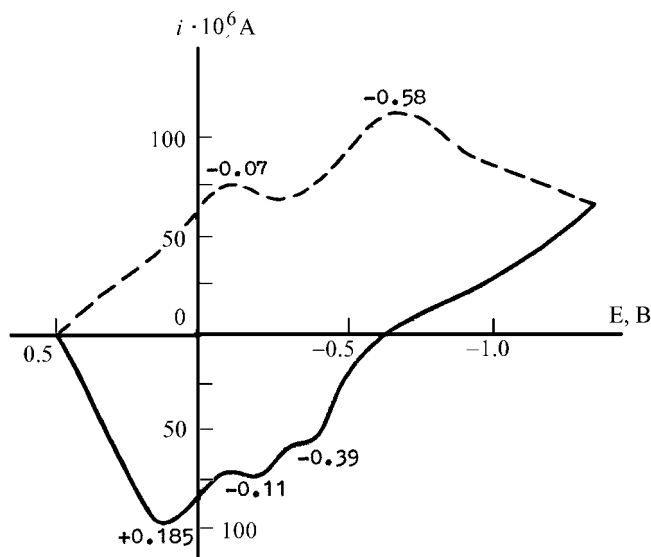


Рис. 1.3. ЦВА комплекса $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{PPh}_3]$ в диметилформамиде после выдерживания его на воздухе в течение 1 ч. Фоновый электролит – 0.1 М раствор NaClO_4 , развертка 0.1 В/с.

Процесс электрохимического окисления обратим. Электрохимическое же восстановление продукта электродной реакции осуществляется в две стадии, причем с одноэлектронным переносом на каждой из них. Отмеченное обстоятельство свидетельствует

о том, что данный комплекс действительно представляют собой соединение палладия(0). Следует отметить в связи с этим, что изменение состава координационной сферы Pd(0) не изменяет общего характера электроокисления его комплексов, наблюдается лишь смещение значений потенциалов пиков анодного и потенциалов пиков катодного процессов в пределах ± 100 мВ.

Если перед началом процесса электрохимического окисления комплексов в их диметилформамидный раствор вводить небольшое количество кислорода, то характер анодного процесса существенно изменяется (Рис. 1.3). На ЦВА в этом случае появляется новый пик при -110 мВ, отвечающий необратимому процессу, симметричный же ему катодный пик электровосстановления продуктов электродной реакции отсутствует.

Очень похоже на то, что при взаимодействии комплексов Pd(0) с кислородом в диметилформамидном растворе образуются аддукты, по своим электрохимическим свойствам сходные с соединениями Pd(I). Тот факт, что процесс необратим, указывает на нестойкость образующихся интермедиатов. Любопытно, что гомолигандные комплексы Pd(0) типа $[Pd(PPh_3)_3]$ в диметилформамидном растворе дают практически одинаковые ЦВА как при наличии атмосферного кислорода в реакционной среде, так и при его отсутствии. Скорее всего, этот феномен связан с тем, что они реагируют с кислородом гораздо медленнее, нежели гетеролигандные комплексы палладия(0).

Строение комплексов Pd(0)

Образование связи металл–лиганд должно приводить к появлению на атоме металла эффективного отрицательного заряда. Поэтому для стабилизации нулевой степени окисления необходим перенос электронной плотности с центрального атома на лиганды. В связи с этим лиганды для подобной цели наряду с σ -донорными свойствами должны обладать еще и π -акцепторной способностью. Именно к таким лигандам, относятся фосфины, арсины и стибины [41,42].

Сведения о комплексах Pd(0) пока довольно ограничены, поэтому для понимания химии палладия(0) следует опираться на закономерности свойств элементов подгруппы никеля с учетом явления т.н. вторичной периодичности. Так, согласно Оргелу [8] в случае комплексов M(0) дативная способность центрального атома вполне может быть скоррелирована с энергией перехода $d^9s \rightarrow d^9p$ (Таблица 1.4).

Таблица 1.4.

Энергии различных типов электронных переходов для элементов с конфигурацией $(n-1)d^8ns^2$.

Переход	Ni	Pd	Pt
$d^{10} \rightarrow d^9s$	-1.80	0.81	-0.76
$d^9s \rightarrow d^9p$	3.52	3.42	4.04
$d^{10} \rightarrow d^9p$	1.72	4.28	3.28

Из представленных в Табл. 1.4 данных следует, что палладий менее склонен к образованию π -дативной связи, чем никель и платина. Об этом же свидетельствует уменьшение в ряду Ni(0) – Pd(0) – Pt(0) константы равновесия реакции отщепления π -лиганда C_2H_4 от комплексов $[M(C_2H_4)(PPh_3)_2]$ [8].

Для Pd(0), как уже упоминалось выше, возможны комплексы с КЧ= 2, 3 и 4 [42]. Согласно диаграмме относительной энергии d -орбиталей в полях симметрии D_{3h} и C_{2v} ВЗМО палладия энергетически более выгодна для взаимодействия с низшей вакантной молекулярной орбиталью (НВМО) элементарного органического лиганда, чем в полях симметрии D_{4h} или C_{4v} (Рис. 1.4) [43]. Из этого следует, что для палладия в нулевой степени окисления наиболее вероятно образование комплексов с КЧ= 3 и в несколько меньшей степени – комплексов с КЧ= 2.

Согласно эмпирическому правилу Толмана [44,45] для *d*- и *f*-элементов наиболее стабильными являются диамагнитные комплексы с суммарным числом валентных электронов 18 или 16. Могут существовать также 14–электронные системы, хотя они и значительно менее стабильны. Для Pd(0) указанные электронные системы соответствуют координационным числам 4, 3 и 2 соответственно [44]. Практически реализуемое координационное число в его комплексах с элементоорганическими лигандами определяется стерическими факторами, которые Толман в [45] предложил оценивать с помощью т.н. конического угла лиганда. Взаимосвязь между КЧ Pd(0) и значением конического угла фосфор(III)органического лиганда показана в *Таблице 1.5*.

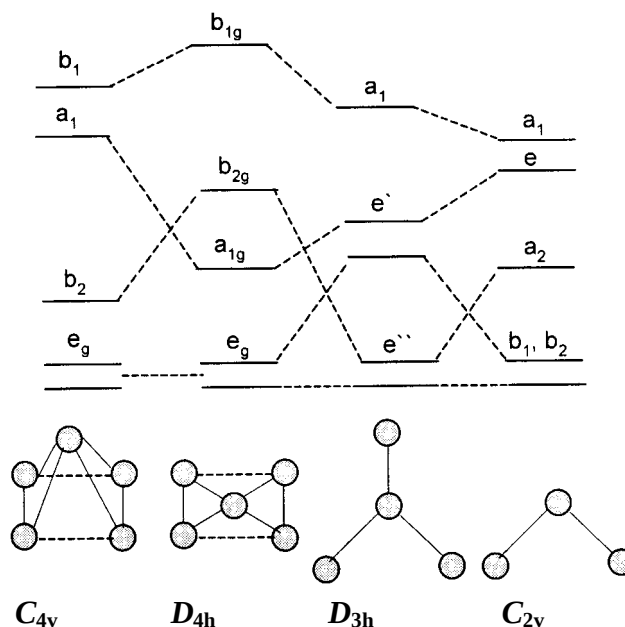


Рис. 1.4. Относительные значения энергий атома Pd в полях различной симметрии.

Таблица 1.5.

Конический угол фосфор(III)органического лиганда и координационное число палладия(0) в образуемых им комплексах

Фосфорорганический лиганд	Конический угол (град)	Координационное число Pd(0)
P(t-Bu) ₃	182±2	2
PhP(t-Bu) ₂	170±2	2
P(c-C ₆ H ₁₁) ₃	179±10	2
P(OC ₆ H ₄ CH ₃ -o)	160±10	3
P(i-Pr) ₃	160±10	2;3
PPh ₃	145±2	3;4
PEt ₃	143±4	3;4

Как можно видеть из *Табл. 1.5*, в комплексах с рядом алкилфосфинов Pd(0) имеет место $KЧ = 4$, тогда как в комплексах с арилфосфиновыми лигандами для него характерно $KЧ = 3$. В случае же объемистых лигандов $P(t-Bu)_3$ и $P(c-C_6H_{11})_3$ образуются комплексы двухкоординированного палладия(0) типа $[Pd(L1)_2]$. Указанная закономерность обусловлена уровнем различия стерических затруднений при координации лигандов и не связана с изменением основности фосфинов.

Следует отметить, что координационное число палладия(0) определяется также условиями синтеза. Так, комплексы четырехкоординированного Pd(0) с

элементоорганическими лигандами образуются при низких (≤ -80 °C) температурах, а комплексы с КЧ= 3 можно получить при комнатной температуре [44,45]. Таким образом, проявление Pd(0) того или иного координационного числа определяется не только природой лигандов, но и условиями синтеза его координационных соединений с рассматриваемыми лигандами.

Структурные данные о гомолигандных комплексах Pd(0) с монодентатными фосфор(III)-, мышьяк(III)- и сурьма(III)органическими лигандами в литературе практически отсутствуют. Рентгеноструктурные исследования выполнены лишь для гетеролигандных комплексов. Так, комплекс $[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_3(\text{C}_3\text{H}_4)]$ с КЧ= 4 имеет плоскочватратное строение [46], причем алленовый лиганд координирован к атому палладия по двойной связи, а некоординированная двойная связь отклонена от плоскости комплекса на угол в 9.2° . Трехкоординированный же комплекс $[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2(\text{C}_3\text{H}_4)]$ имеет треугольное строение с компланарной координацией алленового лиганда [46].

Некоторые сведения о строении двухкоординированных соединений типа $[\text{PdL}_2]$ в кристаллическом состоянии приведены в *Таблице 1.6*. Интересно отметить, что, несмотря на близкие значения конического угла лигандов, комплекс $[\text{Pd}\{\text{PPh}(\text{t-Bu})_2\}_2]$ имеет практически линейное строение, а $[\text{Pd}\{\text{P}(\text{c-C}_6\text{H}_{11})_3\}_2]$ – угловое. Это различие согласно [47] объясняется незначительным вкладом третичных фосфинов (особенно триалкилфосфинов) в $d_\pi\text{--}p_\pi$ взаимодействие при образовании связи М–Р.

В комплексах типа $[\text{Pd}\{\text{PPh}(\text{t-Bu})_2\}_2]$ расстояние между ортопротонами фенильных групп составляет 260 пм, а расстояние Pd–H – 280 пм [50]. В ЯМР¹H (ПМР)–спектрах этого комплекса при комнатной температуре наблюдается синглет ($\delta = 8.44$ м.д.). При понижении температуры в спектре появляется два сигнала ($\delta = 9.33$ и 7.55 м.д.), что указывает на неэквивалентность ортофенильных атомов водорода. На основании этого в [50] сделан вывод о наличии взаимодействия между протонами и атомами металла, при котором образуется нечто вроде связи H–Pd–H. Это взаимодействие, вероятно, является одним из факторов, стабилизирующих фосфиновые комплексы Pd(0).

Таблица 1.6.

Валентные углы $\angle\text{PPdP}$ и длины связей Pd–P в комплексах $[\text{PdL}_2]$ [48,49]

Металлокомплекс	d(Pd–P), пм	$\angle\text{PPdP}$, град
$[\text{Pd}\{\text{PPh}(\text{t-Bu})_2\}_2]$	229	176
$[\text{Pd}\{\text{P}(\text{c-C}_6\text{H}_{11})_3\}_2]$	226	158

При электронной конфигурации центрального атома d^{10} для комплексов ML_3 характерна симметрия D_{3h} (треугольная молекула) [49], а для комплексов ML_2 характерна линейная ($D_{\infty h}$) или же угловая (C_{2v}) молекулы.

Геометрия комплексов может изменяться при переходе их кристаллического состояния в раствор [51,52]. Согласно рентгеноструктурным данным [53] координационные соединения Pd(0) с дифосфинами типа $(\text{t-Bu})_2\text{P}(\text{CH}_2)_n\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_2)_n\text{P}(\text{t-Bu})_2$ ($n = 3, 4$) имеют структуру, близкую к плоскостной (*Рис. 1.5*).

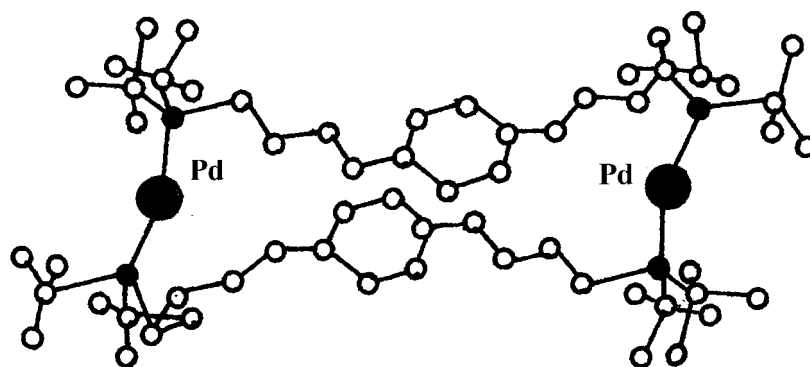


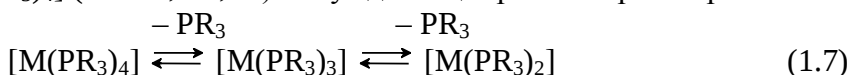
Рис. 1.5. Структура $[\text{Pd}\{(\text{t-Bu})_2\text{P}(\text{CH}_3)_4\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_2)_4\text{P}(\text{t-Bu})_2\}_2]$.

Качественное сопоставление энергетических диаграмм для молекул симметрии $D_{\infty h}$ и C_{2v} [53] показывает, что для системы с 14 валентными электронами и конфигурацией центрального атома d^{10} энергетически наиболее выгодна линейная структура.

Реакционная способность и каталитическая активность комплексов палладия(0)

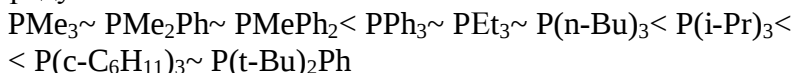
Можно выделить следующие четыре наиболее типичные реакции с участием координационных соединений $\text{Pd}(0)$ [54]:

Гомолитическая диссоциация комплексов в растворе. Комплексы элементов состава $[\text{M}(\text{PR}_3)_4]$ ($\text{M} = \text{Ni}, \text{Pd}, \text{Pt}$) могут диссоциировать в растворе по схеме (1.7):



По данным Толмана, арилфосфиновые комплексы $\text{Pd}(0)$ и $\text{Pt}(0)$ в растворе при комнатной температуре являются трехкоординационными [54].

Изучение диссоциации комплексов $[\text{PdL}_3]$ в растворе [55] методом ЯМР ^{13}C показало, что в ряду



по мере увеличения конического угла лигандов вероятность образования комплексов с $\text{КЧ} = 2$ возрастает. Методом ЯМР ^{31}P спектроскопии было показано, что с объемистыми лигандами типа $\text{P}(\text{t-Bu})_2\text{Ph}$ ($\alpha = 172^\circ$) и $\text{P}(\text{c-C}_6\text{H}_{11})_3$ ($\alpha = 179^\circ$) комплексы с $\text{КЧ} = 2$ образуются в растворе как в присутствии избытка лиганда, так и при понижении температуры до -60°C [56].

Реакции присоединения. Присоединение нейтральных молекул к комплексам с электронной конфигурацией d^{10} согласно [57] может происходить двояким образом:

а) координирующаяся молекула диссоциирует с образованием связей $\text{M}-\text{X}$ и $\text{M}-\text{Y}$ по схеме (1.8):



что приводит к окислению центрального атома и изменению его электронной конфигурации ($d^{10} \rightarrow d^8$);

б) диссоциация координирующейся молекулы не происходит и степень окисления металла не изменяются:



В том случае, когда координирующаяся молекула не имеет низкоэнергетических разрыхляющих МО, происходит диссоциация молекулы за счет переноса электронной плотности с атома металла. Альтернативная схема реализуется при наличии в координирующейся молекуле вышеуказанных МО. В этом случае электронная плотность от металла к молекуле XY переносится по π -дативному механизму.

Согласно [58-60] комплексы палладия(0) взаимодействуют с кислотами, галогенами, алкил-, ацил-, ароил- и сульфонилгалогенидами по схеме диссоциативного присоединения (1.8).

Взаимодействие с молекулярным кислородом. Комплексы Pd(0) с элементарными лигандами устойчивы лишь в инертной атмосфере [35]. На воздухе же они в той или иной степени взаимодействуют с молекулярным кислородом, в результате чего увеличивается их каталитическая активность в ряде процессов, в частности в реакциях гидрирования непредельных соединений. Указанное обстоятельство придает изучению взаимодействия комплексов Pd(0) с O₂ весьма большую значимость.

Трех- и четырехкоординированные комплексы палладия(0) с фосфинами и арсинами довольно быстро реагируют с кислородом как в растворе, так и твердой фазе, образуя неустойчивые соединения [PdL₂O₂] [61-63]. Комплексы же с объемистыми фосфинами типа P(t-Bu)₃ и КЧ= 2 в твердом состоянии по отношению к кислороду инертны. В растворах они медленно окисляются с образованием [Pd{OP(t-Bu)₃}₂]. Характерно, что скорость окисления указанных комплексов Pd(0) значительно увеличивается при фотохимической активации процесса [64]. Реакции с кислородом используются для активирования комплексов палладия (0) в каталитических процессах.

Методом ЭПР было обнаружено, что при взаимодействии фосфиновых, арсиновых и стибниновых комплексов Pd(0) с кислородом образуются парамагнитные соединения [65-70]. На Рис. 1.6 приведены типичные сигналы ЭПР, возникающие при твердофазном окислении некоторых из таких комплексов молекулярным кислородом.

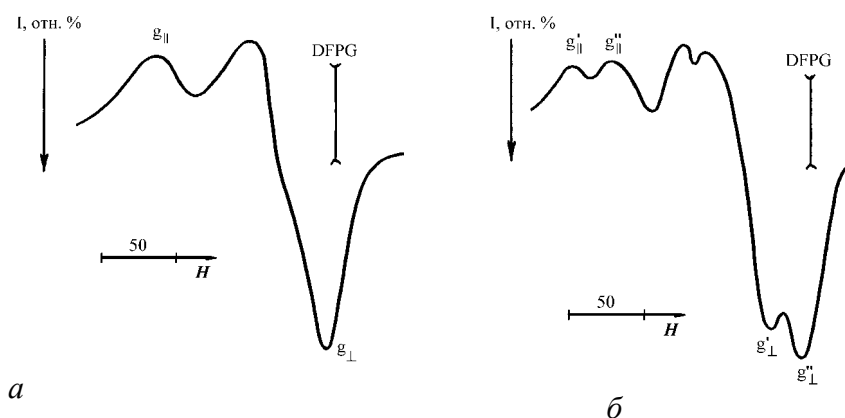


Рис. 1.6. Сигналы ЭПР в системах [Pd(Ph₂PC₆H₄F)₂PPh₃] – O₂ (а) и [Pd{Ph₂P(CH₂)₂PPh₂}PPh₃] – O₂ (б) при T = 77 К.

Обнаруженные нами сигналы ЭПР первоначально были интерпретированы как следствие образования комплексов палладия(I). Однако они имеют сравнительно малую анизотропию, что несвойственно сигналам ЭПР от Pd(I) (4d⁹) [65]. При более внимательном рассмотрении оказалось, что характер сигнала ЭПР веществ, образующихся в результате реакции вышеуказанных комплексов Pd(0) с кислородом по виду и значению g-фактора аналогичен сигналам, которые согласно [66,67] отнесены к анион-радикалам O₂⁻. Согласно представлениям авторов указанных работ, образование O₂⁻ происходит при взаимодействии O₂ с ионом Pd⁺, переходящего в ион Pd²⁺, чем и достигается стабильность системы (Pd²⁺-O₂⁻).

В рамках такой концепции появление сигнала ЭПР анион-радикала O₂⁻ при взаимодействии металлокомплексов Pd(0) с кислородом должно сопровождаться переходом Pd(0)→Pd(I) и образованием аддукта (Pd²⁺-O₂⁻). Однако согласно данным [67] сигнал ЭПР от ионов Pd⁺ при температуре жидкого азота (77 К) не отмечается. Тому может быть ряд причин: малая концентрация Pd⁺, недостаточно низкая температура для разделения

суперпозиции сигналов от O_2^- и Pd^+ или же немедленное образование соединения палладия(I) с фрагментом Pd_2^{2+} и связью металл–металл вследствие взаимодействия ионов Pd^+ . Отметим в этой связи, что вакуумирование (в течение 2 ч при 10^{-2} Па) к изменению интенсивности и типа спектра ЭПР исследованных соединений не приводит. Указанный факт – убедительное свидетельство того, что при вакуумировании система ($1/2Pd_2^{2+}-O_2^-$) в исходное состояние (Pd^0-O_2) уже не возвращается.

Для системы ($1/2Pd_2^{2+}-O_2^-$) с бидентатными элементарганическими лигандами наблюдается *расщепление* сигнала ЭПР (Рис. 1.6- б), что связано с большей анизотропией сигнала палладия(I) по сравнению с анион-радикалом O_2^- . В случае монодентатных лигандов **L1** анизотропия сигнала от $Pd(I)$, повидимому, близка к таковой для сигнала анион-радикала O_2^- , вследствие чего и наблюдается лишь синглетный сигнал, на самом деле представляющий собой суперпозицию сигналов от $Pd(I)$ и анион-радикала O_2^- .

Для проверки предложения об образовании системы ($1/2Pd_2^{2+}-O_2^-$) при взаимодействии комплексов палладия(0) с кислородом системы в [35] был использован метод рентгеноэлектронной спектроскопии. Как видно из данных *Таблицы 1.7*, в исходных комплексах $Pd(0)$ энергия связи $Pd(3d_{5/2})$ –электронов составляет 336.0–336.3 эВ; после же контакта их с O_2 в РЭ–спектре появляется сигнал при 337.5–337.7 эВ, характерный для $Pd(I)$ [71]. Более детальное РЭ–спектроскопическое исследование продуктов, образующихся в результате указанного контакта, показало, что кислород в них способен находиться в двух фрагментах: в виде $OPPh_3$ и в виде O_2^- . При этом для $OPPh_3$ энергия связи $O(1s)$ электронов находится в диапазоне значений 531.5–531.8 эВ [72], а для O_2^- – в диапазоне 534.3–534.6 эВ [98]. Имеет место также различие энергии связи $P(2p)$ – электронов, что обусловлено наличием двух форм существования фосфора(III): в составе фосфинового лиганда (131.8–131.9 эВ) и соответствующего фосфинооксида (131.8–131.9 эВ) [78].

Скорость превращения $Pd(0) \rightarrow Pd(I)$ при взаимодействии комплексов с кислородом зависит от природы элементарганических лигандов. Так, при окислении в течение 1 ч комплексов состава $[Pd(Ph_2PC_6H_4F)_2PPh_3]$, $[Pd(Ph_2PC_6H_4F)_2AsPh_3]$ и $[Pd(PhPC_6H_4F)_2SbPh_3]$ относительное содержание палладия(I) в продуктах реакции составляет соответственно 32, 14 и 0.5 масс. %. В случае последнего координационного соединения сигнал от $Pd(I)$ в РЭ–спектре появляется лишь через 3-4 ч окисления его кислородом. В то же время, что характерно, сигнал от $Pd(0)$ сохраняется в РЭ–спектре даже при окислении перечисленных выше комплексов палладия(0) в течение как минимум 24 ч.

Таблица 1.7.

Данные по РЭ–спектрам комплексов палладия(0) с элементарганическими лигандами до и после взаимодействия их с молекулярным кислородом.

Металлокомплекс	Энергия связи электронов, эВ					
	Исходный			Окисленный		
	Pd ($3d_{5/2}$)	O (1s)	P (2p)	Pd ($3d_{5/2}$)	O (1s)	P (2p)
$[Pd(Ph_2PC_6H_4F)_2PPh_3]$	336.3	-	131.8	336.3 337.5	531.8 534.6	131.8 133.9
$[Pd(Ph_2PC_6H_4F)_2AsPh_3]$	336.0	-	131.9	336.0 337.7	531.5 534.3	131.9 133.5
$[Pd(Ph_2PC_6H_4F)_2SbPh_3]$	336.0	-	131.9	336.0	-	131.0
$[Pd\{Ph_2P(CH_2)_3PPh_2\}PPh_3]$	335.9	-	131.9	335.9 337.2	-	131.9 133.5

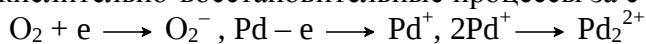
Следует отметить, что максимальная интенсивность сигнала ЭПР продуктов взаимодействия комплексов палладия(0) с кислородом во времени не совпадает с

максимальной интенсивностью сигнала от Pd(I) в РЭ-спектре. Более того, при длительном взаимодействии с кислородом сигнал ЭПР исчезает, в то время как сигнал в РЭ-спектре достигает максимальной интенсивности. Наиболее правдоподобное объяснение этого феномена, на наш взгляд, состоит в том, что образующиеся при взаимодействии $[PdL_2/L]$ и $[PdL_2L']$ с O_2 парамагнитные соединения Pd(I) далее превращаются в соответствующие диамагнитные координационные соединения того же палладия(I).

ИК-спектроскопическое исследование продуктов вышеуказанных редокс-процессов показало, что после контакта фосфор(III)содержащих металлокомплексов Pd(0) с кислородом в ИК-спектре появляется полоса при $835-840\text{ см}^{-1}$, отвечающая $\square(O-O)$ [73]. Кроме того, по мере взаимодействия их с кислородом в спектре наблюдается появление полос поглощения при 723 и 545 см^{-1} , характерных для фосфинооксида (Рис. 1.7) и рост их интенсивности во времени.

Полученные данные позволяют предположить основные стадии превращения металлокомплексов Pd(0) с элементарными лигандами при взаимодействии с молекулярным кислородом в твердой фазе:

- координация молекулы O_2 к центральному атому комплекса;
- окислительно-восстановительные процессы за счет превращений:



приводящие к появлению сигнала ЭПР O_2^- ;

• окислительно-восстановительный процесс и образование связей Pd–O–O–Pd между молекулами комплексов в кристалле, сопровождается уменьшением интенсивности сигнала ЭПР O_2^- и ростом интенсивности сигнала от палладия (I) в РЭ-спектре;

• внутрисферное окисление трифенилфосфина (а также трифениларсина) до трифенилфосфинооксида и трифениларсинооксида соответственно.

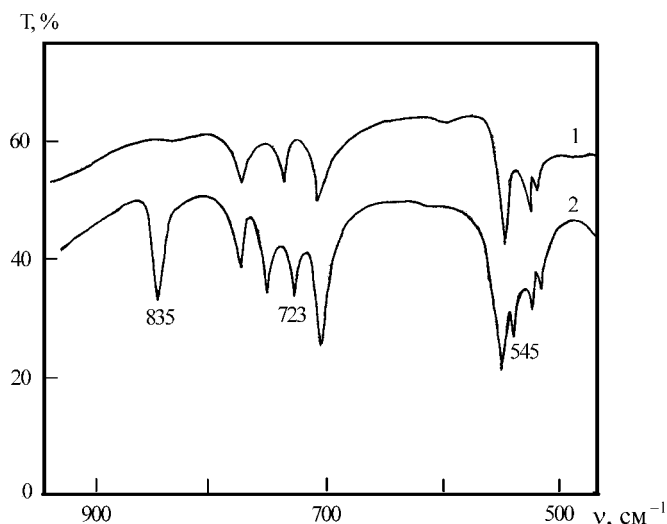


Рис. 1.7. ИК-спектры комплекса $[Pd(Ph_2PC_6H_4F)_2PPh_3]$ до (1) и после (2) его взаимодействия с кислородом в течение 1 ч при $25\text{ }^\circ\text{C}$.

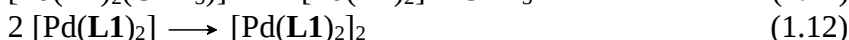
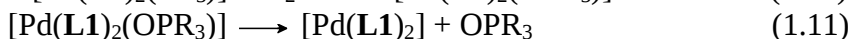
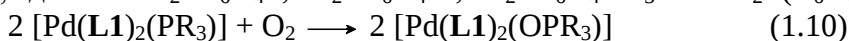
Интересно отметить, что при взаимодействии комплексов палладия(0) с Cl_2 , Br_2 , I_2 сигналы ЭПР не появляются. Судя по всему, при окислении их галогенами *тотчас же* образуются координационные соединения палладия(II). Более того – как показали наши эксперименты, при воздействии свободных галогенов на продукты взаимодействия комплексов палладия(0) с кислородом сигнал ЭПР исчезает.

Изложенное позволяет сделать заключение, что возрастание реакционной способности комплексов палладия(0) после контакта их с молекулярным кислородом обусловлено появлением аддукта $(\frac{1}{2}Pd_2^{2+}-O_2^-)$.

Говоря о процессе окисления комплексов палладия(0) с элементарными органическими лигандами в неводных растворителях (бензоле, хлороформе, ацетоне, 1,4-диоксане и др.), следует отметить, что он протекает значительно быстрее, чем процесс твердофазного окисления этих же соединений. Тем не менее *a priori* можно было бы ожидать, что окисление комплексов в растворе будет протекать через те же стадии, как и в случае окисления их в твердой фазе. Однако при растворении парамагнитного вещества, образующегося при твердофазном окислении комплекса, сигнал ЭПР мгновенно исчезает, и происходит это, повидимому, именно вследствие разрушения аддукта ($\frac{1}{2}\text{Pd}_2^{2+}-\text{O}_2^-$). Следует отметить также то, что в редокс-процессе, протекающем при пропускании O_2 через раствор комплекса Pd(0), никаких парамагнитных соединений обнаружить не удалось.

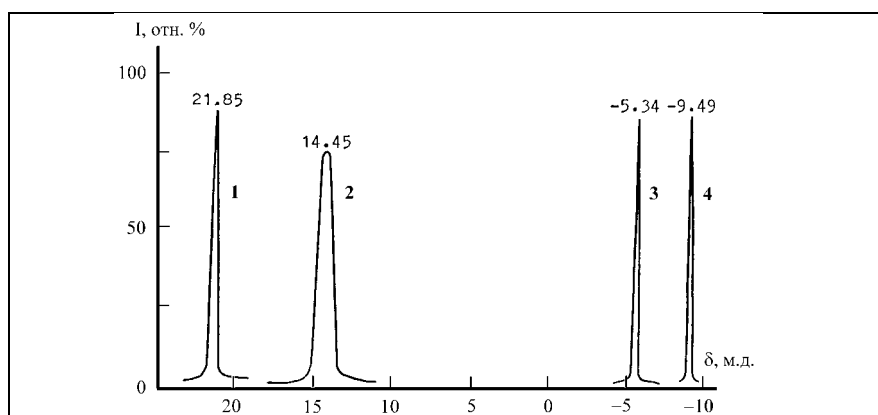
В ИК-спектрах растворов соединений, образовавшихся в результате окисления комплексов Pd(0), имеется полоса поглощения при 300 см^{-1} , характерная для фосфиноксида. По мере взаимодействия комплексов с кислородом интенсивность этой полосы увеличивается. В электронных спектрах растворов комплексов Pd(0), подвергнутых воздействию O_2 , наблюдаются также полосы поглощения при 450–460 нм, появление которой согласно [74] связано с образованием соединений со связью Pd–Pd.

Как было показано в [25,74], образование димеров со связью Pd–Pd при окислении гетеролигандных фосфиновых комплексов Pd(0) типа $[\text{Pd}(\text{L1})_2(\text{PR}_3)]$ (R – алкил или арил) в бензольном растворе происходит в результате окисления фосфинового лиганда до соответствующего фосфиноксида, отщепления последнего с образованием мономерного комплекса палладия(I) $\text{Pd}(\text{L1})_2$ и его последующей димеризации по брутто-схемам (1.10–1.12), где **L1** – $\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F}$, $\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{Cl}$, $\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{CH}_3$ или $\text{Ph}_2\text{P}(\text{C}_6\text{H}_4\text{OCH}_3)$:



Конечные продукты окисления $[\text{Pd}(\text{L1})_2]_2$ – вещества красного цвета были выделены из соответствующих растворов отгонкой растворителя (бензола).

В [75] для исследования взаимодействия комплексов Pd(0) с O_2 нами была использована спектроскопия ЯМР ^{31}P высокого разрешения. На Рис. 4.8 представлен спектр исходного металлокомплекса $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})(\text{PPh}_3)_2]$ и продукта его взаимодействия с молекулярным кислородом.



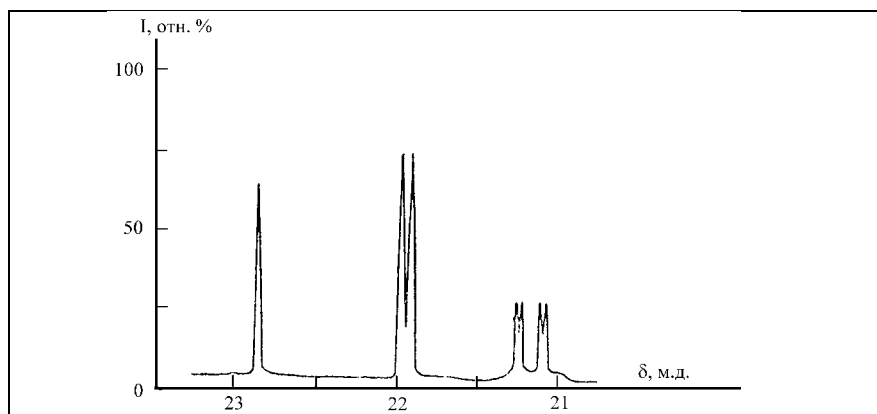


Рис. 1.8. ЯМР³¹P– спектры комплексов [Pd(PPh₃)Cl₂] (1), Pd(Ph₂PC₆H₄F)₂(PPh₃) (2), трифенилфосфина (3), Ph₂PC₆H₄F (4) и спектр высокого разрешения продукта окисления комплекса [Pd(Ph₂PC₆H₄F)(PPh₃)₂] молекулярным кислородом (внизу).

В спектре вышеуказанного продукта наблюдается несколько сигналов: синглет (+23.07 м.д.), соответствующий свободному OPPh₃, дублет (+21.93 м.д.) с $J_{pp} = 1.5$ Гц, обусловленный спин-спиновым взаимодействием лигандов PPh₃ и Ph₂PC₆H₄F, и дублет дублетов (+21.30 м.д.), относящийся к Ph₂PC₆H₄F ($J_{pp} = 6.9$ Гц) и обусловленный спин-спиновым взаимодействием ядра ³¹P с ядром ¹⁹F в *n*-положении фенильной группы. Таким образом, в процессе окисления [Pd(Ph₂PC₆H₄F)(PPh₃)₂] и последующих превращений образуются комплексы Pd(I) с КЧ= 2, в которых к атому палладия координированы два различных фосфиновых лиганда. Точно такой же продукт образуется и при взаимодействии с O₂ комплекса [Pd(Ph₂PC₆H₄F)₂PPh₃].

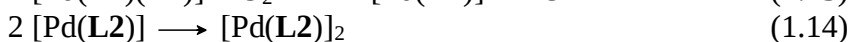
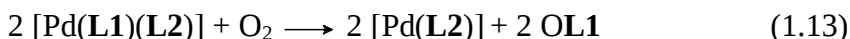
Как и в случае гетеролигандных комплексов с монодентатными лигандами, в электронных спектрах комплексов Pd(0) с моно- и бидентатными лигандами типа Ph₂P(CH₂)₃PPh₂ после взаимодействия их с кислородом появляются полосы при 275 и 450 нм, которые отсутствуют в спектрах исходных соединений. Первая из них свидетельствует об образовании фосфиноксида [83], вторая же может служить своеобразным индикатором образования связи Pd–Pd [41,82]. Выделенные из раствора соединения имеют красно-коричневый цвет, в которых молярное соотношение Pd : P близко к величине 0.5.

Из электронных спектров соединений, однако, неясно, какой именно из координированных элементоорганических лигандов переходит в фосфиноксид. Для выяснения этого вопроса методом ПМР-спектроскопии было исследовано окисление молекулярным кислородом комплексов, содержащих бидентатный лиганд **L2** и монодентатный лиганд **L1** с метильной группой в фенильном ядре заместителя при Р(Ш), которая служила бы в качестве своеобразной «метки» в ПМР–спектрах образующихся координационных соединений.

В спектре ПМР соединения [Pd(Ph₂PCH₂PPh₂)Ph₂PC₆H₄CH₃], растворенного в дейтеробензоле C₆D₆, наблюдаются сигналы с химсдвигами δ= 7.8, 2.8 и 2.1 м.д., соответствующие протонам фенильных, метиленовой и метильных групп. Те же сигналы наблюдаются и в спектре раствора окисленного комплекса. Кроме того, для последнего наблюдается мультиплетный сигнал с химсдвигом 2.9 м.д., который свидетельствует об образовании нового соединения. В спектре выделенного из раствора соединения отсутствует сигнал при 2.1 м.д., отвечающий протонам метильной группы, а вместо триплета протонов метиленовой группы (δ= 2.8 м.д.) появляется мультиплет при 2.9 м.д. Это позволяет предположить, что в ходе окисления кислородом комплекса происходит окисление внутрисферного монодентатного лиганда Ph₂PC₆H₄CH₃.

При изучении окисления $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_2\text{H}_4\text{PPh}_2)\text{AsPh}_3]$ и $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_2\text{H}_4\text{PPh}_2)\text{SbPh}_3]$ было найдено, что окислению подвергаются опять-таки монодентатные лиганды, а именно трифениларсин и трифенилстибин соответственно.

Из растворов комплексов $\text{Pd}(0)$, подвергнутых окислению, были выделены диамагнитные вещества, представляющие собой порошки красно-коричневого цвета, состав которых согласно данным элементного анализа и значению молекулярных масс их состав отвечает формуле $[\text{Pd}(\text{L}2)]_2$. Указанное обстоятельство позволяет предположить следующую схему превращений трехкоординированных комплексов $\text{Pd}(0)$ типа $[\text{Pd}(\text{L}1)(\text{L}2)]$ ($\text{L}1 - \text{PPh}_3, \text{AsPh}_3, \text{SbPh}_3$, $\text{L}2 - \text{Ph}_2\text{E}(\text{CH}_2)_n\text{EPh}_2$; $\text{E} = \text{P}, \text{As}$; $n = 1-3$) при окислении в неводных растворах (1.13-1.14):



Из приведенных данных видно, что димерные комплексы $\text{Pd}(\text{I})$ с бидентатными лигандами более устойчивы в растворах, чем с монодентатными; они не подвергаются дальнейшему окислению, их можно выделить и охарактеризовать. В отличие от них димерные соединения $\text{Pd}(\text{I})$ с монодентатными лигандами подвергаются дальнейшему окислению кислородом, образуя, по-видимому, полимерные соединения переменного состава.

Для выяснения влияния состава координационной сферы на скорость взаимодействия с кислородом в растворе были рассчитаны константы скорости образования $[\text{PdLL}']_2$ [78]. Кинетические кривые окисления молекулярным кислородом в бензольном растворе для металлокомплексов $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{PPh}_3]$, $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{AsPh}_3]$ и $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{SbPh}_3]$ при $T = 298 \text{ K}$ и аналогичные кривые для комплекса $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{PPh}_3]$ при $T = 288, 293, 298$ и 303 K представлены на *Рис. 1.9–1.10*. Как видно из них, этим кривым присущ S-образный характер, что является указанием на автокаталитический характер процесса окисления.

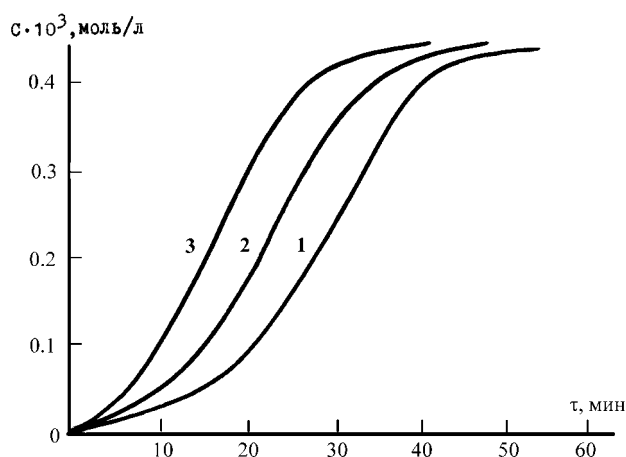


Рис. 1.9. Кинетические кривые окисления металлокомплексов палладия(0) $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{PPh}_3]$ (1), $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{AsPh}_3]$ (2) и $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{SbPh}_3]$ (3) при $T = 298 \text{ K}$.

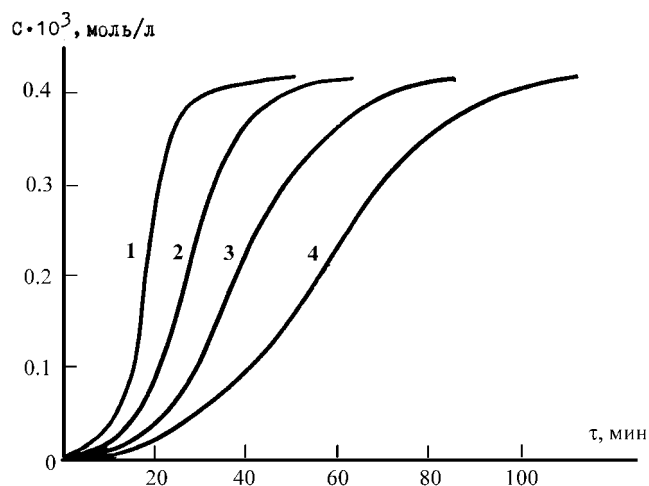


Рис. 1.10. Кинетические кривые окисления металлокомплекса Pd(0) $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{PPh}_3]$ при $T = 288$ (1), 293 (2), 298 (3) и 303 К (4).

В этом случае константы скорости окисления комплексов можно определить путем построения графической зависимости в координатах $\lg \frac{\xi}{1-\xi} - \tau$, где $\xi = C/C_0$ (C – текущая концентрация, C_0 – исходная концентрация комплекса, равная $1.0 \cdot 10^{-3}$ моль/л). Тангенс угла наклона (α) полученной кривой к оси τ составляет $0,434 \text{ K}[C_0]$. Энергию активации процесса можно вычислить исходя из уравнения Аррениуса (1.15)

$$k = k_0 e^{-E/RT} \quad (1.15)$$

методом наименьших квадратов, что и было сделано в [79,80]. Выполненный на основании этих величин расчет термодинамических параметров процесса по выражениям (1.16) и (1.17)

$$\Delta H^* = E - RT \quad (1.16)$$

$$\Delta S^\ddagger = \frac{E}{T} - R \ln \frac{k \cdot N_A \cdot h}{RT} \quad (1.17)$$

дал отрицательное значение энтропии активации ΔS^* , что указывает на ассоциативный характер процесса окисления комплексов Pd(0) (Таблица 1.8). Как видно из представленных в ней значений константы скорости (k), для димерных комплексов палладия(0) она уменьшается в ряду $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{SbPh}_3] > [\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{AsPh}_3] > [\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{PPh}_3]$. Можно полагать, что увеличение в указанном выше ряду лигандов их σ -донорной способности скорее всего работает на уменьшение прочности связи палладий–кислород и тем самым повышает вероятность процесса внутрисферного окисления координированного лиганда и образования димера.

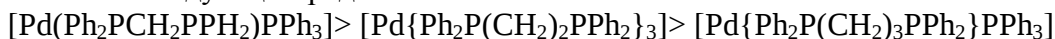
Таблица 1.8.

Константы скорости и термодинамические параметры процесса димеризации $2[\text{PdLL}'] \rightleftharpoons [\text{PdLL}']_2$ [87]

Металлокомплекс	k , л·моль ⁻¹ ·мин ⁻¹			E_a , кДж	$\Delta S^\ddagger$, э.е.*
	288 К	293 К	298 К		
$[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{PPh}_3]$	32.1	52.3	71.9	26.6	-86
$[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{AsPh}_3]$	48.1	87.6	96.4	24.0	-91
$[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{SbPh}_3]$	72.6	110.7	120.1	15.5	-119
$[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PCH}_2\text{PPh}_2)\text{PPh}_3]$	40.5	62.5	88.2	55.2	-
$[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_2\text{H}_4\text{PPh}_2)\text{PPh}_3]$	35.5	56.5	73.8	51.9	-
$[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_3\text{H}_6\text{PPh}_2)\text{PPh}_3]$	28.5	43.4	55.2	46.9	-

* Энтропию активации рассчитывали при 298 К.

По уменьшению скорости окисления комплексов с бидентатными лигандами их можно расположить в следующий ряд:



Этот ряд, кстати, соответствует возрастанию валентного угла $\angle \text{PPdP}$ в комплексах с бидентатными лигандами. Увеличение сферических препятствий для координации молекулы кислорода в указанном ряду затрудняет внутрисферное окисление трифенилфосфина и переход к координационно ненасыщенным и димерным формам комплексов $\text{Pd}(0)$.

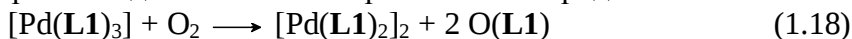
Каталитические реакции. Среди весьма многочисленных известных ныне катализаторов гидрирования, таких как комплексы иридия, рутения, платины с третичными фосфинами [8,81,83], соединения палладия считают относительно малоактивными [83-88]. Фосфиновые комплексы $\text{Pd}(0)$ каталитически активны лишь при повышенной температуре и давлении. Так, $[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_4]$ проявляет активность в гидрировании гексена-1 и октена-1 лишь при 150-250 °С и давлении 700–3000 мПа [89,90]. Обработка же его кислородом приводит к значительному увеличению каталитической активности. Комплексы $\text{Pd}(0)$ с бидентатными фосфинами типа $[\text{Pd}_m\{\text{Ph}_2\text{P}(\text{CH}_2)_x\text{PPh}_2\}_n]$ после обработки их кислородом также повышают свою каталитическую активность в десятки раз (Таблица 1.9).

Таблица 1.9

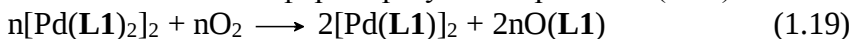
Степень конверсии изопрена при его гидрировании в присутствии комплексов $\text{Pd}(0)$ с бидентатными фосфинами (25°С, 70 мПа)

Металлокомплекс	Предварительная обработка		Степень конверсии, %
	Среда	Время, ч	
$[\text{Pd}_2(\text{Ph}_2\text{PCH}_2\text{PPh}_2)_3]$	аргон	24	0.89
$[\text{Pd}_2(\text{Ph}_2\text{PCH}_2\text{PPh}_2)_3]$	воздух	1	50.0
$[\text{Pd}_2\{\text{Ph}_2\text{P}(\text{CH}_2)_2\text{PPh}_2\}_2]$	аргон	24	4.15
$[\text{Pd}_2\{\text{Ph}_2\text{P}(\text{CH}_2)_2\text{PPh}_2\}_2]$	воздух	1	93.5

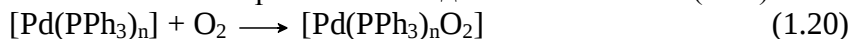
По данным [75], для перевода трехкоординационных комплексов $\text{Pd}(0)$ с монодентатными фосфинами **L1** в каталитически активную форму в реакциях гидрирования достаточно их обработки кислородом в течение 5-15 мин:



Однако при более длительной обработке молекулярным кислородом каталитическая активность металлокомплексов падает, что, по мнению авторов [75], связано с разрушением каталитически активных форм в результате реакции (1.19):



Авторы работы [93] полагают, что активирующее действие кислорода связано с образованием оксигенированных соединений по схеме (1.20):



Известна, однако, и другая точка зрения, согласно которой каталитически активными формами являются кластерные соединения $\text{Pd}(0)$, образующиеся при активировании его трехкоординированных соединений кислородом [94,95].

В [75] на модельной реакции гидрирования стирола до этилбензола в бензольных растворах было проведено изучение каталитической активности и условий активирования комплексов $\text{Pd}(0)$. Сопоставление газовольюмометрических данных поглощения кислорода растворами комплексов палладия(0) (*Рис. 1.11*) с кривыми зависимости степени конверсии стирола в этилбензол от времени активирования, которое обуславливает количество поглощенного кислорода (*Рис. 1.12*), показало, что поглощение кислорода во времени имеет ступенчатый характер. При этом как на первой, так и на второй ступени поглощается 0,5 моль кислорода из расчета на 1 моль соответствующего металлокомплекса.

Из *Рис. 1.12* видно, что ступеням газовольюмометрической кривой на *Рис. 1.11* отвечают максимумы каталитической активности раствора комплекса палладия(0). Первый максимум, вероятно, отвечает образованию димера $[\text{Pd}(\text{L1})(\text{L1})']_2$, второй – полимерным соединениям $\text{Pd}(0)$. При длительном активировании комплексов $\text{Pd}(0)$ кислородом (более 40 мин) каталитическая активность системы уменьшается, что, по-видимому, связано с образованием неактивных соединений типа $[\text{Pd}(\text{L1})_2\text{O}_2]$ [96,97]. Схема активирования комплексов $[\text{Pd}(\text{L1})(\text{L1})']_2$ молекулярным кислородом представлена на *Рис. 1.13*.

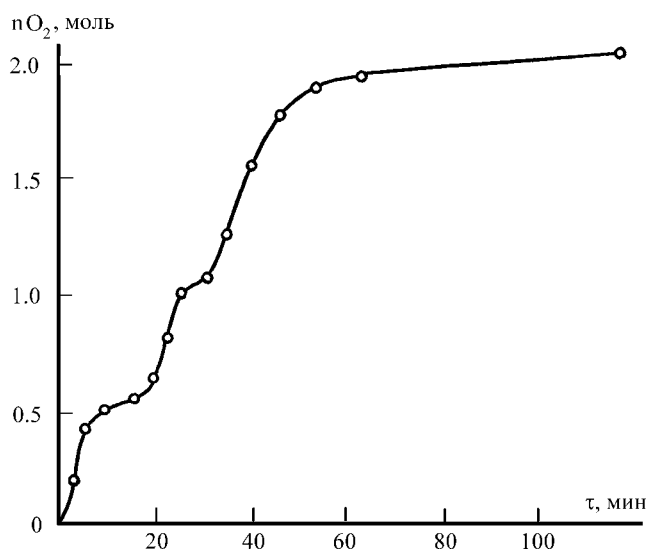


Рис. 1.11. Газовольюмометрические кривые поглощения кислорода комплексом $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{PPh}_3]$ в бензоле.

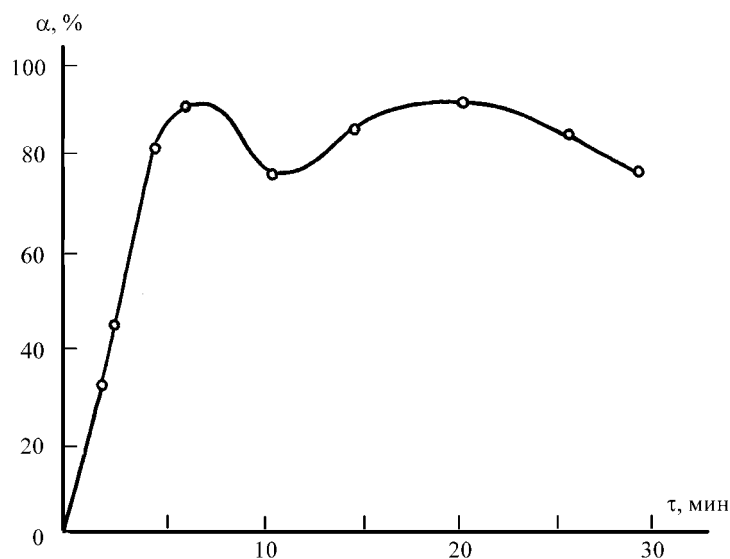


Рис. 1.12. Зависимость степени конверсии (α) стирола от времени предварительной активации комплекса $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{PPh}_3]$ молекулярным кислородом.

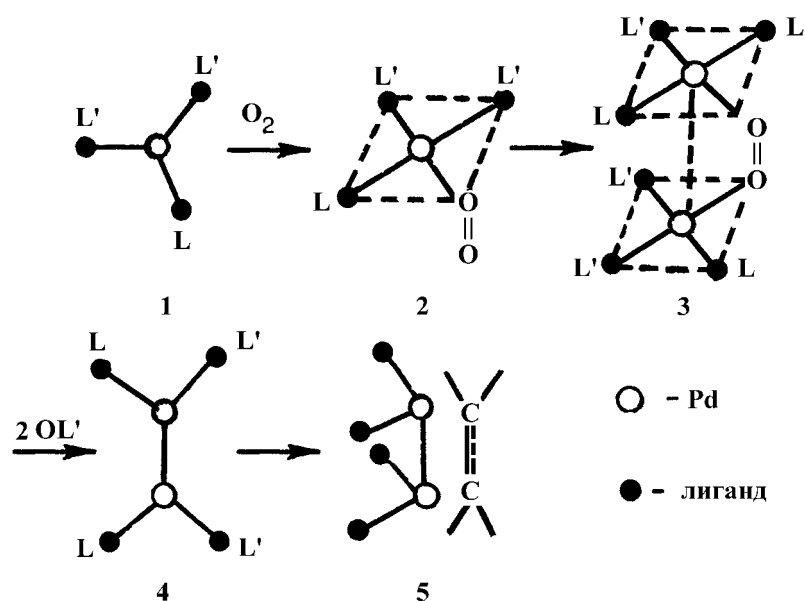
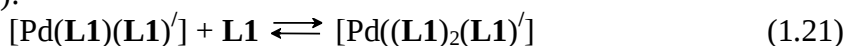


Рис. 1.13. Схема образования каталитически активной формы при активировании комплексов $[\text{Pd}(\text{L1})(\text{L1}')]_2$ кислородом.

При введении в реакцию систему арилфосфинов наблюдается практически полное подавление каталитической активности комплексов, активированных кислородом. Этот феномен, вероятно, связан с присоединением лиганда к моноядерному комплексу по схеме (1.21):



и уменьшением за счет этого равновесной концентрации в растворе каталитически активной димерной формы.

Следует отметить, что ингибирование реакции гидрирования наблюдается также при введении в реакцию систему арсинов и стибиров, а также их элементоксидов. Ингибирующее действие у элементоксидов, однако, выражено несравненно слабее, чем у трифенильных производных фосфора(III), мышьяка(III) и сурьмы(III).

На основании вышеизложенного можно считать, что каталитически активной формой в реакциях гидрирования непредельных соединений является димер $[\text{Pd}(\text{L1})(\text{L1})']_2$ или $[\text{Pd}(\text{L2})]_2$, образующийся по представленной выше схеме.

Следует отметить, что при одинаковых условиях и продолжительности активирования каталитическая активность продуктов окисления гетеролигандных комплексов $\text{Pd}(0)$ – димеров $[\text{Pd}(\text{L1})(\text{L1})']_2$ существенно выше, чем у продуктов окисления гомолигандных комплексов $\text{Pd}(0)$ (Рис. 1.14). Отмеченное обстоятельство следует связывать с различной скоростью окисления фосфинового лиганда и образования каталитически активной димерной формы.

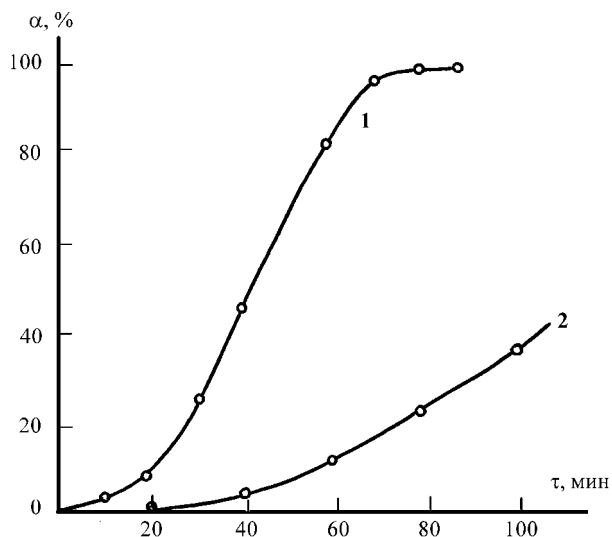


Рис. 1.14. Кинетические кривые конверсии стирола при наличии в реакционной системе комплекса $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{PPh}_3]$ (1) и комплекса $[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_3]$ (2). Время активирования молекулярным кислородом – 5 мин при 25 °С.

На Рис. 1.15 представлены кинетические кривые конверсии стирола в этилбензол в присутствии различных каталитических агентов. Из него хорошо видно, что выделенная димерная форма $[\text{Pd}(\text{L1})(\text{L1})']_2$ гидрирует стирол без сколько-нибудь заметного индукционного периода. Активированный же кислородом комплекс $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{PPh}_3]$, напротив, гидрирует стирол с весьма заметным (~ 15 мин) индукционным периодом, что связано с процессом формирования каталитически активной формы комплекса (см. схему на Рис. 1.13).

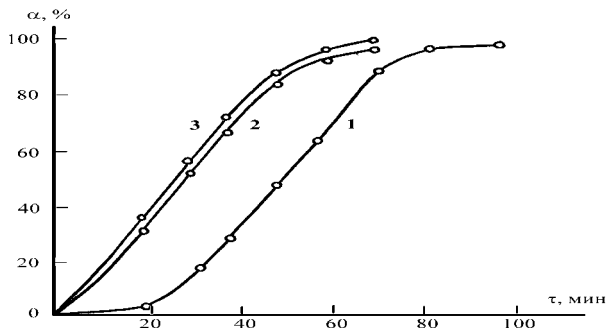


Рис. 1.15. Кинетические кривые конверсии стирола при наличии в реакционной системе комплекса $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{PPh}_3]$ (1), $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})\text{PPh}_3]_2$ (2) и $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})\text{PPh}_3]_2 + \text{O}_2$ (3). Время активирования молекулярным кислородом – 5 мин при 25 °С.

В [75] осуществлены расчеты константы скорости k , энергии E_a и энтропии $\Delta S^\ddagger$ активации процесса гидрирования стирола до этилбензола. Расчеты проводились по выражениям (1.22), (1.23) и (1.24) соответственно:

$$k = \left(\frac{1}{\tau} \cdot C_A\right) \cdot \ln(C_B^0 / C_B^X) \quad (1.22)$$

$$k = k_0 e^{-E/RT} \quad (1.23)$$

$$\Delta S^\ddagger = \frac{E}{T} + R \ln \frac{k N_A h}{RT} \quad (1.24)$$

где C_B^X – текущая концентрация стирола, C_B^0 – исходная концентрация стирола (0,087 моль/л). Для всех рассматривавшихся в цитированной работе металлокомплексов отмечены довольно значительные по модулю отрицательные значения $\Delta S^\ddagger$, что прямо указывает на ассоциативный механизм процесса гидрирования. Этот вывод вполне согласуется с алкеновым механизмом гидрирования стирола [75]. Рассчитанные значения K , E_a и $\Delta S^\ddagger$ приведены в *Таблице 1.10*.

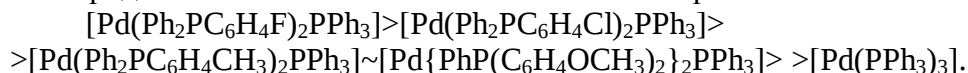
Таблица 1.10.

Константы скорости и термодинамические параметры процесса гидрирования стирола в этилбензол [75]

Металлокомплекс	k , л·моль ⁻¹ ·мин ⁻¹ ·10 ³			E_a , кДж	$\Delta S^\ddagger$, э.е.*
	288 К	293 К	298 К		
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ F) ₂ PPh ₃]	19.9	28.5	53.5	73.1	-63
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ Cl) ₂ PPh ₃]	12.9	22.8	24.3	46.9	-153
[Pd{PhP(C ₆ H ₄ OCH ₃) ₂ } ₂ PPh ₃]	9.2	14.5	19.1	53.8	-133
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ CH ₃)PPh ₃]	11.6	14.3	19.5	38.1	-185
[Pd(PPh ₃) ₃]	1.8	2.7	3.2	42.8	-184
[Pd(Ph ₂ PCH ₂ PPh ₂)] ₂	10.0	23.1	31.6	41.1	-65
[Pd(Ph ₂ P(CH ₂) ₂ PPh ₂)] ₂	11.3	25.5	52.4	55.4	-64
[Pd(Ph ₂ P(CH ₂) ₃ PPh ₂)] ₂	13.2	29.4	71.0	59.0	-63

* Энтропию активации рассчитывали при 298 К.

С учетом этих данных указанные в *Табл. 1.10* комплексы после их активации кислородом по своей каталитической активности располагаются в следующий ряд:

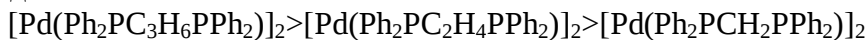


Полученный ряд совпадает с рядом расположения этих же комплексов по склонности их к окислению и образованию димерных соединений [35]. Что характерно, точно в такой же последовательности у замещенных арилфосфинов увеличивается и конический угол:



Таким образом, комплексы, более склонные к образованию при активировании кислородом димерных соединений, содержащие в координационной сфере лиганды с меньшим коническим углом, проявляют и большую каталитическую активность в реакции гидрирования стирола.

В случае димеров типа [Pd(L₂)]₂ каталитическая активность комплексов в указанной реакции возрастает с увеличением числа метиленовых звеньев между донорными атомами лиганда:



В целом же каталитическая активность димерных комплексов палладия(0) определяется наличием связи Pd–Pd. При ее разрыве исчезает и каталитическая активность [78].

Список литературы:

1. Malatesta L., Cariello C. // J. Chem. Soc., 1958. N 8. P. 2323-2328.
2. Malatesta L., Angoletta M. // J. Chem. Soc., 1957. N 7. P.1186-1187.
3. Holah D.C., Hydhes A.N., Hui B.C., Wright K. // Can. J. Chem., 1974. V. 52, N 9. P. 2990-2999.
4. Malatesta L. // Endeavour, 1969. V. 28, N 103. P. 30-34.
5. Green M.L., Munahata H. // J. Chem. Soc., Chem. Commun., 1971, N 11. P. 549-551.
6. Toniolo L., Giustiniani M., Belluco U. // J. Chem. Soc., 1969. N 8. P. 2666-2668.
7. Pornies K., Green M., Spencer L., Strone G. // J. Chem. Soc., Dalton Trans., 1977. N 6. P. 1006-1009.
8. Джеймс Д. Гомогенное гидрирование. Москва, Мир, 1976. С. 730.
9. Malatesta L. // J. Chem. Soc., 1955. N 11. P. 3924-3926.
10. Половняк В.К., Ахметов Н.С. // Вестн. Казанского технол. ун-та, 1998. № 1. С. 38-43.
11. Roffia P., Conti T., Gregorio G. // La Chim., Industria, 1971. V. 53, N 4. P. 361-363.
12. Ухин Л.Ю., Колгоронова Н.А. // Ж.общ. химии, 1983. Т. 53, № 3. С. 703-704.
13. Mednicov E.G., Eremenco L.K, Gubin S.P. // J. Organometal. Chem., 1980. V. 202, N 1. P.102-104.
14. Suzuki K., Okuda H. // Bull. Chem. Soc. Jpn., 1973. V. 46, N 5. P. 1195-1198.
15. Takahashi S., Sonogashira K., Hagihara N. // Nippon Kagaku Zasshi, 1966. N 3. P. 610-613.
16. Chatt J., Hart R. // J. Chem. Soc., 1960. N 5. P. 1378-1379.
17. Chatt J., Hart R., Rosovear D. // J. Chem. Soc., 1961. N 12. P. 5504-5509.
18. Eremenco E.G., Gubin S.P. // J. Organometal. Chem., 1980. V. 202, N 1. P. 104.
19. Chatt J., Hart R., Watson H. // J. Chem. Soc., 1962. N 3, P. 913-915.
20. Chatt J., Watson H. // Nature, 1961. V. 173, N 4789. P. 1003-1004.
21. Engbert M., Jolly P.W., Wilke G. // Angew. Chem., 1971. B. 83, H 2. P. 84-85.
22. Михайлов В.А., Еременко Н.К., Зурин В.Н. // Изв. СО АН СССР, 1973. № 2. С.102-106.
23. Heng B., Jolly P.W., Salz R., Wilke G. // J. Organometal. Chem., 1980. V. 191, N 3. P. 425-448.
24. Schunn R.A. // Inorg. Chem., 1976. V.15, N 1. P. 208-212.
25. Половняк В.К., Слободина В.Ш., Кормачев В.В., Ахметов Н.С. // Ж. неорг. химии, 1983. Т. 28, № 1. С.168-170.
26. Schunn R.A. // Inorg. Chem., 1976. V.15, N 11. P. 2728-2731.
27. Tomio H., Toshida H., Mitoka K., Makoto K. // J. Am. Chem. Soc., 1983. V. 105, N 26. P. 7767-7768.
28. Fischer O.E., Weiner H. / Chem. Ber., 1962. B. 95, H 3. S. 703-708.
29. Halpern B.J., Weil T.A. // J. Chem. Soc., Chem. Commun., 1973. N 17. P. 631-633.
30. Matsumoto M., Yoshida H., Nakatsu K., Otsuka S. // J. Am. Chem. Soc., 1974. V. 96, N 10. P. 3322-3324.
31. Chatt J., Manson R., Meek D.W. // J. Am. Chem. Soc., 1975. V. 97, N 13. P. 3826-3827.
32. Yoshida T. // J. Jpn. Chem., 1978. V. 32, N 6. P. 434-445.
33. Kramer M.E., Burmeister I.L. // Synth. React. Inorg. Metall-Org. Chem., 1977. V. 7, N 1. P. 69-79.
34. Lenarda M., Ros R., Graziani M. // J. Organometal. Chem., 1974. V. 69, N 2. P. 407-416.
35. Слободина В.Ш. Синтез и исследование свойств комплексных соединений палладия(0) с разнородными арилфосфиновыми лигандами. Дисс... канд. хим. наук. Казань, КХТИ, 1983. 129 С.
36. Misino A., Uchida Y., Hidai M., Kudo K. // J. Organometal. Chem., 1969. V. 20, N 1. P. 7-8.

37. Yamagata T., Ibers N., Otsuka S. // J. Am. Chem. Soc., 1978. V. 100, N 9. P. 2063-2073.
38. Colton R., Farthing R.H., Cormick M. // Austral. J. Chem., 1973. V. 26, N 12. P. 2607-2614.
39. Мазиков Л.Н., Войтюк Л.А., Парыгина Г.К. // Ж. структ. химии, 1982. Т. 23, № 3. С. 48-53.
40. Нефедов В.И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений. Москва, Химия, 1984. С. 256.
41. Booch O. // Adv. Inorg. Chem. and Radiochem., 1964. V. 6, N 1. P. 1-69.
42. Ugo R. // Coord. Chem. Revs., 1968. V. 3, N 2. P. 319-344.
43. Пирсон Р. Правила симметрии в химических реакциях. Москва, Мир, 1979. С. 298,335.
44. Tolman C.A. // Chem. Soc. Revs., 1971. V.1, N 2. P. 337-353.
45. Tolman C.A. // Chem. Soc. Revs., 1977. V.7, N 3. P. 313-346.
46. Okamoto K., Kai Y., Yasuoka L., Kasai L. // J. Organometall. Chem., 1974. V. 65, N 3. P. 427-441.
47. Mann B.E., Musco A. // J. Chem. Soc., Dalton Trans., 1975. N 7. P. 1673-1677.
48. Bigorno M. // Bull. Soc. Chim. France, 1960. V. 97, N 12. P. 1986.
49. Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. Москва, 1966. С. 114.
50. Otsuka S., Yoshida T., Matsumoto M., Nakatsu K. // J. Am. Chem. Soc., 1976. V. 97, N 9. P. 5850-5857.
51. Nakamura A., Yoshida T., Cowi M., Otsuka S., Ibers I.L. // J. Am. Chem. Soc., 1977. V. 99, N 7. P. 2108-2117.
52. Urata H., Tsucui T., Suzuki H., Moro-Oka Y., Ikawa T. // Chem. Lett., 1984. N 2. P. 191-194.
53. Otsuka S. // J. Organomet. Chem., 1980. V. 75, N 1.- P. 191-205.
54. Tolman C.A., Seidel W.C., Gerlach D.H. // J. Am. Chem. Soc., 1972. V. 94, N 8. P. 2669-2676.
55. Musco A., Kuran W., Silvani A., Anker W. // J. Chem. Soc., Chem. Commun., 1973. N 5. P. 933-939.
56. Urata H., Tsucui T., Suzuki H., Moro-Oka Y., Ikawa T. // Chem. Lett., 1984. N 2. P.192.
57. Ugo R. // Coord. Chem. Revs., 1968. V. 3, N 3. P. 327.
58. Cariaty F., Ugo R., Bonati F. // Inorg. Chem., 1966. V. 5, N 7. P. 1120-1132.
59. Fitton P., McKeon J. // Chem. Comm., 1968. N 1. P. 4-6.
60. Baird M.C., Wilkinson G. // J. Chem. Soc. A., 1967. N 6. P. 865-872.
61. Wilke G., Shott H., Heibach P. // Angew. Chem., 1967. B. 79, H 1. S. 62-64.
62. Yoshida T., Tatnumi K., Matsumoto M., Nakatsu K., Nakamura A., Fuero T., Otsuka S. // Nouv. J. Chim., 1979. V. 3. N 12. P. 761-774.
63. Kashiwagi T., Yoahida N., Kasai N., Kakudo M., Takahashi S., Otsuka S. // Bull. Chem. Soc. Jpn., 1968. V. 41, N 2. P. 296-303.
64. Otsuka S., Yoshida T., Katsumo X. // J. Am. Chem. Soc., 1971. V. 93, N 24. P. 6462-6469.
65. Polovniak V.K., Slobodina V.Sh., Busigina T.E., Ivantsov A.E. // J. Mol. Liqs., 1984. N 1. P. 123-127.
66. Шубин В.Е., Швец В.А., Савельева Г.А., Потапова Н.М., Казанский В.Б. // Кинетика и катализ, 1982. Т. 25, № 5. С. 1153-1160.
67. Shvets V.A., Kasansky V.B. // J. Catal., 1972. V. 25. N 1. P. 123-130.
68. Исмагилов Э.Г., Тагиев Д.Б., Зулфуганов З.Г., Миначев Х.М. // Докл. АН СССР, 1979. Т. 246. № 3. С. 637-641.
69. Taarin Y.B., Verdine J.C., Dutel J.F., Naccache C. // J. Magn. Res., 1978. V. 31, N 2. P. 251-257.
70. Deal D., Link J.T. // Coord. Chem. Revs., 1981. V. 20, N 9. P. 3995-3997.
71. Misino A., Uchida Y., Hidai M., Kudo K. // J. Organometal. Chem., 1969. V. 20, N 1. P. 8-10.
72. Morgan W.E., Stec W.J., Albridge R.G., Van Waser J.R. // Inorg. Chem., 1971. V. 10, N 5. P. 926-930.
73. Numan J., Wymore G.F., Wilkinson G. // J. Chem. Soc., 1968. N 3. P. 561-563.

74. Половняк В.К., Слободина В.Ш., Садакова Г.П., Ахметов Н.С. // Коорд. химия, 1983. Т. 9, № 1. С.29-34.
75. Адамов Н.И. Синтез, исследование свойств и реакционной способности комплексов палладия(0) с разнородными элементарноорганическими лигандами. Дисс...канд. хим. наук. Казань, КХТИ, 1985. 126 С.
76. Ламберов А.А. Синтез и исследование свойств карбонильных комплексов палладия(II) с элементарноорганическими лигандами. Дисс... канд. хим. наук. Казань, КХТИ, 1985. 134 С.
77. Хадсон Р. Структура и механизм реакций фосфорорганических соединений. Москва, Мир, 1967. С.38.
78. Половняк В.К., Логинова И.В. // Ж. общ. химии, 1990. Т. 60, № 2, С. 271-275.
79. Батунер Л.М., Позин М.Е. Математические методы в химической технике. Москва, Химия, 1968. 673 С.
80. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. Москва, Химия, 1969. С. 432.
81. Уго Р. Аспекты гомогенного гидрирования. Москва, Мир, 1973. 240 С.
82. Binch A.J., Williamson D.H. Organometallic Reactions. Wiley & Sons, New-York, 1976.
83. Рождественская И.Д., Телешов А.Т., Кучеров А.В., Слинкин А.А., Нифантьев Э.Е. // Коорд. химия, 1977. Т. 3, № 8. С. 1126-1134.
84. Jardine I., Howsam R.W., McQuillin F.J. // J.Chem.Soc., 1969. N 2. P. 260-269.
85. Tayim H.A., Bailar J.C. // J. Am. Chem. Soc., 1967. V. 89, N 11. P. 4330-4335.
86. Frankel E.N. // Rev. franc. corp. gras., 1977. V. 24, N 5. P. 241-248.
87. Itatani H., Bailar J.C. // J. Am. Oil Chem. Soc., 1967. V. 44, N 2. P. 147-151.
88. Моисеев И.И. Катализ кластерами палладия / В кн. Механизм катализа. Ч.1. Природа каталитического действия. Москва, Наука, 1984. С. 72-87.
89. Ably P., McQuillin F.J. // Chem. Commun., 1969. N 9. P. 447-478.
90. Шестаков Г.К., Васильев А.М., Тищенко Л.М., Темкин О.Н., Флид Р.М. // Кинетика и катализ, 1974. Т. 15, № 4. С. 1070-1072.
91. Беренблум А.С., Лахман Л.И., Моисеев И.И., Радченко Е.Д. // Коорд. химия, 1976. Т. 2, № 6. С. 841-846.
92. Stern E.W., Marles R.K. // J. Catal., 1972. V.27, N 1. P. 211-218.
93. Беренблум А.С., Лахман Л.И., Моисеев И.И., Радченко Е.Д. // Изв. АН СССР, Сер. хим., 1975. № 11. С. 2417-2421.
94. Pertici P., Vitulli G. // Tetrahedron Lett., 1979. V. 20, N 21. P. 1897-1900.
95. Беренблум А.С., Мунд С.Л., Данилова Л.Г., Моисеев И.И. // Изв. АН СССР, Сер. хим., 1984. № 4. С.905-908.
96. Otsuka S., Yoshida T., Katsumo X. // J. Am. Chem. Soc., 1971. V. 93, N 24. P. 6462-6469.
97. Хенрици-Оливэ, Оливэ Х. Координация и катализ. Москва, Мир, 1980. 543 С.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.01.01

А. Р. Абдуллаев д.ф.-м.н., Э. В. Плехова к.ф.-м.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
факультет Прикладной математики и механики
кафедра «Высшая математика»
Россия, г. Пермь
h.m@pstu.ru

О СПЕКТРЕ ОПЕРАТОРА ЧЕЗАРО

Для оператора $A: L_2 \rightarrow L_2$, $(Ax)(t) = \frac{1}{t^{\alpha+1}} \int_0^t s^\alpha x(s) ds$, $\alpha \in (-1/2; +\infty)$ получено полное описание спектра $\sigma(A)$ и спектра сюръективности $\sigma_q(A)$ - совокупности тех $\lambda \in \mathbb{C}$, при которых оператор $\lambda I - A$ не является всюду разрешимым.

Ключевые слова: оператор Чезаро, спектр.

Рассматривается интегральный оператор

$$(Ax)(t) = \frac{1}{t^{\alpha+1}} \int_0^t s^\alpha x(s) ds, \quad (1)$$

в пространстве $L_2 = L_2[0;1]$ - суммируемых по Лебегу с квадратом функций. В частном случае (при $\alpha = 0$) оператор, определенный равенством

$$(A_0 x)(t) = \frac{1}{t} \int_0^t x(s) ds, \quad (2)$$

принято называть *оператором Чезаро* (как непрерывный аналог метода усреднения последовательностей по Чезаро). Это же название сохраним и для оператора (1).

Оператор Чезаро занимает значительное место в теории линейных интегральных уравнений и в теории линейных операторов. Впервые оператор A_0 был исследован Г. Харди [1, стр.289]. Одним из первых результатов в этом направлении является следующий: оператор A_0 ограничен, но не вполне непрерывен и $\|A\|_{L_2 \rightarrow L_2} = 2$. Полное описание спектра оператора A_0 в пространстве $L_p[0;1]$, $1 < p \leq \infty$ получено в работе [2].

Оператор (1) возникает, в частности, при исследовании краевых задач для сингулярного дифференциального уравнения

$$t^{-\alpha} \left(t^\beta x(t) \right)' + a(t) x(t) = f(t, x(t)), \quad (3)$$

где $\beta = \alpha + 1$, в пространствах таких абсолютно непрерывных на отрезке $[0;1]$ функций $x(\cdot)$, что $y \in L_2$, где $y(t) = t^{-\alpha} \left(t^\beta x(t) \right)'$. При исследовании краевых задач для уравнения (3) особый интерес представляет описание тех значений $\lambda \in \mathbb{C}$, при которых оператор

$A(\lambda) = \lambda I - A$ является сюръективным. В соответствии с общим определением спектра относительно устойчивого свойства [3], спектр сюръективности определим равенством

$$\sigma_q(A) = \{\lambda \in C : R(A(\lambda)) \neq L_2\},$$

где $R(A(\lambda))$ - образ оператора $A(\lambda)$, т.е. $\sigma_q(A)$ объединяет все $\lambda \in C$, при которых оператор $A(\lambda)$ перестает быть сюръективным.

Известно [3], что спектр сюръективности $\sigma_q(A)$ является непустым замкнутым ограниченным множеством, причем $\sigma_q(A) \subset \sigma(A)$.

В предлагаемой работе получено описание спектра сюръективности $\sigma_q(A)$ и спектра $\sigma(A)$ оператора Чезаро (1) для всех значений параметра $\alpha \in (-1/2; +\infty)$, при которых он является ограниченным. Основным результатом является следующая

Теорема. Пусть оператор $A: L_2 \rightarrow L_2$ определен равенством (1) и $\alpha \in (-1/2; +\infty)$. Тогда

$$1) \sigma_q(A) = \{\lambda \in C : |\lambda - (2\alpha + 1)^{-1}| = (2\alpha + 1)^{-1}\};$$

$$2) \sigma(A) = \{\lambda \in C : |\lambda - (2\alpha + 1)^{-1}| \leq (2\alpha + 1)^{-1}\}.$$

Всюду далее L_2 - гильбертово пространство комплекснозначных функций $x: [0; 1] \rightarrow C$ со скалярным произведением $(\cdot, \cdot)$ и нормой $\|\cdot\|$, порождаемой скалярным произведением. Как известно, сопряженный с $A: L_2 \rightarrow L_2$ оператор $A^*: L_2 \rightarrow L_2$, определяется равенством

$$(A^* \omega)(t) = t^\alpha \int_t^1 \frac{\omega(s)}{s^{\alpha+1}} ds.$$

Лемма 1. Если $\alpha \in (-1/2; +\infty)$, то оператор $A: L_2 \rightarrow L_2$ ограничен и

$$\|A\|_{L_2 \rightarrow L_2} = \frac{2}{1 + 2\alpha}. \quad (4)$$

Доказательство. Неравенство $\|Ax\| \leq \frac{2}{2\alpha + 1} \|x\|$ следует из результатов работы [2] (лемма 2.2). Для доказательства равенства (4) рассмотрим последовательность

$$x_n(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 1/n^2, \\ 1/\sqrt{2t \ln n}, & t > 1/n^2. \end{cases}$$

Очевидно, что $\|x_n\| = 1$ при всех $n \in N$. Имеем

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|Ax_n\|^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2}{(2\alpha + 1)^2 \ln n} \left(\frac{4}{(2\alpha + 1)n^{2\alpha+1}} - \frac{1}{(2\alpha + 1)n^{4\alpha+2}} + 2 \ln n + \frac{3}{2\alpha + 1} \right) = \left(\frac{2}{2\alpha + 1} \right)^2.$$

Теперь выполнение равенства (4) очевидно. Лемма доказана.

Всюду далее предполагается выполненным условие $\alpha \in (-1/2; +\infty)$, гарантирующее ограниченность оператора $A: L_2 \rightarrow L_2$. Следующее утверждение доказывается непосредственным применением неравенства Гельдера.

Лемма 2. Для произвольного $x \in L_2$ справедливо равенство

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{1}{t^{\alpha+1/2}} \int_0^t s^\alpha x(s) ds = 0.$$

Лемма 3. Справедливо неравенство

$$\left\| \frac{1}{1+2\alpha} x - Ax \right\| \leq \frac{1}{1+2\alpha} \|x\|, \quad x \in L_2.$$

Доказательство. Предварительно докажем неравенство

$$\operatorname{Re}(x, Ax) \geq \frac{2\alpha+1}{2} \|Ax\|^2, \quad x \in L_2. \quad (5)$$

Для произвольного элемента $x \in L_2$ имеем

$$I \stackrel{\text{об}}{=} \operatorname{Re}(x, Ax) = \int_0^1 \frac{x_1(t)}{t^{\alpha+1}} \int_0^t x_1(s) s^\alpha ds dt + \int_0^1 \frac{x_2(t)}{t^{\alpha+1}} \int_0^t x_2(s) s^\alpha ds dt,$$

где $x_1(t) = \operatorname{Re} x(t)$, $x_2(t) = \operatorname{Im} x(t)$.

Преобразуем интегралы в правой части, используя формулу интегрирования по частям. При этом в условной записи подстановки границ интегрирования воспользуемся утверждением леммы 2.

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2} t^{-2\alpha-1} \left(\int_0^t x_1(s) s^\alpha ds \right)^2 \Big|_0^1 + \frac{1}{2} \int_0^1 (2\alpha+1) t^{-2\alpha-2} \left(\int_0^t x_1(s) s^\alpha ds \right)^2 dt + \frac{1}{2} t^{-2\alpha-1} \left(\int_0^t x_2(s) s^\alpha ds \right)^2 \Big|_0^1 + \\ &+ \frac{1}{2} \int_0^1 (2\alpha+1) t^{-2\alpha-2} \left(\int_0^t x_2(s) s^\alpha ds \right)^2 dt = \frac{1}{2} \left(\int_0^1 x_1(s) s^\alpha ds \right)^2 + \frac{2\alpha+1}{2} \int_0^1 \left(\frac{1}{t^{\alpha+1}} \int_0^t s^\alpha x_1(s) ds \right)^2 dt + \\ &+ \frac{1}{2} \left(\int_0^1 x_2(s) s^\alpha ds \right)^2 + \frac{2\alpha+1}{2} \int_0^1 \left(\frac{1}{t^{\alpha+1}} \int_0^t s^\alpha x_2(s) ds \right)^2 dt \geq \\ &\geq \frac{2\alpha+1}{2} \int_0^1 \left(\frac{1}{t^{\alpha+1}} \int_0^t s^\alpha x_1(s) ds \right)^2 dt + \frac{2\alpha+1}{2} \int_0^1 \left(\frac{1}{t^{\alpha+1}} \int_0^t s^\alpha x_2(s) ds \right)^2 dt \end{aligned}$$

Так как $\|Ax\|^2 = \|Ax_1\|^2 + \|Ax_2\|^2$, то $I \geq \frac{2\alpha+1}{\alpha} \|Ax\|^2$. Неравенство (5) доказано.

В равенстве

$$\left\| \frac{1}{1+2\alpha} x - Ax \right\|^2 = \frac{1}{(1+2\alpha)^2} \|x\|^2 - \frac{2}{1+2\alpha} \operatorname{Re}(x, Ax) + \|Ax\|^2$$

произведем оценку второго слагаемого, воспользовавшись неравенством (5).

$$\left\| \frac{1}{1+2\alpha} x - Ax \right\|^2 \leq \frac{1}{(1+2\alpha)^2} \|x\|^2 - \frac{2\alpha+1}{2} \frac{2}{1+2\alpha} \|Ax\|^2 + \|Ax\|^2 = \frac{1}{(1+2\alpha)^2} \|x\|^2.$$

Лемма доказана.

Лемма 4. Для сопряженного оператора A^* справедливо равенство

$$\left\| \frac{1}{1+2\alpha} \omega - A^* \omega \right\| = \frac{1}{1+2\alpha} \|\omega\|, \quad \omega \in L_2.$$

Доказательство леммы 4, повторяет доказательство леммы 3, с тем лишь отличием, что при подстановке пределов интегрирования в формуле интегрирования по частям соответствующие слагаемые равны нулю.

Перейдем к доказательству основного результата.

Доказательство теоремы.

Определим множество $\bar{D} = \left\{ \lambda \in \mathbb{C} : \left| \lambda - (2\alpha + 1)^{-1} \right| \leq (2\alpha + 1)^{-1} \right\}$ - замкнутый круг на комплексной плоскости радиуса $(2\alpha + 1)^{-1}$ с центром в точке $(2\alpha + 1)^{-1}$ и пусть D , ∂D - внутренность и граница $\bar{D}$ соответственно.

Для доказательства утверждения 1) достаточно установить равенство $\sigma_q(A) = \partial D$. Для произвольных $\lambda \in \mathbb{C}$ и $\omega \in L_2$, с учетом утверждения леммы 4, имеем

$$\left\| \bar{\lambda} \omega - A^* \omega \right\| \geq \left\| \left(\bar{\lambda} - \frac{1}{1+2\alpha} \right) \omega \right\| - \left\| \frac{1}{1+2\alpha} \omega - A^* \omega \right\| = \left\| \bar{\lambda} - \frac{1}{1+2\alpha} \right| - \frac{1}{1+2\alpha} \left\| \omega \right\|.$$

Из последнего неравенства следует, что для любого $\lambda \notin \partial D$ оператор $A^*(\lambda)$ удовлетворяет неравенству $\left\| A^*(\lambda) \omega \right\| \geq c \left\| \omega \right\|$ с константой $c = \left| \bar{\lambda} - \frac{1}{1+2\alpha} \right| - \frac{1}{1+2\alpha} > 0$. В

такой ситуации A^* будем называть корректно разрешимым ([4, стр. 7]). Согласно теореме 4.15 [5] оператор $A(\lambda)$ всюду разрешим. Иными словами, показано включение $\sigma_q(A) \subset \partial D$.

Для доказательства равенства 1) докажем обратное включение.

Для $\lambda \neq 0$, такого что $\left| \lambda - \frac{1}{1+2\alpha} \right| = \frac{1}{1+2\alpha}$, рассмотрим последовательность $\omega_n(\cdot)$.

$$\omega_n(t) = \begin{cases} 0, & t \leq \frac{1}{n^2}, \\ \frac{t^{\alpha - \frac{1}{\lambda}}}{\sqrt{2 \ln n}}, & t > \frac{1}{n^2}. \end{cases}$$

Отметим, что $\omega_n \in L_2$ и $\left\| \omega_n \right\| = 1$ при всех $n \in \mathbb{N}$.

$$\begin{aligned} \left\| \bar{\lambda} \omega_n - A^* \omega_n \right\|^2 &= \int_0^{1/n^2} \left| \frac{\lambda}{\sqrt{2 \ln n}} t^\alpha \left(1 - n^{\frac{2}{\lambda}} \right) \right|^2 dt + \int_{1/n^2}^1 \left| \frac{\lambda t^\alpha}{\sqrt{2 \ln n}} \right|^2 dt \leq \frac{\left(\left| n^{-2\alpha-1} \right| + \left| n^{\frac{2}{\lambda}-2\alpha-1} \right| \right)^2}{\ln n} = \\ &= \frac{\left(n^{-2\alpha-1} + n^0 \right)^2}{\ln n} \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0 \end{aligned}$$

Отсюда следует, что $\lambda \in \sigma_q(A)$. Для доказательства включения $0 \in \sigma_q(A)$ рассмотрим единичную по норме последовательность $\omega_n(t) = \sqrt{2n+1} t^n$. Так как

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left\| A \omega_n \right\| = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2n+1}{(n-\alpha)^2} \left(\frac{1}{1+2\alpha} - \frac{2}{1+\alpha+n} + \frac{1}{1+2n} \right) = 0, \text{ то } 0 \in \sigma_q(A).$$

Первое утверждение теоремы доказано.

Перейдем к доказательству второго. Для произвольного $\lambda \notin \bar{D}$ имеем

$$\left\| \lambda x - Ax \right\| = \left\| \lambda x - \frac{1}{2\alpha+1} x - \frac{1}{2\alpha+1} x - Ax \right\| \geq \left\| \left(\lambda - \frac{1}{2\alpha+1} \right) x \right\| - \left\| \frac{1}{2\alpha+1} x - Ax \right\|.$$

Для оценки второго слагаемого воспользуемся утверждением леммы 3.

$$\|\lambda x - Ax\| \geq \left| \lambda - \frac{1}{2\alpha+1} \right| \|x\| - \frac{1}{2\alpha+1} \|x\| = \left(\left| \lambda - \frac{1}{2\alpha+1} \right| - \frac{1}{2\alpha+1} \right) \|x\| > 0.$$

Таким образом, для любого $\lambda \notin \bar{D}$ оператор $A(\lambda)$ корректно разрешим.

Из корректной разрешимости операторов $A(\lambda)$ и $A^*(\lambda)$ для всех $\lambda \notin \bar{D}$, следует включение

$$\sigma(A) \subset \bar{D}. \quad (6)$$

Докажем обратное включение.

Пусть $\lambda \in D$. Тогда

$$\operatorname{Re} \left(\frac{1}{\lambda} - \alpha - 1 \right) > -\frac{1}{2}. \quad (7)$$

Функция $x_0(t) = t^{\frac{1}{\lambda} - \alpha - 1}$ является решением уравнения $\lambda x = Ax$ и, в силу условия (7), принадлежит пространству L_2 . Это означает, что все точки множества D принадлежат точечному спектру [6, стр.211] оператора (1). Из первого утверждения теоремы следует, что $\partial D \subset \sigma(A)$. Теорема доказана.

Таким образом, спектром оператора A является круг радиуса $(2\alpha+1)^{-1}$ в правой комплексной полуплоскости, касающийся мнимой оси в начале координат. Такая структура спектра, в частности, говорит о том, что оператор A при всех $\alpha \in (-1/2; +\infty)$ не является вполне непрерывным. Кроме того, с возрастанием α , спектр оператора «сужается». Эта особенность может применяться при исследовании краевых задач для сингулярных дифференциальных уравнений (например, для уравнений вида (3)). Выбор параметра α фактически определяет переход от краевой задачи к вспомогательному интегральному или операторному уравнению.

Список литературы:

1. Харди Г. Г., Литтльвуд Д. Е., Полиа Г. Неравенства. - М.: ИЛ, 1948.- 456 с.
2. Muntean I. The spectrum of the Cesaro operator // Mathematica. – 1980. – Vol. 22 - P. 97-105.
3. Abdullaev A.R. Steady properties of elements in Banach spaces. Memories Different. Equations and Math. Ph. Tbilisi. 2002. Vol. 26, p.9-30.
4. Крейн С.Г. Линейные уравнения в банаховом пространстве. - М.: Наука, 1971.- 104 с.
5. Рудин У. Функциональный анализ. - М.: Мир, 1975. – 448 с.
6. Рид М., Саймон Б. Методы современной математической физики. - М.: Мир. 1977. – 354 с.

А. С. Андреев д.ф.-м.н., А. В. Аминаров, П. А. Вельмисов д.ф.-м.н.

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

Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/11180) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт П/1122).

МЕТОД ФУНКЦИОНАЛОВ ЛЯПУНОВА В ЗАДАЧЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ УРАВНЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНОГО ТИПА

В работе доказаны новые теоремы об асимптотической устойчивости нулевого решения уравнения нейтрального типа. Указывается их применение в задаче об устойчивости неустановившегося движения упругого тела в сплошной среде.

Ключевые слова: функционально-дифференциальное уравнение нейтрального типа, предельное уравнение, устойчивость, функционал Ляпунова.

Пусть R^n — действительное n -мерное пространство с нормой $|\cdot|$, B — действительное векторное пространство непрерывных функций, отображающих $R^- = (-\infty, 0]$ в R^n , и $\varphi = \psi$ в B , если $\varphi(s) = \psi(s)$ для всех $s \in R^-$; в пространстве B определена норма $|\cdot|_B$ такая, что $(B, |\cdot|_B)$ является сепарабельным банаховым пространством.

Для функции $x \in C((-\infty, A), R^n)$, $-\infty < A, +\infty$, определим функцию $x_t : R^- \rightarrow R^n$ по формуле $x_t(s) = x(t+s)$, $s \in R^-$ для каждого $t < A$.

Для произвольного $a > 0$ определим множества $B_a = \{\varphi \in B : |\varphi|_B < a\}$, $\bar{B}_a = \{\varphi \in B : |\varphi|_B \leq a\}$.

Пусть $\Gamma_0 \subset R^+ \times B$ открыто, и пусть $F : \Gamma_0 \rightarrow R^n$, $G : \Gamma_0 \rightarrow R^n$ — заданные непрерывные функции. Соотношение

$$\frac{d}{dt}[x(t) - G(t, x_t)] = F(t, x_t) \quad (1)$$

называется функционально-дифференциальным уравнением нейтрального типа НФДУ(F, G), определенное на Γ_0 .

Для данного НФДУ(F, G) функция x называется решением уравнения (1) на $(-\infty, \alpha + A)$, если $\alpha \in R$, $A > 0$ таковы, что $(t, x_t) \in \Gamma_0$, $t \in [\alpha, \alpha + A)$, выражение $x(t) - G(t, x_t)$ имеет непрерывную производную и удовлетворяет уравнению (1) на $[\alpha, \alpha + A)$.

Для заданных $\alpha \in R$, $\varphi \in B$, $(\alpha, \varphi) \in \Gamma_0$ функция $x(t, \alpha, \varphi)$ есть решение, начинающееся в точке (α, φ) , если имеется $A > 0$, такое, что $x(t, \alpha, \varphi)$ есть решение уравнения (3.4.1) на $(-\infty, \alpha + A)$ и $x_t(\alpha, \varphi)$ при $t = \alpha$ равна φ , т. е. $x_\alpha(\alpha, \varphi) = \varphi$.

Будем полагать, что функции $F, G: \Gamma_0 \rightarrow R^n$ непрерывны на Γ_0 , причем $G(t, \varphi)$ удовлетворяет условию Липшица:

$$|G(t_2, \varphi_2) - G(t_1, \varphi_1)| \leq N |t_2 - t_1| + \lambda P \varphi_2 - \varphi_1 P, \quad (2)$$

где $(t_i, \varphi_i) \in \Gamma_0$, $i = 1, 2$, N, λ — константы, $0 < \lambda < 1$, а функция F удовлетворяет условию Липшица по φ :

$$|F(t, \varphi) - F(t, \psi)| \leq L P \varphi - \psi P, \quad (3)$$

где L — константа, $(t, \varphi), (t, \psi) \in \Gamma_0$.

При этих условия для каждой точки $(\alpha, \varphi) \in \Gamma_0$ решение $x(t, \alpha, \varphi)$ является единственным и непрерывно зависит от начальных условий.

Будем полагать, что пространство B является пространством с равномерно исчезающей памятью [1, 2, 3].

Введем следующие предположения относительно функций $F(t, \varphi)$ и $G(t, \varphi)$.

Предположение 1 Функция $F(t, \varphi)$ удовлетворяет условию: для каждого числа τ , $0 < \tau < H$, существует число $M(\tau)$, такое, что $|F(t, \varphi)| < M$, где $t \in [0, +\infty)$, $\varphi(s) \in C_\tau$.

Предположение 2 Функции $F(t, \varphi)$, $G(t, \varphi)$ ограничены, равномерно непрерывны на каждом множестве $R^+ \times K$, где $K \subset B_H$ — произвольное компактное множество из B_H , так что $\forall K \subset B_H$, $\forall \varepsilon > 0 \exists m(K)$ и $\delta = \delta(\varepsilon, K) > 0$ такие, что $\forall (t, \varphi), (t_1, \varphi_1), (t_2, \varphi_2) \in R^+ \times K$, $|t_2 - t_1| \leq \delta$, $P \varphi_2 - \varphi_1 P \leq \delta$ имеют место соотношения:

$$\begin{aligned} |F(t, \varphi)| &\leq m, \quad |F(t_2, \varphi_2) - F(t_1, \varphi_1)| < \varepsilon, \\ |G(t, \varphi)| &\leq m, \quad |G(t_2, \varphi_2) - G(t_1, \varphi_1)| < \varepsilon. \end{aligned} \quad (4)$$

Заметим, что последнее условие для функции $G(t, \varphi)$ является следствием (2)

При предположениях 1 и 2 семейство сдвигов $\{F^\tau(t, \varphi) = F(t + \tau, \varphi), \tau \in R^+\}$ и семейство сдвигов $\{G^\tau(t, \varphi) = G(t + \tau, \varphi), \tau \in R^+\}$ равномерно ограничены и равностепенно непрерывны на $R^+ \times K$, где K — произвольный компакт из B_H .

Это позволяет ввести следующие определения.

Компактной оболочкой $H^+(F, G)$ функций $F(t, \varphi)$ и $G(t, \varphi)$, определенных на $R^+ \times B_H$ и удовлетворяющих вышесделанным предположениям, называется множество совокупностей (F^*, G^*, Λ) , где $F^*, G^* \in C(\Lambda, R^n)$, $\Lambda = R^+ \times \Lambda_1$, $\Lambda_1 \subset B_H$, таких, что существует последовательность $t_n \rightarrow +\infty, n \rightarrow \infty$, для которой $\{F(t + t_n, \varphi)\}$ равномерно сходится к $F^*(t, \varphi)$, а $\{G(t + t_n, \varphi)\}$ равномерно сходится к $G^*(t, \varphi)$ на каждом множестве $[0, n] \times K$, где $n = 1, 2, \dots$, множество K — компакт из Λ_1 .

Функции F^* и $G^*: R^+ \times \Lambda_1 \rightarrow R^n$ называются предельными к функциям F и G .

Для каждой $(F^*, G^*, \Lambda) \in H^+(F, G)$ можно определить предельное уравнение:

$$\frac{d}{dt} [x(t) - G^*(t, x_t)] = F^*(t, x_t). \quad (5)$$

Взаимосвязь решений (1) и (5) дается следующей теоремой.

Теорема 1 Пусть $x = x(t, \alpha, \varphi)$ есть решение (1), $|x(t, \alpha, \varphi)| \leq \tau < H$.

Тогда положительное предельное множество этого решения квазиинвариантно к семейству предельных уравнений (5), а именно, для каждого элемента $\psi \in \Omega^+(x_t(\alpha, \varphi))$ существует

$(F^*, G^*, \Lambda) \in H^+(F, G)$ и уравнение $\frac{d}{dt}[y(t) - G^*(t, y_t)] = F^*(t, y_t)$ такое, что для решения этого уравнения $y(t, 0, \psi)$ выполняется соотношение $\{y_t(0, \psi) : t \in R^+\} \subset \Omega^+(x_t(\alpha, \varphi))$.

Обозначим через $Z(t, x_t) = x(t) - G(t, x_t)$ ядро уравнения (1).

Пусть $V(t, x_t, Z(t, x_t)) : R^+ \times B_H \rightarrow R$ — некоторый функционал, определенный и непрерывный по совокупности аргументов для всех $x_t \in B_H$ и $t \in R^+$, и его производная $\frac{dV}{dt}$ в силу системы (1) существует. Под $\frac{dV}{dt}$ понимается верхняя правосторонняя производная функционала $V = V(t, x_t, Z(t, x_t))$ вдоль решения $x = x(t, \alpha, \varphi)$ в точке (t_1, x_{t_1}) :

$$\dot{V}(t_1, x_{t_1}) = \limsup_{h \rightarrow 0^+} \frac{1}{h} (V(t_1 + h, x_{t_1+h}, Z(t_1 + h, x_{t_1+h})) - V(t_1, x_{t_1}, Z(t_1, x_{t_1}))).$$

Допустим, что для производной $\frac{dV}{dt}$ имеет место следующая оценка:

$$\dot{V}(t, \varphi, Z(t, \varphi)) \leq -W(t, \varphi) \leq 0, \quad \forall (t, \varphi) \in R^+ \times B_H.$$

Допустим, что непрерывная функция $W = W(t, \varphi)$ ограничена и равномерно непрерывна на каждом множестве $R^+ \times K$, K — компакт из B_H .

Компактной оболочкой $H^+(F, G, W, \Lambda)$ функций $F(t, \varphi)$, $G(t, \varphi)$ и $W(t, \varphi)$, определенных на $R^+ \times B_H$ и удовлетворяющих вышеустановленным требованиям, называется множество предельных совокупностей (F^*, G^*, W^*, Λ) , где $F^*, G^*, W^* \in C(\Lambda, R^n)$, $\Lambda = R^+ \times \Lambda_1$, $\Lambda_1 \subset B_H$ таких что существует последовательность $t_n \rightarrow +\infty, n \rightarrow \infty$, для которой $\{F^n(t, \varphi)\}$ равномерно сходится к $F^*(t, \varphi)$, $\{G^n(t, \varphi)\}$ равномерно сходится к $G^*(t, \varphi)$, $\{W^n(t, \varphi)\}$ — к $W^*(t, \varphi)$ на каждом множестве $[0, n] \times K$, где $n = 1, 2, \dots$, множество K — компакт из Λ_1 .

Тогда для любой $\psi \in \Omega^+(x_t(\alpha, \varphi))$ существует предельная совокупность $(F^*, G^*, W^*, \Lambda) \in H^+(F, G, W)$, такая, что для решения $y(t, 0, \psi)$ уравнения $\frac{d}{dt}[y(t) - G^*(t, y_t)] = F^*(t, y_t)$ выполняются соотношения $\{y_t(0, \psi) : t \in R\} \subset \Omega^+(x_t(\alpha, \varphi))$ и $\{y_t(0, \psi) : t \in R\} \subset \{W^*(t, \varphi) = 0\}$.

Допустим, что $G(t, 0) \equiv 0$ и $F(t, 0) \equiv 0$. Тогда (1) имеет нулевое решение, отвечающее начальной функции $\varphi(s) \equiv 0$.

В [4] доказана теорема об асимптотической устойчивости на основе функционала Ляпунова со знакоопределенной по ядру производной. Ослабим условие этой теоремы. Перейдем к исследованию асимптотической устойчивости решения уравнения (1) в предположении существования функционала Ляпунова со знакопостоянной по ядру производной.

Теорема 2 Предположим, что:

1) существует непрерывный функционал $V(t, x_t, Z(t, x_t)) : R^+ \times B_H \rightarrow R$, производная которого в силу системы (1) существует, при этом:

$$\omega_1(|Z(t, x_t)|) \leq V(t, x_t, Z(t, x_t)) \leq \omega_2(P x_t P);$$

$$\frac{dV}{dt} \leq -W(t, \varphi) \leq 0;$$

2) существует последовательность $t_n \rightarrow +\infty$, такая, что для любой предельной совокупности (F^*, G^*, W^*, Λ) , которая соответствует этой последовательности, множество $\{W^*(t, \varphi) = 0\}$ содержит из всех решений уравнения (5) только тривиальное $y = 0$.

Тогда решение $x = 0$ уравнения (1) асимптотически устойчиво.

При рассмотрении вопроса о равномерной асимптотической устойчивости нулевого решения (1) с использованием свойств предельной системы (5) возникает проблема наложения дополнительных условий.

Допустим, что множество $\Omega^+(x_i(\alpha, \varphi))$ имеет свойство равностепенной непрерывности, если каждое отображение $u(t) \in \Omega^+$ равномерно непрерывно по $t \in R$ с оценкой непрерывности, независимой от последовательности $t_n \rightarrow +\infty$, ее определяющей, и одинаковой для всех решений уравнения (1), ограниченных областью $\{\varphi \in B: \|\varphi\| \leq H_1, 0 < H_1 < H\}$. Тогда имеет место следующая теорема.

Теорема 3 Предположим, что:

1) выполняется условие 1) теоремы 2;

2) для каждой предельной совокупности (F^*, G^*, W^*, Λ) множество $\{W^*(t, \varphi) = 0\}$ содержит из всех решений предельного уравнения $\frac{d}{dt}[y(t) - G^*(t, y_t)] = F^*(t, y_t)$ только тривиальное $y = 0$.

Тогда решение $x = 0$ уравнения (1) равномерно асимптотически устойчиво.

Теоремы 2–3 являются развитием и обобщением результатов для неавтономного уравнения нейтрального типа тем, что знакоопределенность производной функционала Ляпунова по ядру $Z(t, \varphi)$ заменяется условием знакопостоянства производной.

Строгий учёт влияния нестационарности обтекания объектов при малых эволюциях тела и деформациях его поверхности в сплошной среде (воздух, вода) приводит к системам линейных интегро-дифференциальных уравнений с «аэродинамической памятью» [5, 6]. Это связано с тем, что неустановившееся движение объекта в сплошной среде сопровождается сходом с него аэродинамического следа, который и является хранителем предыстории движения [5, 7, 8, 9]. Тем самым, установлен большой и практически важный класс динамических систем, поведение которых описывается указанными интегро-дифференциальными уравнениями.

Уравнения возмущённого движения летательного аппарата представляются в виде [9]:

$$\begin{aligned} \mu(\ddot{q} + 2\omega\chi\dot{q} + \omega^2 q) - C^q q - C^{\dot{q}} \dot{q} - \int_0^t I_C^q(\tau) \dot{q}(t-\tau) d\tau - \\ - \int_0^t I_C^{\dot{q}}(\tau) \ddot{q}(t-\tau) d\tau = C^\delta \delta + C^{\dot{\delta}} \dot{\delta} + C^\Lambda \Lambda + \int_0^t I_C^\delta(\tau) \dot{\delta}(t-\tau) d\tau + \\ + \int_0^t I_C^{\dot{\delta}}(\tau) \ddot{\delta}(t-\tau) d\tau + \int_0^t I_C^\Lambda(\tau) \dot{\Lambda}(t-\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь μ , ω , χ – диагональные матрицы размерностью n , а именно матрицы обобщённых масс, частот и коэффициентов конструкционного демпфирования форм колебаний; q – вектор обобщённых координат размерностью n ; C^q , $C^{\dot{q}}$ – квадратные числовые матрицы размерностью n ; I_C^q , $I_C^{\dot{q}}$ – квадратные функциональные матрицы размерностью n ; C^δ , $C^{\dot{\delta}}$, I_C^δ , $I_C^{\dot{\delta}}$ и C^Λ , I_C^Λ – аналогичные прямоугольные матрицы размерностью (n, n_δ) и (n, n_Λ) соответственно, где n_δ и n_Λ – размерности векторов δ и Λ .

Уравнения (6) применяются для исследования реакции летательного аппарата на детерминированные возмущающие и управляющие воздействия, а также для исследования устойчивости движения летательного аппарата без систем управления.

Рассмотрим вопрос об устойчивости решений системы уравнений (6). Полагая управляющие воздействия равными нулю, её можно представить в виде следующего матричного уравнения:

$$\ddot{q} + A\dot{q} + Bq = \int_0^t J(\tau)\dot{q}(t-\tau)d\tau + \int_0^t J_1(\tau)\ddot{q}(t-\tau)d\tau. \quad (7)$$

Интегральные ядра $J(t)$, $J_1(t)$ непрерывны при $t > 0$, дифференцируемы и быстро убывают при $t \rightarrow \infty$, т.е. естественными являются условия

$$J(t), J_1(t) \in L_1^\mu[0, \infty] (\mu > 0), \quad (8)$$

что означает интегрируемость на полуинтервале $[0, \infty]$ модулей элементов указанных матриц, умноженных на $e^{\mu t}$.

Уравнения (7) представляют собой функционально-дифференциальные уравнения нейтрального типа.

Если предположить, что матрица $J_1(\tau_1)$ является дифференцируемой, уравнения (7) с учетом условия $\dot{q}(0) = 0$, могут быть преобразованы к уравнению запаздывающего типа

$$\ddot{q} + A\dot{q} + (B - J_1(0))q = \int_0^t J(\tau - \tau_1)\dot{q}(\tau_1)d\tau + \int_0^t \dot{J}_1(\tau - \tau_1)\dot{q}(\tau_1)d\tau_1.$$

Для исследования устойчивости систем, моделируемых такими уравнениями, удобно применить следующий функционал

$$\begin{aligned} V = & \frac{1}{2} \left(\dot{q}(t) - \int_0^t S_1(t, \tau)\dot{q}(t-\tau)d\tau + Rq(t) \right)' \times \\ & \times \left(\dot{q}(t) - \int_0^t S_1(t, \tau)\dot{q}(t-\tau)d\tau + Rq(t) \right) + \frac{1}{2} q'(t)Bq(t) + \\ & + \int_0^\infty \int_0^t \dot{q}'(t-s)C(\tau)\dot{q}(t-s)dsd\tau. \end{aligned}$$

Доказанные теоремы позволяют вывести достаточные условия асимптотической устойчивости в наиболее общей форме.

Список литературы:

1. *Hale J.K.* Phase space for retarded equations with infinite delay / J.K. Hale, J. Kato // *Funk. Ekv.* 1978. V. 21. P. 11—41.
2. *Haddock J.* Precompactness and convergence in norm of positive orbits in a certain fading memory space / J. Haddock, W. Hornor // *Funkcialaj Ekvacioj.* 1988. V. 31. P.349—361.
3. *Murakami S., Naito T.* Fading memory spaces and stability properties for functional differential equations with infinite delay // *Funkcialaj Ekvacioj.* 1989. V.32. P.91—105.
4. *Колмановский В.Б., Носов В.Р.* Устойчивость и периодические режимы регулируемых систем с последействием. М.: Наука, 1981. 448 с.
5. *Белоцерковский С.М.* Математическая модель нестационарной линейной аэроавтоупругости / С.М. Белоцерковский // *Докл. АН СССР.* 1972. Т. 207. № 3.
6. *Белоцерковский С. М., Кочетков Ю.А., Красовский А.А., Новицкий В.В.* Введение в аэроавтоупругость. М.: Наука, 1980. 384 с.
7. *Белоцерковский С.М., Скрипач Б.К., Табачников В.Г.* Крыло в нестационарном потоке газа. М.: Наука, 1971. 768 с.
8. *Белоцерковский С.М.* Тонкая несущая поверхность в дозвуковом потоке газа / С.М. Белоцерковский. М.: Наука, 1965.
9. *Белоцерковский С.М.* Аэродинамические производные летательного аппарата и крыла при дозвуковых скоростях / С.М. Белоцерковский, Б.К. Скрипач. М.: Наука, 1975.

А. П. Волобуев¹ к.б.н., П. В. Волобуев² д.ф.-м.н., Е. Д. Усков^{2,3}

¹Центральная городская больница №20
Россия, г. Екатеринбург
uskov-evgeny@yandex.ru

²Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина, Физико-технологический институт
кафедра технической физики
Россия, г. Екатеринбург

³Центральная медико-санитарная часть №31 ФМБА
Россия, г. Новоуральск

УСТРОЙСТВО И СПОСОБ МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КЛЕТКИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ

Сформированы требования к генератору магнитного поля для реализации локального воздействия, приводящего к избирательному разрушению клеток злокачественных опухолей. Обоснован вариант оптимального воздействия, удовлетворяющий указанным требованиям. Проведена апробация воздействия импульсного инфранизкочастотного магнитного поля на злокачественные опухоли, по результатам которой получен патент.

Ключевые слова: импульсное инфранизкочастотное магнитное поле, локальное избирательное воздействие, клетки злокачественных опухолей, генератор магнитного поля, оптимизация, апробация воздействия.

Постановка задачи. Большинство магнитотерапевтических устройств (МТУ), используемых в клинической практике [6], в настоящее время реализуют адекватное воздействие, характеризующееся невысокими интенсивностями магнитных полей [5]. Воздействие классифицируется как **адекватное**, если оно усиливает процессы метаболизма и клеточной энергетики; **не адекватное** – при их угнетении. Возможность неадекватного избирательного воздействия импульсного инфранизкочастотного (ИИНЧ) магнитного поля (МП) на клетки злокачественных опухолей обусловлена их отличием от клеток здоровых тканей [2]. Оно предполагает целевой выбор параметров магнитного поля, однако, их реализация в имеющихся МТУ в клинической практике не обеспечена.

Для реализации неадекватного объёмного локального воздействия на биообъекты в качестве источника МП нами была выбрана система катушек Гельмгольца. Она позволяет получить МП, с достаточной степенью однородности в пространстве между катушками при условии, что радиус катушек равен расстоянию между ними. При этом минимизируется концентрация МП вне рабочей зоны и обеспечивается локальное воздействие. Авторский вариант магнитотерапевтического устройства (МТУ) удовлетворяет следующим требованиям:

- амплитуда индукции магнитного поля в рабочей зоне составляет $\sim 10^2$ мТл, её значение регулируемо;
- воздействие осуществляется знакопеременными импульсами по форме близкими к прямоугольной с крутым передним фронтом;
- несущая частота импульсов регулируема в диапазоне $\sim (1\div 10)$ Гц;

- модуляция индукции магнитного поля в диапазоне частот (50÷100) Гц, соответствует требованиям возбуждения вихревых токов;
- при каждой заданной частоте следования импульсов предусмотрена регулировка скважности – соотношения продолжительностей импульса и паузы в пределах периода;
- температурный режим обеспечивается оптимизацией мощности, выделяемой генератором ИИНЧ МП с учётом системы теплоотвода.

Оптимизация генератора ИИНЧ МП. Оптимальные условия воздействия обусловлены конкурирующими требованиями: обеспечением требуемой амплитуды магнитной индукции при заданной несущей частоте и недопустимости перегрева объекта воздействия.

Требуемая индукция магнитного поля определяется индуктивностью катушек, и значением тока в их обмотках. Временная структура генерируемого магнитного поля в существенной мере отличается от структуры напряжения питания, представленного прямоугольными импульсами. Она определяется параметрами электрического контура, его сопротивлением – R и индуктивностью – L , которые в совокупности определяют инерционность системы. Изменение магнитного поля импульса выражается соотношением

$$B(t) = B_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_B}}, \quad 1)$$

где $\tau_B = \frac{L}{R}$ – время релаксации. Из-за инерционности устройства, обусловленной его

индуктивностью, ограничивается частотный диапазон воздействия МП. С другой стороны, обеспечение требуемой амплитуды магнитного поля за счёт увеличения тока приводит к интенсификации тепловыделения. Таким образом, оптимизация условий воздействия определяется сочетанием параметров, таких как: значение индукции магнитного поля, её однородность в пределах рабочей зоны, время релаксации, выделяемая мощность, применительно к отдельно взятой катушке.

Оптимизация проводилась, исходя из известных выражений, определяющих выделяемую мощность, распределение индукции магнитного поля по осевой координате и время релаксации. При оптимизации определялись наиболее допустимые значения амплитуды силы тока I и времени релаксации при заданных значениях индукции МП и размерах рабочей зоны.

Для оптимизированных условий импульсного воздействия МП (Рис.1) значение амплитуды индукции МП вблизи торца катушки $B \sim 100$ мТл, время релаксации фронтов импульса $\tau \sim 0.1$ с, максимальная потребляемая мощность $P \sim 1.2$ кВт (на устройство в целом).

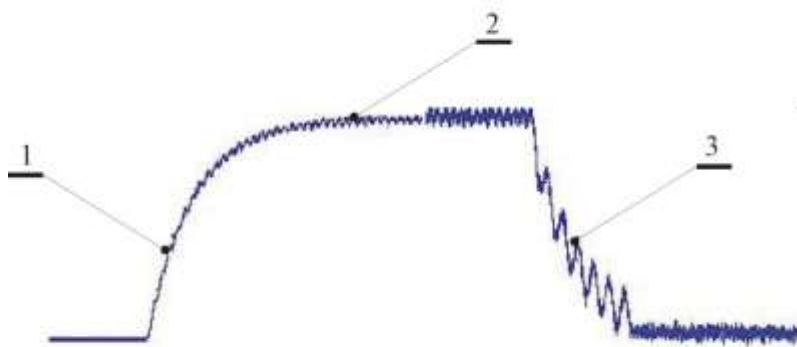


Рис. 1 – Структура импульса магнитного поля: 1 – передний фронт импульса, 2 – плато, 3 – задний фронт импульса.

Авторский вариант использованной МТУ представлен следующей блок-схемой (Рис.2). Силовая установка обозначена без внутренней детализации структуры, ввиду её стандартности. На блок-схеме так же указаны такие компоненты как программное обеспечение МТУ и измерительная система.

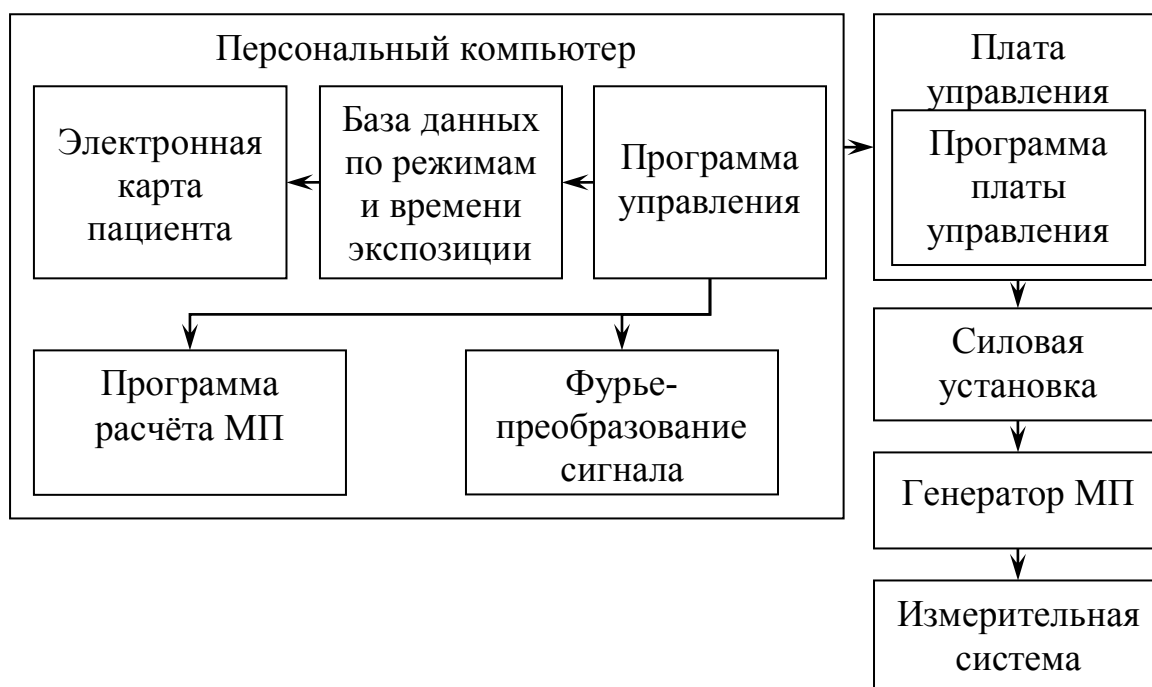


Рис. 2 – Структурная схема МТУ.

Силовая установка (СУ) обеспечивает формирование в индуктивных элементах прямоугольных импульсов по напряжению за счёт применения в схеме выпрямителя управляемых тиристоров.

Назначение **платы управления (ПУ)** – управление тиристорами силовой установки. ПУ разработана на базе микроконтроллера, на персональный компьютер возложены только функции директивного управления. Структурная схема ПУ приведена на Рис.3. Основой ПУ является микроконтроллер (МК). Для питания всех узлов ПУ предназначен блок питания, на который подается переменное напряжение, синфазное с переменным напряжением, питающим СУ. Это необходимо для детектирования моментов времени, когда питающее напряжение становится равным нулю, что осуществляется в блоке детектора нуля. МК также

запускает цепи управления (ЦУ) для формирования либо положительного, либо отрицательного импульсов тока через соленоиды, согласно выбранному режиму работы. Сигналы с ЦУ поступают на соответствующие пары тиристоров через разделительные трансформаторы, как показано на Рис.3.

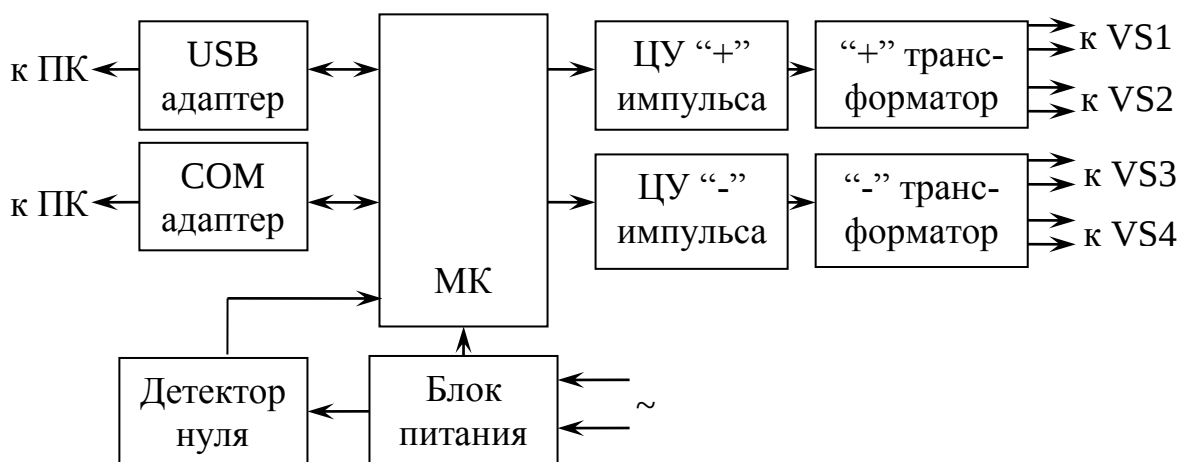


Рис. 3 – Структурная блок-схема платы управления.

Все параметры работы МТУ передаются от персонального компьютера к плате управления в виде трех байтов информации каждый, которые затем преобразуются в программе платы управления.

Программа управления, установленная на персональном компьютере, взаимодействует с дополнительными модулями посредством передачи текущих параметров работы в файл, что позволяет обеспечить независимое функционирование управляющей программы и дополнительных приложений. Такая архитектура программного обеспечения значительно повышает стабильность его работы.

Пространственное распределение магнитного поля в рабочей зоне генератора ИИНЧ МП обусловлено суперпозицией полей эквивалентных витков [1]. Расчёт производился двумя методами: с использованием эллиптических интегралов (основной расчёт) и полиномов Лежандра (для проверки).

Температурный режим оценивался из решения методом функции Грина трёхмерной задачи температуропроводности с учётом равномерного тепловыделения для отдельной катушки [3]. Тепловой режим катушки оценивали по эффективным физическим характеристикам.

При оценке теплового режима существенное значение имеет скорость нагрева (охлаждения) катушки. Время релаксации этих процессов в оптимальном случае в первом приближении выражается формулой

$$\tau_T = \frac{\rho V c}{\alpha S}, \quad (8)$$

где α – усреднённый по площади коэффициент теплоотдачи катушки, S – площадь поверхности катушки, c – удельная теплоёмкость катушки, ρ – плотность катушки, V – объём катушки. Значение времени релаксации τ_T для оптимизированных условий составляет $\approx 1.4 \cdot 10^4$ с для естественной конвекции.

Коэффициент теплоотдачи определялся с использованием критериальных соотношений и на основе модельных экспериментов. Начальная температура и температура окружающей среды приняты равными комнатной температуре.

Основное требование по тепловому режиму состоит в том, чтобы за время сеанса воздействия (порядка 1 часа) температура не превышала $(313 \div 323)$ °К. За промежуток

времени воздействия МП в течение сеанса температура рабочей поверхности достигает величины порядка 300 °К при значении функции объёмного тепловыделения 0.025 К/с. Таким образом, обеспечиваются требования по допустимой температуре при достаточной индукции МП.

Апробация способа воздействия. Материалом для проведения исследований по апробации предложенного способа воздействия были выбраны спонтанные злокачественные опухоли молочных желёз у представительной выборки беспородных собак. Облучение опухолей у животных проводилось регулируемым локальным знакопеременным ИИНЧ МП с амплитудой индукцией ~ 100 мТл, продолжительностью электромагнитного импульса $t_{imp} = 0.75$ с и паузы $t_{pau} = 0.5$ с, с временем облучения за сеанс 30 мин. 1 раз в сутки в течении 30 дней.

Полученные при проведении исследований результаты [4] позволяют сделать следующие выводы:

- предложенные режимы локального воздействия достоверно приводят к лечебному патоморфозу II – III степени выраженности в спонтанных злокачественных опухолях у подопытных животных;
- установлены избирательность и морфологическая необратимость последствий воздействия ИИНЧ МП в заданных параметрах на опухолевые ткани по сравнению с аналогичными здоровыми.

Список литературы:

1. Бухгольц Г. Расчёт электрических и магнитных полей (перевод с немецкого) / Г. Бухгольц. – М.: Издательство иностранной литературы, 1961, 712 с.
2. Зингбуш П. Молекулярная и клеточная биология: Пер с нем / П. Зингбуш. – Т.3. – М.: Мир, 1982, 344 с.
3. Карслоу Г. Теплопроводность твёрдых тел: пер. с англ. / Г. Карслоу, Д. Егер. – М.: Наука, 1964, 488 с.
4. Патент 2376043 РФ, МПК А61 N 2/04. Способ подавления функций и разрушения клеток злокачественных опухолей / И.М. Донник, А.П. Волобуев, Е.Д. Усков. – Опубл. 20.12.2009, Бюл. № 35.
5. Рыбаков Ю.Л. Магнитные поля в экспериментальной и клинической онкологии / Ю.Л. Рыбаков // Медицинская физика. – 2002. – Т.16, Вып.4. – С.66-84.
6. Соловьёва Г.Р. Магнитотерапевтическая аппаратура / Г.Р. Соловьёва – М.: Медицина, 1991, 176 с.

**А. Ф. Гайсин¹, А. З. Гумеров² к.т.н., Р. Т. Насибуллин²,
Л. Р. Саримов²**

¹Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева
Россия, г. Казань

²Камская государственная инженерно-экономическая академия
Россия, г. Набережные Челны
nasibullin.ramil@mail.ru

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНОПОРОШКОВ

Проведен анализ факторов, влияющих на технологический процесс получения ферромагнитных порошков с помощью электрических разрядов с электролитным катодом. Разработана система циркуляции электролита, способствующая стабилизации технологического процесса. Разработана вакуумная система плазменной установки, позволяющая получать ферромагнитные порошки с размерами частиц от 50 нм.

Ключевые слова: ферромагнитный нанопорошок; циркуляция электролита; вакуумная система.

ВВЕДЕНИЕ

Порошковая металлургия является одним из направлений современной металлургии. Ферромагнитные порошки применяются для изготовления сердечников электрических машин, разнообразных деталей, нанесения различных функциональных покрытий и т.д. Разнообразие применяемых методов получения порошков [1] объясняется тем, что качественные характеристики порошков и изделий в значительной степени определяются методом изготовления порошков. Порошки, получаемые в настоящее время, имеют размеры частиц от 1 мкм до 0.5 мм.

Современная промышленность характеризуется повышающимися требованиями к качеству продукции, что неизбежно требует улучшения характеристик исходного сырья. Применение порошков с меньшими размерами частиц является одним из путей повышения качества продукции.

В настоящее время известен метод получения ферромагнитных порошков с помощью электрических разрядов [2 – 4], в которых одним из электродов является жидкий электролит, а другой – стальной, и подвергается распылению. Получаемые по этому методу ферромагнитные порошки характеризуются размерами частиц от 1 мкм. В [3] было показано, что изменяя условия технологического процесса, можно получать порошки с различными размерами частиц. Однако для получения порошков с меньшим размером частиц необходимы существенные изменения в технологический процесс и, соответственно, в плазменную установку.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для осуществления процесса получения ферромагнитного порошка была разработана и собрана экспериментальная установка. Основой её является установка, предложенная в [3]. Она состоит из разрядной камеры с электролитической ванной, системы питания электрического разряда, автоматизированной системы управления установкой, системы контроля параметров технологического процесса. В [3] в качестве анода использовался стальной стержень, а в качестве катода – непроточная техническая вода, разряд

осуществлялся на открытом воздухе, то есть при атмосферном давлении. Автоматизированная система управления позволяет поддерживать оптимальные значения напряжения и тока разряда для получения порошков с требуемыми размерами частиц и производительностью в соответствии с математической моделью [3].

Одним из недостатков установки, предложенной в [3], является необходимость периодической замены электролита в электролитической ванне, так как продукты, образующиеся в процессе разряда, попадают в электролит и изменяют его проводимость, что сказывается на падении напряжения в электролите, и в итоге, приводит к отклонению параметров разряда от оптимальных значений. Как показано в [4], применение проточного электролита позволяет существенно продлить время непрерывной работы установки без замены электролита, а в некоторых случаях и полностью отказаться от этого.

Применение проточного электролита позволяет решить сразу несколько задач. Во-первых, истекающий из электролитической ванны электролит содержит в себе продукты разряда, среди которых необходимый ферромагнитный порошок, а также различные примеси и шлаки. Применив систему фильтрации электролита можно восстановить чистоту электролита и тем самым обеспечить постоянство состава электролита и, следовательно, его проводимости. Установив отдельный фильтр для сбора порошка, можно собирать его уже вне электролитической ванны, что значительно облегчает весь процесс. Во-вторых, одним из негативных факторов в работе установки является повышение температуры электролита, что способствует ускорению химических реакций в электролите и усилению испарения воды из него. В результате, происходит повышение концентрации примесей в электролите и ещё большее изменение его проводимости. При использовании проточного электролита имеется возможность установить устройство для охлаждения электролита перед его подачей в разрядную камеру. Регулируя температуру в охлаждающем устройстве и скорость циркуляции электролита можно поддерживать температуру электролита в разрядной камере на некотором постоянном уровне. Это приводит к меньшему отклонению параметров разряда от заранее заданных параметров технологического процесса.

Структурная схема системы циркуляции электролита показана на рис. 1. Электролит из электролитической ванны 1 стекает под напором насоса 3 в систему фильтров. Скорость истечения регулируется насосом 3, либо вентилем 2. В фильтре 4 происходит сбор порошка магнитным или центробежным способом. В фильтре 5 происходит очистка электролита от посторонних шлаков, образовавшихся в результате разряда. Прошедший очистку электролит собирается в промежуточной емкости 6, где хранится некоторый запас электролита. Необходимость этого вызвана тем, что часть электролита всё же испаряется в результате рабочего процесса, а некоторая часть воды связывается в шлаки в результате химических реакций. Из промежуточной емкости электролит насосом 8 закачивается обратно в электролитическую ванну 1. При этом электролит проходит через устройство охлаждения 7. Скорость закачки регулируется насосом 8, либо вентилем 9. Для контроля температуры электролита в электролитической ванне установлен датчик температуры 10, который выводит данные на устройство индикации 11. Охлаждение электролита регулируется при помощи регулятора температуры 12. В данной работе температура электролита регулировалась вручную. В дальнейшем возможно проектирование автоматизированной системы управления, которая поддерживала бы температуру электролита и скорость его циркулирования на определенных уровнях в зависимости от заданных условий технологического процесса.

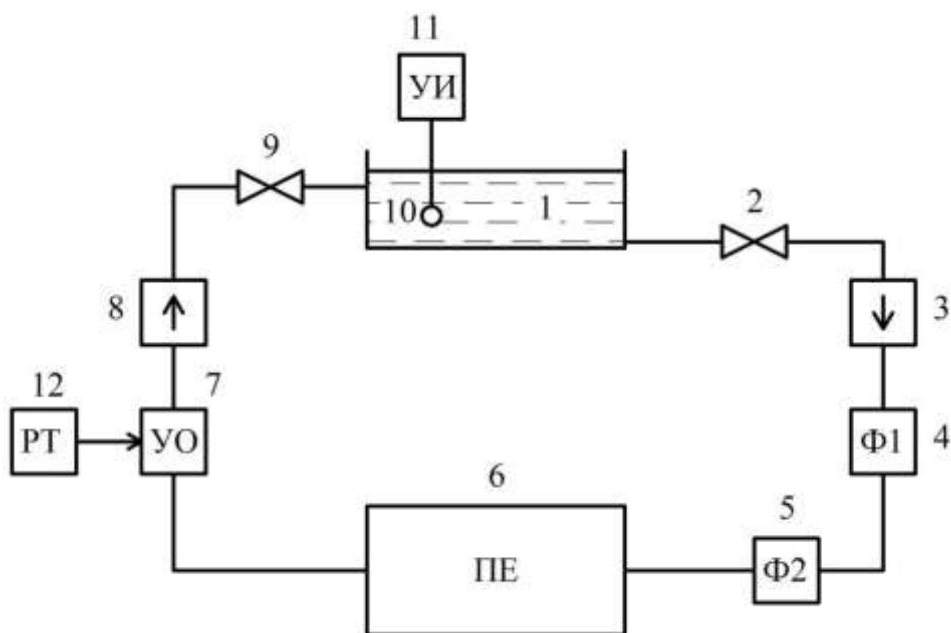


Рис. 1 – Структурная схема системы циркуляции электролита

1 – электролитическая ванна; 2, 9 – вентили; 3, 8 – насосы; 4 – фильтр сбора ферромагнитного порошка; 5 – фильтр очистки электролита от примесей; 6 – промежуточная емкость; 7 – устройство охлаждения; 10 – датчик температуры электролита; 11 – устройство индикации температуры; 12 – регулятор температуры.

Разработанная система позволяет стабилизировать условия технологического процесса, а использование определенного запаса электролита в промежуточной емкости позволяет увеличить время непрерывной работы установки.

Основным параметром технологического процесса, влияющим на размеры частиц получаемого порошка, как показано в [3], является плотность тока на твердом аноде. Для получения ферромагнитного порошка с меньшими размерами частиц необходимо уменьшить плотность тока на твердом аноде.

В первую очередь, плотность тока зависит от площади анодного пятна и от тока разряда. Как показали исследования [2 - 4] во всех процессах получения порошка анодное пятно занимает всю торцевую поверхность твердого анода, поэтому изменение площади анодного пятна относительно торцевой площади анода можно исключить из рассмотрения.

Основными величинами, влияющими на ток разряда, являются общее напряжение, сопротивления воздушного промежутка и электролита. Уменьшение общего напряжения при неизменных сопротивлениях цепи приводит к переходу разряда в режим, при котором распыление анода приостанавливается. Поэтому, для уменьшения тока разряда без нарушения режима распыления порошка возможны два пути: уменьшение сопротивления воздушного промежутка и уменьшение сопротивления электролита при неизменных прочих параметрах разряда.

В данной работе выбран путь уменьшения сопротивления воздушного промежутка способом уменьшения давления в разрядной камере. При этом уменьшится концентрация молекул в воздушном промежутке, а длина пробега ионизированных частиц возрастёт, и, следовательно, сопротивление промежутка уменьшится. Регулируя давление в разрядной камере можно изменять сопротивление воздушного промежутка в достаточно широких пределах и, соответственно, регулировать силу тока разряда. Однако при слишком малых давлениях уменьшение сопротивления достигает своего минимума. При этом все молекулы воздушного промежутка ионизированы и задействованы в разряде. При дальнейшем

уменьшении давления число ионизированных частиц уменьшается, а, следовательно, сопротивление воздушного промежутка будет увеличиваться.

Для реализации данного способа была разработана разрядная камера с вакуумной системой, структурная схема которой показана на рис. 2. Разрядная камера состоит из основания 1 и колпака 2, соединение между которыми уплотнено вакуумной резиной. В основании разрядной камеры проделаны специальные отверстия, куда герметично вставлены штуцеры 3 и 4. Они соединяют камеру с вакуумной арматурой установки: вакуумным насосом 5, вентилями 6 и 7, вакуумметром 8. Внутри разрядной камеры расположены электролитическая ванна 9, механизм перемещения твердого электрода 10 и система циркуляции электролита (на рис. 2 не показана). Воздух из разрядной камеры откачивается через выпускной штуцер 4 при помощи насоса 5 через вентиль 7. При закрытом впускном вентиле 6 давление в разрядной камере уменьшается. Величина давления контролируется вакуумметром 8. Установив давление на необходимом уровне, вентиль 7 закрывается, насос 5 выключается. Затем запускается процесс распыления порошка. По окончании технологического процесса открывается вентиль 6 и давление в камере выравнивается до атмосферного.

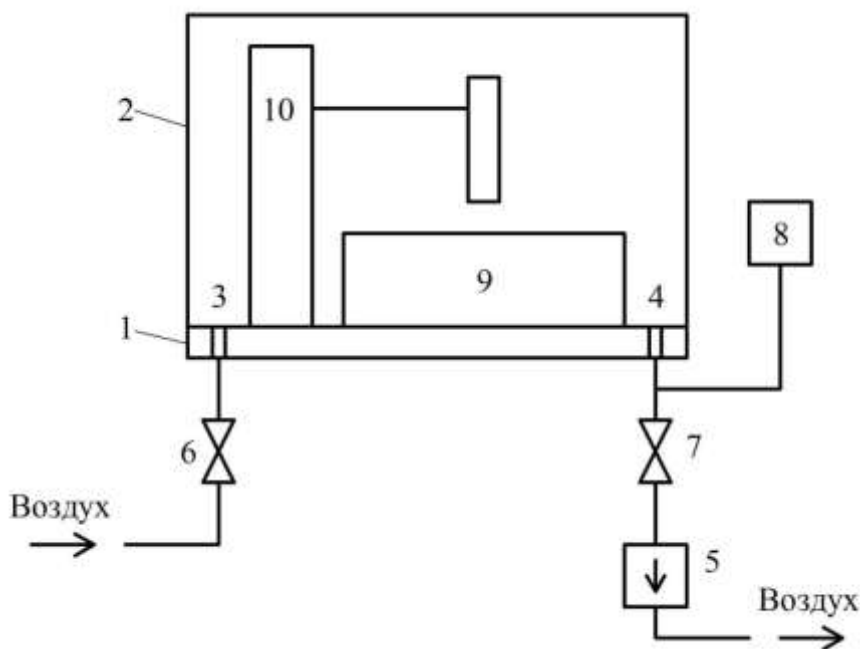


Рис. 2 – Структурная схема разрядной камеры с вакуумной системой
1 – основание разрядной камеры; 2 – колпак разрядной камеры; 3, 4 – штуцеры; 5 – вакуумный насос; 6, 7 – вентили; 8 – вакуумметр; 9 – электролитическая ванна; 10 – механизм перемещения твердого электрода.

Разработанная вакуумная система позволяет уменьшить сопротивление воздушного промежутка и увеличить пределы изменения плотности тока разряда.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в диапазоне токов $I = 0.02 \div 2.5$ А, напряжений $U = 0.3 \div 2.5$ кВ, межэлектродных расстояний $l = 1 \div 25$ мм, диаметров анода $d = 3 \div 15$ мм, давлений $P = 8 \div 100$ кПа. В качестве электролитического катода использовались техническая вода, растворы солей CuSO_4 и NaCl в технической и дистиллированной воде. В качестве металлического анода использовались стали различных марок.

Исследования полученного порошка с помощью микроскопа «МИКРОМЕД МЕТ» показали, что форма частиц порошка сферическая или слегка эллипсоидная. Диаметр частиц, в зависимости от условий технологического процесса меняется в пределах от 50 нм до 500

мкм. Особый интерес в данном случае представляют порошки с размерами частиц менее 1 мкм, которые относятся к категории нанопорошков. Для определения гранулометрического состава полученных нанопорошков использовался набор сит с ячейками от 0.05 мкм до 1 мкм с шагом 0.05 мкм. Гранулометрические составы некоторых порошков полученных при различных параметрах технологического процесса показаны на рис. 3.

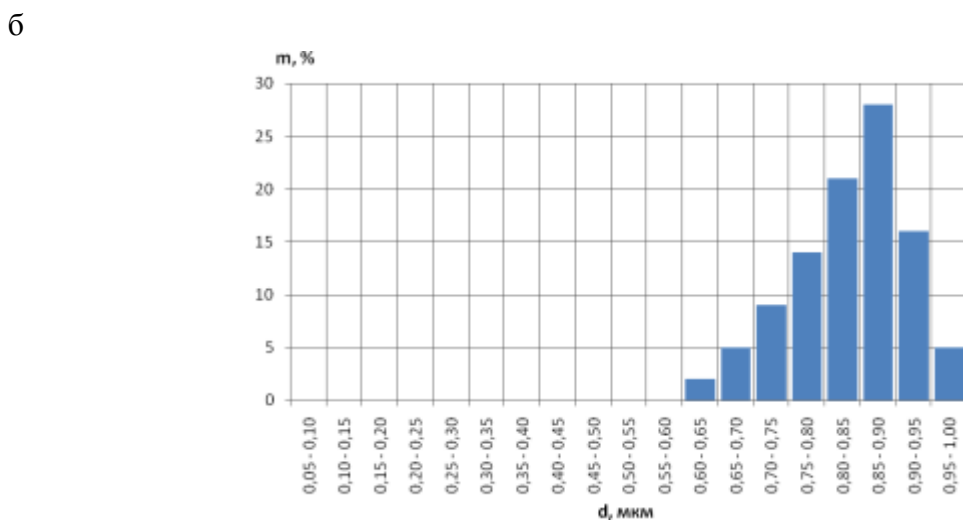
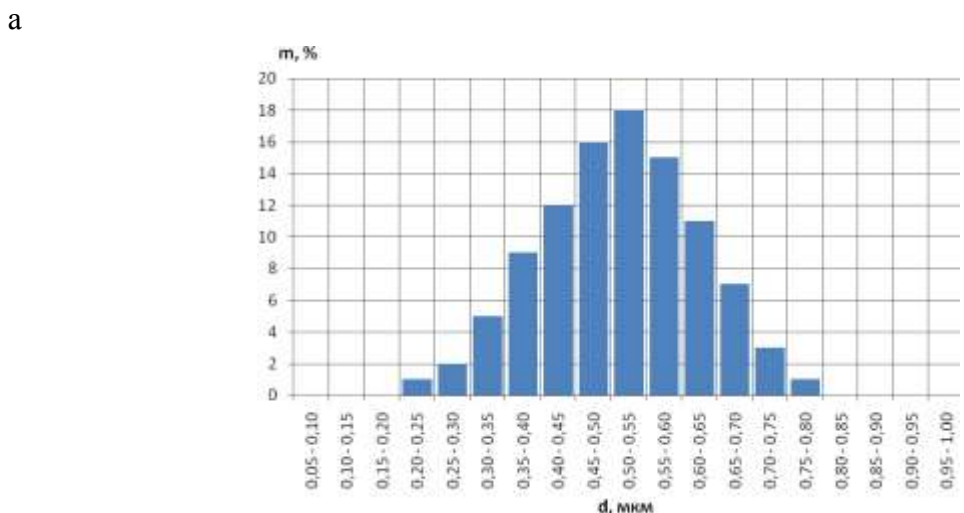
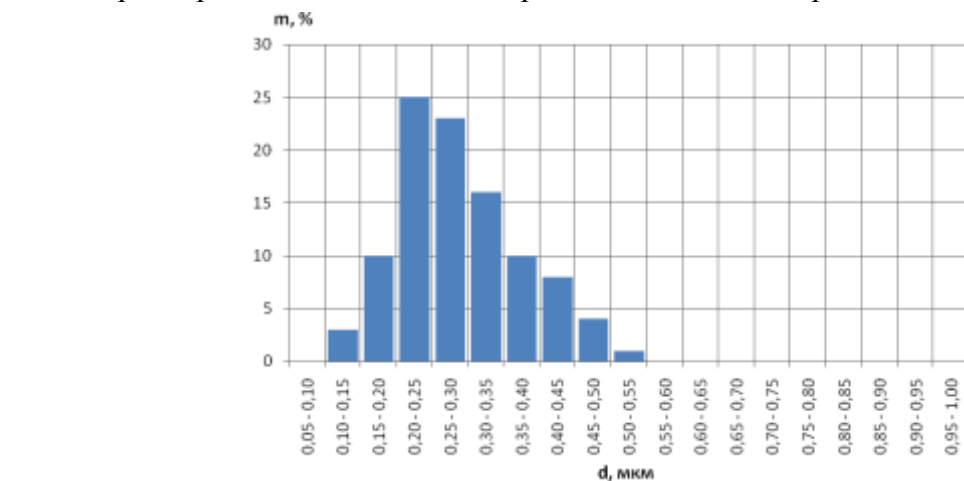


Рис. 3 – Гранулометрические составы некоторых полученных порошков
а – $U = 312$ В, $I = 0.34$ А, $P = 8$ кПа; б – $U = 390$ В, $I = 0.38$ А, $P = 16$ кПа;
в – $U = 430$ В, $I = 0.44$ А, $P = 26$ кПа.

Из гистограмм гранулометрического состава видно, что порошок состоит из фракций с различным размером частиц. В зависимости от параметров технологического процесса, основная фракция может составлять от 16 до 37 %. Более высокое содержание основной фракции можно добиться, увеличив глубины обратных связей в контурах управления по току в автоматизированной системе управления.

Список литературы:

1. Казармшиков И.Т. «Производство металлических конструкционных материалов»: Учебное пособие. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 247 с.
2. Шакиров Ю.И. «Характеристики плазменной электротермической установки с жидким катодом» Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Ленинград, 1990 – 132 с.
3. Ахметсагиров Р.И. «Система автоматизированного управления плазменной установкой для производства порошковых материалов» Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Набережные Челны, 2006 – 137 с.
4. Гумеров А.З. «Получение ферромагнитного порошка при помощи разряда с проточным электролитическим анодом» Туполевские чтения: Международная молодежная научная конференция, посвященная 1000-летию города Казани, Казань, 10-11 ноября 2005 года: Материалы конференции. Том II: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. 2005. с. 23-24.

В. А. Евдокимова к.ф.-м.н., Л. П. Карацуба к.ф.-м.н., С. В. Ланкин д.ф.-м.н.

Благовещенский государственный педагогический университет
физико-математический факультет
кафедра физики и методики обучения физике
Россия, г. Благовещенск
iris87@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА ШПОЛЬСКОГО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АДСОРБЦИИ ПАУ КЛИНОПТИЛОЛИТАМИ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

По квазилинейчатым спектрам Шпольского обнаружено изменение концентрации н-гексановых растворов 3,4-бензпирена, вызванное адсорбцией молекул 3,4-бензпирена на поверхностях образцов клиноптилолита. Проведено сравнение сорбционной активности клиноптилолита 3-х месторождений Сибири и Дальнего Востока. Рассчитаны количество адсорбированного вещества и скорости адсорбции.

Ключевые слова: адсорбция, клиноптилолит, эффект Шпольского, ПАУ.

В последнее время поиск и разработка пористых искусственных и природных материалов, характеризующихся высокой физической сорбционной активностью в отношении радиоактивных и канцерогенных веществ, тяжелых металлов, опасных оксидов, различных микроорганизмов и других, вредных для окружающей среды, представляют самостоятельное и одно из наиболее важных направлений фундаментальных исследований с применением всех методов физики и химии.

Известно, что активными сорбентами являются цеолиты, как природные так и искусственные [1,2]. Однако использование природных цеолитов намного экономичнее и дешевле различных синтетических сорбентов; они широко распространены в природе, а методы улучшения их электрофизических свойств доступны, недороги и технологичны.

Настоящая работа посвящена изучению сорбционной активности цеолитов в отношении полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), среди которых выделяется молекула 3,4-бензпирена ($C_{12}H_{20}$), являющаяся одним из сильных канцерогенных агентов. В связи с этим нами исследовалась физическая адсорбция молекул 3,4-бензпирена из н-гексановых растворов образцами клиноптилолита Вангинского (Амурская обл.), Холинского (Забайкалье) и Чугуевского (Приморье) месторождений. Процессы адсорбции исследовались с использованием квазилинейчатых спектров флуоресценции Шпольского [4, 6].

Сведения о структуре и свойств цеолитов можно найти в работе [1]. Эти материалы обладают рядом нестандартных характеристик, некоторые из которых пока еще убедительно не обоснованы. В связи с этим целесообразно привести краткие сведения о цеолитах. Кристаллический трехмерный каркас цеолитов построен алюмокремнекислородными тетраэдрами $[(Si, Al)O_4]$ и пронизан в нескольких направлениях порами и каналами, связанных друг с другом и с поверхностью кристалла посредством более узких входных окон, диаметр которых колеблется от 0,26 до 0,8 нм. Суммарный объем пор и каналов может достигать 50% объема кристалла [1]. Наличие системы каналов, достаточно широких для диффузии внекаркасных ионов и молекул, и чрезвычайно большой "поверхности" микропор делает цеолиты уникальными ионообменниками, гетерогенными катализаторами и сорбентами. В обычном состоянии внутреннее пространство полостей заполнено молекулами воды и различными катионами, среди которых преобладают одно- и

двухвалентные, чаще всего Na, K, Ca, Mg, Sr, Ba. Система каналов приводит к тому, что цеолиты после дегидратации сорбируют различные молекулы, размеры которых не превышают размеры входных окон.

Эти удивительные особенности пористой структуры цеолитов привлекли внимание большое число ученых США, Японии, России и других стран к открытию крупных месторождений цеолитов и изучению их свойств. В России за сравнительно короткий срок (порядка 40 лет) открыто более 60 месторождений и проявлений цеолитовых пород. Основные из них расположены в Амурской области, на Камчатке, в Орловской области, в Приморье, на Урале, в Якутии, в Юго-Восточной Сибири и в Забайкалье.

В Амурской области ресурсы цеолитового сырья оценивается в 100 миллионов тонн, в основном, по двум хорошо разведанным месторождениям цеолитов, запасы которых учтены Государственным балансом: Куликовское и Вангинское. Более известно Вангинское клиноптилолитовое месторождение. Среднее содержание его в породе 50-80%. Структура клиноптилолита субслоистая, кристаллохимическая формула имеет вид $(\text{Ca}_{1,66}\text{Sr}_{0,07}\text{Ba}_{0,05}\text{Mg}_{0,09}\text{Na}_{0,98})[\text{Si}_{28,42}\text{Al}_{7,43}\text{O}_{72}]\cdot 23,8\text{H}_2\text{O}$. Параметры элементарной ячейки $a_0 = 17,641 \text{ \AA}$, $b_0 = 18,031 \text{ \AA}$, $c_0 = 7,402 \text{ \AA}$, $\beta = 116^\circ 26'$, симметрия $C2/m$. Отношение Si/Al изменяется в интервале от 4,7 до 5,2. Пористость цеолита 34%, размер входных окон главных каналов 0,8-1,0 нм, удельная поверхность $13,7 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{г}$, средняя плотность каркаса 1,9-2,3 $\text{г}/\text{см}^3$, коэффициент диффузии $1,42\text{-}1,50 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2/\text{с}$ [3].

Среди цеолитсодержащих туфов Забайкалья хорошо известно Холинское клиноптилолитовое месторождение (Si/Al = 4÷5), являющееся одним из крупных поставщиков цеолитового сырья в России. Среднее содержание клиноптилолита в этом месторождении 60-90%. В Приморье интенсивно разрабатывается и исследуется клиноптилолит Чугуевского месторождения, его характеристики аналогичны Холинскому. Цеолиты активно применяются для глубокой очистки воды и в медицине [1, 3, 5].

Поскольку адсорбционная способность цеолитов существенным образом зависит от процентного содержания катионов, то нами предварительно был проведен количественный атомный спектральный анализ. Атомный спектральный анализ проводился на спектрографе с высокой разрешающей способностью СТЭ-1 методом просыпки анализирующей порошковой пробы в плазме трехполюсного дугового разряда. Результаты количественного атомного спектрального анализа для образцов клиноптилолита трех месторождений приведены в таблице 1.

Сравнение поэлементного анализа исследуемых образцов клиноптилолита трех месторождений приводит к следующим выводам:

1. В исследуемых образцах определено по хорошо проявившимся спектральным линиям 44 элемента.

2. Во всех образцах обнаружено практически одинаковое содержание следующих элементов: As, Mo, Sb, W, Cr, Ge, Yn, Sc, Tl, Ga, Zr, Yb, La, Ce, Hf, Ta, Li, B, Cd, Hg, Fe, Ca, Si.

3. В образцах клиноптилолита Холинского месторождения обнаружено содержание серебра, которое в 15 раз больше Чугуевского и в 10 раз больше Вангинского и более высокое содержание меди, бериллия, калия.

4. В образцах клиноптилолита Вангинского месторождения обнаружено содержание стронция в 10-15 раз больше, чем в образцах Холинского и Чугуевского месторождений и более высокое содержание Ba, Mn, Pb.

5. В образцах клиноптилолита Чугуевского месторождения обнаружено высокое содержание олова, висмута, натрия.

Таблица 1 – Результаты количественного атомного спектрального анализа образцов клиноптилолита некоторых месторождений.

клиноптилолита некоторых месторождений.					
№п/п	Элементы	Месторождения клиноптилолита			Предел обнаружения
		Чугуевское	Вангинское	Холинское	
Содержание, п·10 ⁻⁴ %					
1	Pb	5	10	10	5
2	Sn	4	2	4	1
3	Mo	0,8	1	0,8	0,5
4	Ag	0,1	0,15	1`5	0,03
5	Cu	5	6	20	5
6	Zn	50	10	60	10
7	Bi	1,5	0,6	0,6	0,3
8	Ni	5	7	5	5
9	Co	1	4	1	1
10	V	5	15	5	5
11	Mn	200	600	400	40
12	Ti	300	500	400	30
13	P	800	700	700	300
14	Ga	30	20	20	5
15	Be	1	1,5	4	1
16	Ba	300	1000	150	30
17	Zr	60	70	70	3
18	Y	10	20	15	1
19	Yb	10	20	15	1
20	Nb	8	10	15	3
21	B	15	15	20	6
22	Sr	100	1500	150	10
Содержание, п%					
23	Fe	0,7	1	0,7	0,0003
24	Ca	3	3	2	0,001
25	Na	1,5	0,7	1	0,01
26	Al	8	6	7	0,0001
27	K	2	1,5	4	0,3
28	Si	15	15	15	0,0003

Наличие в образцах различного содержания катионов должно существенным образом сказаться на различных проявлениях их адсорбционных свойств.

Ранние исследования показали, что в водной среде цеолиты легко обменивают свои катионы на подходящие молекулы, находящиеся в растворе [1-3]. Обмен ионов реализуется по внешнедиффузионному (быстрому) и внутридиффузионному (медленному) механизмам. В процессе адсорбции и ионного обмена проявляется способность цеолитов к избирательному поглощению одних ионов другими. Особенности адсорбции связаны с тем, что ажурность кристаллической структуры цеолитов создает большой адсорбционный объем (до $0,54 \text{ см}^3/\text{г}$). Наличие акцепторных центров (катионов), прочно удерживающих доноры электронов или ОН - групп, обуславливает сильное взаимодействие адсорбируемых молекул с адсорбентом. К тому же в объеме цеолита в отличие от широкопористых адсорбентов молекула взаимодействует с атомами твердого тела не односторонне. Это объясняет повышение по сравнению с аморфными адсорбентами значение адсорбентного коэффициента.

В настоящей работе для исследования адсорбции молекул 3,4-бензпирена образцами клиноптилолита нами в н-гексановые растворы 3,4-бензпирена исходной концентрации 10^{-3} моль/литр добавлялись по 0,1 г измельченных образцов очищенного клиноптилолита фракцией 0,1 мм. В результате адсорбции молекул 3,4-бензпирена на поверхностях образцов клиноптилолита концентрация н-гексановых растворов уменьшалась. Изменение концентрации растворов определялось по сравнению интенсивностей головных мультиплетов квазилинейчатых спектров флуоресценции 3,4-бензпирена исследуемых и эталонных образцов [2]. Спектры флуоресценции приготовленных растворов фотографировались при температуре жидкого азота 77 К на спектрографе ИСП-51 через 1, 7, 14, 21, 28 суток после взаимодействия образцов с н-гексановыми растворами 3,4-бензпирена. Всего было проведено 270 измерений. Ошибка эксперимента 5%. Средние результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение концентрации 3,4-бензпирена в н-гексановых растворах с течением времени при добавлении в растворы образцов клиноптилолита различных месторождений.

№п/п	Месторождения клиноптилолита	Исходная концентрация 3,4-бензпирена 10^{-3} моль/л					
		Промежутки времени от приготовления образцов до регистрации спектра					
		1 час	1 сут.	7 сут.	14 сут.	21 сут.	28 сут.
1	Холинское	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$
2	Вангинское	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$7,5 \cdot 10^{-8}$	$5,0 \cdot 10^{-8}$
3	Чугуевское	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-7}$	$7,5 \cdot 10^{-8}$	$5,0 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$

Из табличных данных видно, что уже через час после взаимодействия адсорбента с раствором концентрация 3,4-бензпирена уменьшилась на порядок и более; через сутки – на 2-2,5 порядка; через 28 суток – на 4-5 порядков. Причем, значительно интенсивнее процессы адсорбции происходят на образцах клиноптилолита Чугуевского месторождения, хуже – на образцах Холинского месторождения.

Графические зависимости концентрации молекул 3,4-бензпирена в н-гексановых растворах от времени, представленные на рис. 1, позволяют качественно судить о процессах адсорбции на образцах трех месторождений клиноптилолита: 1 - Холинское, 2 - Вангинское, 3 - Чугуевское.

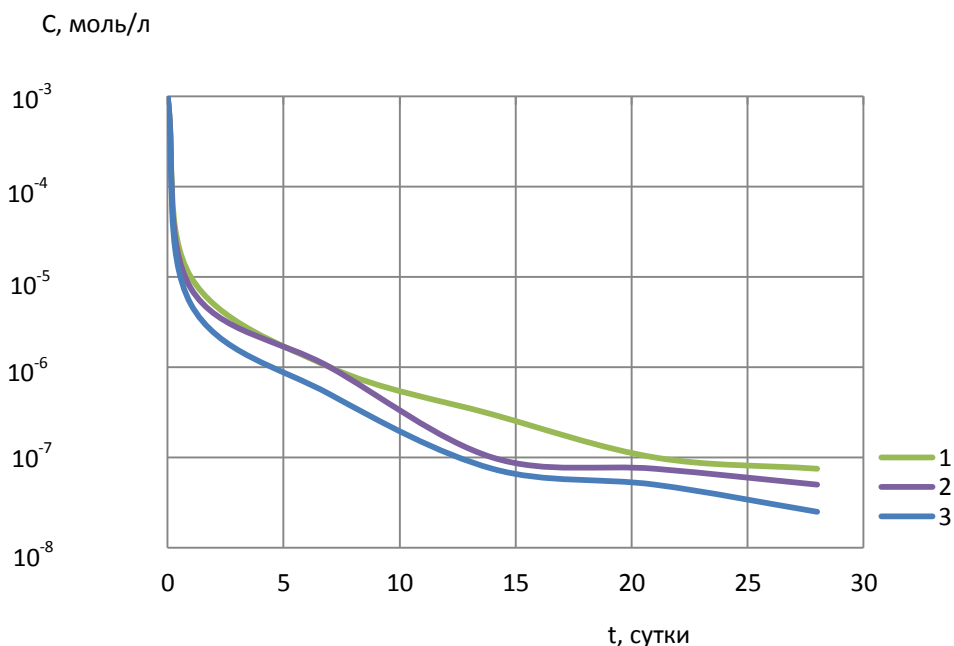


Рис.1. Изменение концентрации н-гексановых растворов 3,4-бензпирена с течением времени вследствие адсорбции образцами клиноптилолита различных месторождений.

Из рис. 1. видно, что зависимости имеют не линейный характер. Можно выделить быстропротекающую область адсорбции, в которой за первые сутки реализуется 58% степени поглощения, и медленную область, в которой реализуется 42% степени поглощения за оставшиеся 27 суток эксперимента. Интенсивнее всего идет процесс адсорбции молекул 3,4-бензпирена из н-гексана на образцах клиноптилолита Чугуевского месторождения (3). По-видимому, сказывается в этих образцах значительно большее процентное содержание катионов натрия, алюминия, висмута, фосфора и др. элементов.

Чтобы более конкретно оценить характер протекания адсорбции нами были рассчитаны некоторые количественные параметры исследуемого явления: количество адсорбируемого вещества, скорость адсорбции.

1. Количество адсорбируемого вещества единицей массы сорбента (КАВ), являющееся объективным показателем эффективности работы сорбента исследуемых образцов рассчитывалось по формуле:

$$КАВ = \frac{1}{m} \sum V(C_{исх} - C_{конеч}) \text{ мг/г,}$$

где m – масса исследуемого образца клиноптилолита, V – объем н-гексанового раствора 3,4-бензпирена, $C_{исх}$ – концентрация 3,4-бензпирена в мг/л в начальный промежуток времени, $C_{конеч}$ – концентрация 3,4-бензпирена в мг/л в конечный промежуток времени.

Полученные значения КАВ представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Количество адсорбированного вещества в мг/г

№п/п	Добавка 0,1г клиноптилолита в растворы н-гексана	Промежуток времени между приготовлением образцов и фотографированием спектров				
		1 сут.	7 сут.	14 сут.	21 сут.	28 сут.
1	Холинское месторождение	0,24948	0,25174	0,25187	0,25197	0,25198
2	Вагинское месторождение	0,25011	0,25175	0,25197	0,25198	0,25199
3	Чугуевское месторождение	0,25074	0,25187	0,25198	0,25199	0,25200

Данные таблицы явно демонстрируют, что более интенсивнее адсорбируют молекулы 3,4-бензпирена в любой момент времени в образцах клиноптилолита Чугуевского месторождения.

2. Скорости адсорбции молекул 3,4-бензпирена были рассчитаны по формуле $V = \frac{\Delta C}{\Delta t}$, где ΔC - изменение концентрации за определенный промежуток времени Δt . Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения скоростей адсорбции молекул 3,4-бензпирена из н-гексана образцами клиноптилолита в течении 1 часа ($\text{н} \cdot 10^{-5} \frac{\text{моль/л}}{\text{час}}$)

№ п/п	Месторождения клиноптилолита	Скорость адсорбции
1	Холинское	90
2	Вангинское	50
3	Чугуевское	99

Из представленных расчетных данных таблицы 4 следует, что адсорбция совершается быстрее на поверхностях образцов клиноптилолита Чугуевского месторождения.

Выводы

1.Используя эффект Шпольского экспериментально проведено сравнение адсорбционной способности образцов клиноптилолита Холинского, Вангинского и Чугуевского месторождений в отношении молекул 3,4-бензпирена.

2. Рассчитаны скорости адсорбции и количество адсорбированного вещества. Показано, что процесс адсорбции молекул 3,4-бензпирена из н-гексановых растворов происходит интенсивнее на образцах Чугуевского месторождения.

3. Выяснено, что адсорбционная активность образцов клиноптилолита существенным образом зависит от содержания в них различных катионов.

Список литературы:

1. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. М.: Мир, 1976, 781 с.
2. Евдокимова В.А., Карацуба Л.П., Ланкин С.В. Влияние модифицирования катионами на адсорбционные свойства клиноптилолита. Известия РГПУ им. А.И. Герцена, 2010, т. 222, сер. естественно-научная, №1, с. 129-134.
3. Колесникова Л.Г., Ланкин С.В., Юрков В.В. Ионный перенос в клиноптилолите. Монография. Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2007, 113 с.
4. Теплицкая Т.А. Квазилинейчатые спектры люминесценции как метод исследования сложных органических смесей. М.: МГУ, 1971, 78 с.
5. Толстомятов С.И., Приходько В.И. Геологическое строение месторождений цеолитизированных туфов Бурятской АССР. В кн. Перспективы применения цеолитсодержащих туфов Забайкалья. Чита, 1990, с. 11-19.
6. Шпольский Э.В. Проблемы происхождения и структуры квазилинейчатых спектров органических соединений при низких температурах. УФН, 1962, т. 77, с. 321-337.

Б. Н. Казаков¹ к.ф.-м.н., А. В. Михеев² к.ф.-м.н.

¹Приволжский федеральный университет, Институт физики
кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии
Россия, г. Казань
Boris.Kazakov@ksu.ru

²Казанский государственный технологический университет
Институт управления и автоматизации, кафедра высшей математики
Россия, г. Казань
veehima@gmail.com

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОХОЖДЕНИЯ ПОТОКА ФОТОНОВ ЧЕРЕЗ СРЕДУ

В статье предложена математическая модель, описывающая основные особенности прохождения потока фотонов через среду: отражение, поглощение, при наличии люминесценции и в отсутствие реабсорбции. Найдено аналитическое выражение для характеристической функции спектральной плотности мощности светового излучения на выходе слоя среды определенной толщины. Определены условия справедливости законов Бугера-Ламберта-Бера и одноэкспоненциальной кинетики люминесценции.

Ключевые слова: поглощение электромагнитного излучения, закон Бугера-Ламберта-Бера, люминесценция, характеристическая функция (теория вероятностей).

Существующие математические модели прохождения света через среду [1] имеют две общие черты. Во-первых, в этих моделях отсутствует математическое описание процедуры регистрации светового излучения. Во-вторых, физические величины, которые входят в основные уравнения этих математических моделей, являются усредненными по ансамблю частиц среды или по ансамблю фотонов. Поскольку в этих моделях процедура усреднения явным образом не связана с процедурой регистрации, нельзя гарантировать, что наблюдаемые физические процессы проявляются в экспериментально измеряемых величинах так же, как и в величинах, которые входят в эти модели.

В статье [2] было сформулировано представление о том, что параметры, характеризующие отдельный фотон и процесс его взаимодействия с фотоэлектронным умножителем, будучи уникальными для каждого фотона, могут рассматриваться как случайные величины. Экспериментально наблюдаемыми величинами, подчиняющимися принципу воспроизводимости, являются не сами эти параметры, а их функции распределения вероятностей, или такие величины, которые могут быть выражены через эти функции распределения.

В данной работе, на основе идей статьи [2], предложена вероятностная модель, описывающая поглощение потока фотонов в слое среды определенной толщины и люминесценцию этого слоя, как единый процесс. В модели изначально учтена процедура регистрации светового потока на выходе слоя среды.

Пусть некоторый источник излучения создает поток фотонов. Введем следующие характеристики этого потока: 1) N — количество фотонов, созданных источником за промежуток времени $t \in [t_0; t_0 + T]$; 2) $t_1, t_2, \dots, t_N$ — моменты времени, в которые фотоны попадают в среду; 3) $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_N$ — частоты фотонов. Значения этих величин меняются от

эксперимента к эксперименту, даже если условия эксперимента поддерживаются неизменными. Это дает основание считать данные величины случайными. Вероятность того, что количество фотонов N принимает конкретное целочисленное значение k , обозначим через $P(N=k)$. Будем считать, что моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_N$ не зависят от N и $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_N$, одинаково распределены и имеют функцию плотности распределения вероятности $\varphi(x)$, $x \in [0; +\infty)$. Отметим, что эта функция описывает временную модуляцию интенсивности светового потока. Частоты фотонов $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_N$ не зависят от N и $t_1, t_2, \dots, t_N$, но также, как и последние, одинаково распределены. Их функцию плотности распределения вероятности обозначим через $\varphi_\nu(x)$, $x \in [0; +\infty)$. Функция $\varphi_\nu(x)$ — это распределение по частотам интенсивности светового потока, попадающего в среду.

Каждый фотон, после попадания в среду, может быть поглощен в ней. Сопоставим всем фотонам расстояния $d_1, d_2, \dots, d_N$, которые эти фотоны проходят до поглощения в среде. Назовем расстояние d_j глубиной проникновения j -го фотона в среду. Здесь и далее $j=1, 2, \dots, N$.

Поглощение j -го фотона в среде переводит поглощающий центр в возбужденное состояние. Время жизни этого центра в возбужденном состоянии обозначим через τ_j . Спустя время τ_j после поглощения фотона, поглощающий центр возвращается в основное состояние, испуская при этом фотон с энергией $h\nu_j^*$, h — постоянная Планка. Поток фотонов, испущенных поглощающими центрами, образует люминесценцию среды.

Величины $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$ и $\nu_1^*, \nu_2^*, \dots, \nu_N^*$ будем считать независимыми друг от друга случайными величинами. Функцию плотности распределения вероятностей времен жизни $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$ поглощающих центров в возбужденном состоянии обозначим через $\varphi_\tau(x)$, а функцию плотности распределения вероятностей частот $\nu_1^*, \nu_2^*, \dots, \nu_N^*$ — $\varphi_\nu^*(x)$, где $x \in [0; +\infty)$. Функция $\varphi_\nu^*(x)$ представляет собой распределение по частотам интенсивности люминесценции среды.

Глубина проникновения d_j в среду j -го фотона, в общем случае, зависит, как от характеристик потока фотонов, создаваемого источником: N, t_j, ν_j , так и от характеристик взаимодействия этого потока фотонов со средой: τ_j, ν_j^* . Действительно, экспериментальные факты, например эффект просветления поглощающей среды, свидетельствуют о том, что поглощение света некоторыми средами зависит от интенсивности этого света [3]. Следовательно, d_j может зависеть от N .

Зависимость поглощения светового потока от частоты является общеизвестным экспериментальным фактом, поэтому необходимо учитывать зависимость d_j от ν_j и ν_j^* . Наконец, протекание в системе релаксационных процессов, длительность которых влияет на процесс поглощения, приводит к зависимости d_j от t_j и τ_j .

Поскольку глубина проникновения d_j зависит от $\nu_j, t_j, \nu_j^*, \tau_j$, для вероятностного описания всех этих случайных величин будем использовать совместную условную функцию плотности распределения вероятностей при условии, что N принимает фиксированное значение k :

$$\begin{aligned} \varphi_{d_j, \nu_j, t_j, \nu_j^*, \tau_j | N=k} (p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, k) = \\ = \varphi_\nu(p_2) \varphi(p_3) \varphi_\nu^*(p_4) \varphi_\tau(p_5) \varphi_{d_j | \nu_j, t_j, \nu_j^*, \tau_j, N=k} (p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, k). \end{aligned} \quad (1)$$

В этой формуле $\varphi_{d_j|v_j,t_j,v_j^*,\tau_j,N=k}(p_1,p_2,p_3,p_4,p_5,k)$ представляет собой функцию плотности распределения вероятностей случайных величин d_j при условии, что v_j , t_j , v_j^* , τ_j и N принимают фиксированные значения. Отметим, что $\int_0^{+\infty} \varphi_{d_j|v_j,t_j,v_j^*,\tau_j,N=k}(p_1,p_2,p_3,p_4,p_5,k) dp_1 = 1$ [4].

Определим спектральную плотность мощности излучения на выходе слоя среды определенной толщины. Для этого направим ось Oz прямоугольной системы координат по направлению распространения потока фотонов. Плоскость xOy совместим с поверхностью среды, которой фотоны достигают в моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_N$. Выделим в среде слой толщины z , считая от начала координат. Если глубина d_j проникновения в среду j -го фотона больше, чем z , то фотон не поглощается средой и свободно проходит сквозь выделенный слой. Такой фотон может дать вклад в спектральную плотность мощности излучения на выходе выделенного слоя, если его частота находится в пределах того диапазона частот, на которых ведется регистрация излучения: $v_j \in [\tilde{v}; \tilde{v} + \Delta v]$. При этом, момент его выхода t_j^* из слоя толщины z должен находиться в пределах временного окна, в течение которого регистрируется спектральная плотность мощности излучения: $t_j^* \in [t; t + \Delta t]$. Наиболее просто такая процедура регистрации потока фотонов реализуется в методе счета фотонов [2]. Учитывая, что скорость прохождения фотона частоты v_j через среду с показателем преломления $n(v_j)$ равна $c/n(v_j)$, c — скорость света в вакууме, интервал времени, за который фотон преодолевает слой среды толщиной z , составляет $z \cdot n(v_j)/c$. Следовательно, $t_j^* = t_j + z \cdot n(v_j)/c$.

Если глубина d_j проникновения в среду j -го фотона меньше, чем z , то фотон поглощается средой в момент времени $t_j + d_j \cdot n(v_j)/c$. После этого, через интервал времени τ_j , поглощающий центр излучает фотон частоты v_j^* . При отсутствии реабсорбции, данный фотон выйдет из слоя толщины z спустя время $(z - d_j) \cdot n(v_j^*)/c$. Таким образом, момент выхода этого фотона из слоя толщины z равен $t_j^* = t_j + \tau_j + d_j \cdot n(v_j)/c + (z - d_j) \cdot n(v_j^*)/c$. Данный фотон дает вклад в спектральную плотность мощности излучения $J(t, \Delta t, \tilde{v}, \Delta v, z)$, если $v_j^* \in [\tilde{v}; \tilde{v} + \Delta v]$ и $t_j^* \in [t; t + \Delta t]$.

Учитывая все вышесказанное, спектральную плотность мощности излучения на выходе слоя среды толщины z , можно записать в виде:

$$J(t, \Delta t, \tilde{v}, \Delta v, z) = \frac{h}{\Delta t \Delta v} \sum_{j=1}^N \left\{ v_j \cdot H(d_j - z) \cdot \Pi\left(\frac{v_j - \tilde{v}}{\Delta v}\right) \cdot \Pi\left(\frac{t_j + z \cdot n(v_j)/c - t}{\Delta t}\right) + \right. \\ \left. + v_j^* \cdot H(z - d_j) \cdot \Pi\left(\frac{v_j^* - \tilde{v}}{\Delta v}\right) \cdot \Pi\left(\frac{t_j + \tau_j + d_j \cdot n(v_j)/c + (z - d_j) \cdot n(v_j^*)/c - t}{\Delta t}\right) \right\}. \quad (2)$$

Здесь $\Pi(x) = \begin{cases} 1, & x \in [0; 1] \\ 0, & x \notin [0; 1] \end{cases}$ — прямоугольная функция, $H(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$ — функция Хэвисайда.

Поскольку спектральная плотность мощности излучения зависит от случайных величин d_j , v_j , t_j , v_j^* , τ_j и N , её саму можно рассматривать как случайную величину. Найдём её характеристическую функцию $\chi_j(q)$ [4]:

$$\chi_J(q) = M\left(\exp(iqJ(t, \Delta t, \tilde{\nu}, \Delta \nu, z))\right) = \sum_k P(N=k) \left(\int_0^{+\infty} dp_1 \dots \int_0^{+\infty} dp_5 \cdot \varphi_{d_j, \nu_j, t_j, \nu_j^*, \tau_j} |_{N=k} (p_1, \dots, p_5, k) \cdot \right. \\ \left. \cdot \exp\left(\frac{iqh}{\Delta t \Delta \nu} \left(p_2 \cdot H(p_1 - z) \cdot \Pi\left(\frac{p_2 - \tilde{\nu}}{\Delta \nu}\right) \cdot \Pi\left(\frac{p_3 + z \cdot n(p_2)/c - t}{\Delta t}\right) + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + p_4 \cdot H(z - p_1) \cdot \Pi\left(\frac{p_4 - \tilde{\nu}}{\Delta \nu}\right) \cdot \Pi\left(\frac{p_3 + p_5 + p_1 n(p_2)/c + (z - p_1) \cdot n(p_4)/c - t}{\Delta t}\right) \right) \right) \right)^k, \quad (2)$$

где $q \in (-\infty; +\infty)$ — аргумент характеристической функции, $M(A)$ — математическое ожидание случайной величины A .

После преобразований, формула для $\chi_J(q)$ приобретает вид:

$$\chi_J(q) = \sum_k P(N=k) (1 + f_{ab}(t, \Delta t, \tilde{\nu}, \Delta \nu, z, k) + f_{lum}(t, \Delta t, \tilde{\nu}, \Delta \nu, z, k))^k, \quad (3)$$

$$f_{ab} = \int_z^{+\infty} dp_1 \int_{\tilde{\nu}}^{\tilde{\nu} + \Delta \nu} \left(\exp\left(\frac{iqh p_2}{\Delta t \Delta \nu}\right) - 1 \right) dp_2 \int_{(t - zn(p_2)/c)_+}^{(t + \Delta t - zn(p_2)/c)_+} dp_3 \int_0^{+\infty} dp_4 \int_0^{+\infty} dp_5 \cdot \varphi_{d_j, \nu_j, t_j, \nu_j^*, \tau_j} |_{N=k} (p_1, \dots, p_5, k), \quad (4)$$

$$f_{lum} = \int_0^z dp_1 \int_0^{+\infty} dp_2 \int_0^{+\infty} dp_3 \int_{\tilde{\nu}}^{\tilde{\nu} + \Delta \nu} \left(\exp\left(\frac{iqh p_4}{\Delta t \Delta \nu}\right) - 1 \right) dp_4 \int_{(t - p_3 - \frac{p_1}{c} n(p_2) - \frac{(z - p_1)n(p_4)}{c})_+}^{(t + \Delta t - p_3 - \frac{p_1}{c} n(p_2) - \frac{(z - p_1)n(p_4)}{c})_+} dp_5 \cdot \varphi_{d_j, \nu_j, t_j, \nu_j^*, \tau_j} |_{N=k} (p_1, \dots, p_5, k). \quad (5)$$

Здесь $x_+ = \begin{cases} x, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$; $f_{ab}(t, \Delta t, \tilde{\nu}, \Delta \nu, z, k)$ — вклад в $J(t, \Delta t, \tilde{\nu}, \Delta \nu, z)$ от фотонов, прошедших выделенный слой без поглощения; $f_{lum}(t, \Delta t, \tilde{\nu}, \Delta \nu, z, k)$ — вклад в $J(t, \Delta t, \tilde{\nu}, \Delta \nu, z)$ от люминесценции при наличии поглощения.

С помощью формул (3)-(5) могут быть найдены любые характеристики спектральной плотности мощности излучения, рассматриваемой как случайная величина. Так, математическое ожидание $M(J)$ имеет вид:

$$M(J) = \frac{h}{\Delta t \Delta \nu} \sum_k k P(N=k) (\tilde{f}_{ab}(t, \Delta t, \tilde{\nu}, \Delta \nu, z, k) + \tilde{f}_{lum}(t, \Delta t, \tilde{\nu}, \Delta \nu, z, k)), \quad (6)$$

$$\tilde{f}_{ab} = \int_z^{+\infty} dp_1 \int_{\tilde{\nu}}^{\tilde{\nu} + \Delta \nu} p_2 dp_2 \int_{(t - zn(p_2)/c)_+}^{(t + \Delta t - zn(p_2)/c)_+} dp_3 \int_0^{+\infty} dp_4 \int_0^{+\infty} dp_5 \cdot \varphi_{d_j, \nu_j, t_j, \nu_j^*, \tau_j} |_{N=k} (p_1, \dots, p_5, k), \quad (7)$$

$$\tilde{f}_{lum} = \int_0^z dp_1 \int_0^{+\infty} dp_2 \int_0^{+\infty} dp_3 \int_{\tilde{\nu}}^{\tilde{\nu} + \Delta \nu} p_4 dp_4 \int_{(t - p_3 - p_1 n(p_2)/c - (z - p_1)n(p_4)/c)_+}^{(t + \Delta t - p_3 - p_1 n(p_2)/c - (z - p_1)n(p_4)/c)_+} dp_5 \cdot \varphi_{d_j, \nu_j, t_j, \nu_j^*, \tau_j} |_{N=k} (p_1, \dots, p_5, k). \quad (8)$$

Выражения (6)-(8) в пределе $\Delta t \rightarrow 0$ и $\Delta \nu \rightarrow 0$ приобретают вид:

$$M(J) = h \tilde{\nu} \sum_k k P(N=k) \left(H\left(t - \frac{zn(\tilde{\nu})}{c}\right) \int_z^{+\infty} dp_1 \int_0^{+\infty} dp_4 \int_0^{+\infty} dp_5 \cdot \varphi_{d_j, \nu_j, t_j, \nu_j^*, \tau_j} |_{N=k} \left(p_1, \tilde{\nu}, t - \frac{zn(\tilde{\nu})}{c}, p_4, p_5, k\right) + \right. \\ \left. + \int_0^z dp_1 \int_0^{+\infty} dp_2 \int_0^{+\infty} dp_3 \cdot \varphi_{d_j, \nu_j, t_j, \nu_j^*, \tau_j} |_{N=k} (p_1, p_2, p_3, \tilde{\nu}, t - p_3 - p_1 n(p_2)/c - (z - p_1)n(\tilde{\nu})/c, k) \cdot \right. \\ \left. \cdot H\left(t - p_3 - p_1 n(p_2)/c - (z - p_1)n(\tilde{\nu})/c\right) \right). \quad (9)$$

Рассмотрим два предельных случая формулы (9). Во всех случаях будем считать, что плотность распределения вероятностей времен жизни поглощающих центров в возбужденном состоянии $\varphi_\tau(x)$ и условная плотность распределения вероятности

$\varphi_{d_j | \nu_j, t_j, \nu_j^*, \tau_j, N=k} (p_1, \dots, p_5, k)$ имеют вид показательных распределений:

$$\varphi_{\tau}(x) = \begin{cases} \frac{1}{\tau_{lum}} \exp\left(\frac{-x}{\tau_{lum}}\right), & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}, \quad \varphi_{d_j|v_j, \dots, N=k}(p_1, \dots, p_5, k) = \begin{cases} \lambda \exp(-\lambda p_1), & p_1 \geq 0 \\ 0, & p_1 < 0 \end{cases}, \quad \lambda = \lambda(p_2, \dots, p_5, k).$$

Вначале исключим вклад в $J(t, \Delta t, \tilde{\nu}, \Delta \nu, z)$ от люминесценции. Для этого предположим, что $\varphi_{\nu}^*(x) = \delta_+(x - \nu^*)$ и $\nu^* \neq \tilde{\nu}$, где $\delta_+(x)$ — односторонняя дельта-функция Дирака [4]. Это значит, что все поглощающие центры излучают фотоны одной и той же частоты ν^* , не равной частоте $\tilde{\nu}$, на которой ведется регистрация $J(t, \Delta t, \tilde{\nu}, \Delta \nu, z)$. В этом случае:

$$M(J) = \frac{h\tilde{\nu}}{\tau_{lum}} \varphi_{\nu}(\tilde{\nu}) \varphi\left(t - \frac{zn(\tilde{\nu})}{c}\right) H\left(t - \frac{zn(\tilde{\nu})}{c}\right) \sum_k k P(N=k) \int_0^{+\infty} \exp\left\{\frac{-p_5}{\tau_{lum}} - \lambda\left(\tilde{\nu}, t - \frac{zn(\tilde{\nu})}{c}, \nu^*, p_5, k\right)z\right\} dp_5. \quad (10)$$

Классический закон Бугера-Ламберта-Бера получается из (10) при $\lambda(p_2, \dots, p_5, k) = \tilde{\lambda}(p_2, p_3, p_4)$, т.е. если d_j не зависит от τ_j и N . В этом случае:

$$M(J) = h\tilde{\nu} M(N) \varphi_{\nu}(\tilde{\nu}) \varphi\left(t - \frac{zn(\tilde{\nu})}{c}\right) H\left(t - \frac{zn(\tilde{\nu})}{c}\right) \exp\left\{-\tilde{\lambda}\left(\tilde{\nu}, t - \frac{zn(\tilde{\nu})}{c}, \nu^*\right)z\right\}. \quad (11)$$

Если d_j зависит от τ_j и N , то, как видно из (10), зависимость спектральной плотности мощности излучения от толщины z слоя среды, может оказаться существенно неэкспоненциальной.

Теперь исключим вклад в $J(t, \Delta t, \tilde{\nu}, \Delta \nu, z)$ фотонов, которые преодолели слой толщины z без поглощения. Для этого предположим, что $\varphi_{\nu}(x) = \delta_+(x - \tilde{\nu})$ и $\varphi(x) = \delta_+(x)$, т.е. поток фотонов, попадающих в среду, является монохроматическим с частотой, равной частоте $\tilde{\nu}$, на которой ведется регистрация спектральной плотности мощности излучения, а его модуляция — дельта-импульсной. При этом все фотоны, прошедшие сквозь среду без поглощения, выйдут из слоя среды толщиной z в один и тот же момент времени $t = zn(\tilde{\nu})/c$ и дальше не будут оказывать никакого влияния на спектральную плотность мощности излучения. В этом случае:

$$M(J) = \frac{h\tilde{\nu}}{\tau_{lum}} \varphi_{\nu}^*(\tilde{\nu}) \exp\left\{\frac{1}{\tau_{lum}}\left(\frac{zn(\tilde{\nu})}{c} - t\right)\right\} H\left(t - \frac{zn(\tilde{\nu})}{c}\right) \sum_k k P(N=k) \left(1 - \exp\left\{-\lambda\left(\tilde{\nu}, 0, \tilde{\nu}, t - \frac{zn(\tilde{\nu})}{c}, k\right)z\right\}\right). \quad (12)$$

Формула (12) дает выражение для спектральной плотности мощности люминесценции. Как мы видим, при сделанных предположениях, зависимость $M(J)$ от времени является одноэкспоненциальной.

Предлагаемая модель является гибким инструментом анализа экспериментальных данных: путем подбора совместной функции распределения вероятностей параметров, характеризующих поток фотонов, и параметров, характеризующих их взаимодействие со средой, можно описать практически любые экспериментально наблюдаемые особенности поглощения потока фотонов средой и люминесценции этой среды.

Список литературы:

1. Мандель Л. Оптическая когерентность и квантовая оптика / Л. Мандель, Э. Вольф. — М.: Физматлит, 2000. — 896 с.
2. Казаков Б. Н. Вероятностная модель регистрации светового потока в режиме счета фотонов / Б. Н. Казаков, А. В. Михеев // Научно-технический вестник Поволжья. — 2011. — № 3. — С. 123-127.
3. Грибковский В. П. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках. — Минск: Наука и техника, 1975. — 464 с.
4. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. — М.: Наука, 1974. — 832 с.

А. В. Кузьмин, Д. Ю. Моторина, О. А. Перегудова д.ф.-м.н.

Ульяновский государственный университет
факультет математики и информационных технологий
кафедра информационной безопасности и теории управления
Россия, г. Ульяновск
motorina.dyu@gmail.com

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (проект МД-7549.2010.1), АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект № 2.1.1/11180), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (гк П/2230, 14.740.12.0837, 14.740.11.0685) и РФФИ (11-01-00541).

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ КОЛЕСНЫМ РОБОТОМ ПРИ УЧЕТЕ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ КОЛЕС

В работе представлена новая динамическая модель трехколесного мобильного робота с учетом проскальзывания колес. Предложен непрерывный закон управления, решающий задачу слежения для построенной модели робота при учете запаздывания в структуре обратной связи. Описана программа, реализующая алгоритм нахождения параметров управления и численное моделирование движения робота.

Ключевые слова: мобильный робот с роликонесущими колесами, управление с насыщением, запаздывание, проскальзывание колес.

Мобильные колесные роботы в последнее время все больше используются в промышленности и других областях человеческой деятельности. Это обусловлено увеличением темпов автоматизации производственных процессов и повышением их качества. Большими перспективами обладают мобильные роботы с роликонесущими колесами, которые способны перемещаться в любом направлении и с любой ориентацией без предварительного разворота. Такие роботы обладают более высокой маневренностью по сравнению с обычными колесными роботами, что делает эффективным их использование, например, в тесных помещениях.

В процессе управления мобильными колесными роботами важно учитывать такие важные факторы, как проскальзывание колес и запаздывание в структуре обратной связи. Исследованию динамики мобильных колесных роботов при наличии проскальзывания колес посвящены известные работы [1–3]. Так, например, в работе [1] показано, что учет проскальзывания колес играет существенную роль при синтезе управления движением робота, так как использование «идеальной» модели робота без проскальзывания приводит к увеличению погрешности управления.

Запаздывание в структуре управления возникает в связи с тем, что реальным устройствам необходимо некоторое время для получения информации от датчиков положения и скоростей системы, а также для обработки этих данных и формирования выходного сигнала.

В настоящей работе представлена новая динамическая модель мобильного робота с тремя роликонесущими колесами, которая позволяет учитывать возможное проскальзывание колес. На основе этой модели решена задача отслеживания заданного программного движения при условии, что в структуре управления присутствует запаздывание, зависящее

от времени. Разработан программный комплекс, предназначенный для нахождения параметров управления и численного моделирования движения робота при действии построенного управления.

1. Динамическая модель мобильного колесного робота. Рассмотрим мобильный робот, состоящий из платформы и трех колес, на которых закреплены ролики. Ось вращения каждого ролика лежит в плоскости соответствующего колеса и направлена по касательной к его ободу. Робот управляется посредством трех независимых электродвигателей, которые создают управляющие моменты, приложенные к колесам.

Рассмотрим такое движение робота, при котором платформа перемещается по ровной горизонтальной поверхности и вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через ее центр масс. Предположим, что движение робота происходит с проскальзыванием колес.

Динамическая модель робота описывается следующей системой уравнений:

$$H\ddot{q} + H_d(q, \dot{q})\dot{q} + F(q) + F_d(q, \dot{q}) = P(\psi)u(t - h(t)) + Q(\psi)F_n, \quad (1.1)$$

$$H = \begin{pmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & I \end{pmatrix}, \quad F(q) = \begin{pmatrix} n\dot{\xi} + m_d\dot{\eta}\psi \\ n\dot{\eta} - m_d\dot{\xi}\psi \\ 2l^2n\dot{\psi} \end{pmatrix},$$

$$P(\psi) = \begin{pmatrix} \sin(\psi) & \sin(\psi + 2\pi/3) & \sin(\psi + 4\pi/3) \\ -\cos(\psi) & -\cos(\psi + 2\pi/3) & -\cos(\psi + 4\pi/3) \\ -l & -l & -l \end{pmatrix},$$

$$Q(\psi) = -\begin{pmatrix} \cos(\psi) & \cos(\psi + 2\pi/3) & \cos(\psi + 4\pi/3) \\ \sin(\psi) & \sin(\psi + 2\pi/3) & \sin(\psi + 4\pi/3) \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$P_t(\psi, \dot{\psi}) = \dot{\psi} \begin{pmatrix} \cos(\psi) & \sin(\psi) & 0 \\ \cos(\psi + 2\pi/3) & \sin(\psi + 2\pi/3) & 0 \\ \cos(\psi + 4\pi/3) & \sin(\psi + 4\pi/3) & 0 \end{pmatrix},$$

$$D = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{pmatrix}, \quad D_t = \begin{pmatrix} v_1 & 0 & 0 \\ 0 & v_2 & 0 \\ 0 & 0 & v_3 \end{pmatrix}, \quad v_i = \frac{d\sigma_i}{dt}, \quad i = 1..3,$$

$$H_d(q, \dot{q}) = \frac{m_1 r_1^2}{r^2} P(\psi) D P^T(\psi),$$

$$F_d(q, \dot{q}) = \frac{1}{r^2} P(\psi) \left[m_1 r_1^2 (D P_t(\psi, \dot{\psi}) + D_t P^T(\psi)) + c_v D P^T(\psi) \right] \dot{q},$$

где $q = (\xi, \eta, \psi)^T$, ξ, η – координаты центра масс платформы в неподвижной декартовой системе, ψ – угол поворота платформы вокруг вертикальной оси; $F_n = (F_{n1}, F_{n2}, F_{n3})^T$, F_{ni} , $i = 1..3$, – сила трения бокового скольжения i -го колеса; $u = (u_1, u_2, u_3)^T$, u_i , $i = 1..3$, – управляющее воздействие, развиваемое i -ым электродвигателем; $h(t)$ – ограниченная непрерывная функция, характеризующая запаздывание в структуре управления, $0 \leq h(t) \leq h_0 = \text{const}$; $m_d = \frac{3m_1 r_1^2}{2r^2}$, $m = m_0 + 3m_1 + m_d$,

$I = m_0 \rho_0^2 + 3m_1 (\rho_1^2 + l^2) + \frac{3m_1 l^2 r_1^2}{r^2}$, $n = \frac{3c_v}{2r^2}$; m_0 – масса платформы; m_1 – масса колеса робота; r – радиус каждого колеса; l – расстояние от центра масс платформы до центра каждого

колеса; ρ_0, ρ_1 – соответственно радиусы инерции платформы и колеса относительно вертикальной оси, проходящей через их центры масс; r_1 – радиус инерции колеса относительно оси вращения; c_v – положительный коэффициент, зависящий от характеристик электродвигателей; $\sigma_i, i=1..3$, – параметр, характеризующий проскальзывание i -го колеса в данный момент времени.

2. Решение задачи слежения для мобильного колесного робота. Пусть $q^*(t) = (\xi^*(t), \eta^*(t), \psi^*(t))^T$ – заданное программное движение. Необходимо построить управление $u(t-h(t))$, при котором все решения $q(t)$ системы (1.1) с начальным условием:

$$q(s) = q_0(s), \quad -h_0 \leq s \leq 0, \\ \max_{-h_0 \leq s \leq 0} |q_0(s) - q^*(s)| < \delta, \quad (2.1)$$

будут удовлетворять неравенству:

$$|q(t) - q^*(t)| < \varepsilon, \quad \forall t \geq 0. \quad (2.2)$$

Здесь $|\cdot|$ – некоторая норма в пространстве R^3 , δ – величина начальных отклонений от отслеживаемой траектории, ε – погрешность слежения.

При решении поставленной задачи будем предполагать, что параметры, характеризующие проскальзывание колес, неизвестны и изменяются в следующих пределах:

$$|\sigma_i| \leq d_i, \quad \left| \frac{d\sigma_i}{dt} \right| \leq d_i^t, \quad |F_{ni}| \leq \frac{m_s g}{3} \mu_{max}^n, \quad i = 1..3,$$

где $d_i, d_i^t, i=1..3$, – некоторые положительные постоянные, g – ускорение свободного падения, μ_{max}^n – максимальный коэффициент силы трения покоя в поперечном направлении.

Для решения задачи слежения возьмем в системе (1.1) управление следующего вида:

$$u(t-h(t)) = -kP^{-1}(\psi^*(t))HCsat(z(t-h)), \quad (2.3)$$

$$z(t-h) = q(t-h(t)) - q^*(t-h(t)) + C^{-1}(q(t-h(t)) - q^*(t-h(t))),$$

$$sat(z_i) = \begin{cases} sign(z_i), & |z_i| \geq \gamma, \\ \frac{z_i}{\gamma}, & |z_i| < \gamma, \end{cases}$$

где $sat(z(t)) = (sat(z_1(t)), sat(z_2(t)), sat(z_3(t)))^T$; $C = diag\{c_1, c_2, c_3\}$, $c_i, i=1..3$, – положительные постоянные, достаточно произвольно подбираемые; k – коэффициент усиления, подлежащий определению; γ – параметр насыщения.

3. Программа нахождения параметров управления. Для нахождения параметров управления разработан эффективный алгоритм, полученный с применением метода сравнения с вектор-функцией Ляпунова, компоненты которой имеют вид кубической векторной нормы [4, 5]. Основными операциями алгоритма являются оценки логарифмических и операторных норм матриц, входящих в уравнения движения робота.

Для автоматизации процесса нахождения параметров управления разработан соответствующий программный комплекс, реализующий данный алгоритм. Комплекс включает следующие программы: программа анализа и вычисления математических выражений, программа нахождения параметров управления, программа численного моделирования движения робота при действии построенного управления с запаздыванием.

В качестве входной информации для программ выступают следующие данные: параметры робота и характеристики электродвигателей, допустимые пределы изменения

параметров проскальзывания, отрезок времени, для которого определяется управление, отслеживаемое программное движение $q^*(t)$, параметр насыщения γ , ожидаемая погрешность слежения ε .

На основе этой информации программным комплексом вычисляются следующие величины: параметры обратной связи c_1, c_2, c_3 , коэффициент усиления k , допустимая величина запаздывания h_0 , величина начальных отклонений δ .

Для проверки полученного результата производится численное моделирование движения робота при действии построенного управления. В основе моделирования лежит численное интегрирование уравнений движения робота с помощью метода Рунге-Кутты, модифицированного для систем с запаздыванием.

Список литературы:

1. Balakrishna R., Ghosal A. Modeling of slip for wheeled mobile robot // IEEE Transaction on Robotics and Automation. 1995. V. 11, No 1. P. 126–132.
2. Huang Y., Cao Q. The path-tracking controller based on dynamic model with slip for one four-wheeled OMR // Industrial Robot: An International Journal. 2010. V. 37, No 2. P.193–201.
3. Williams II R.L., Carter B.E., Gallina P., Rosati G. Dynamic model with slip for wheeled omnidirectional robots // IEEE Transactions on Robotics and Automation. 2002. V. 18, No 3. P. 285–293.
4. Моторина Д.Ю. Управление с насыщением в задаче слежения для механических систем с учетом запаздывания // Автоматизация процессов управления. 2010. № 1. С. 24–30.
5. Моторина Д.Ю. Синтез управления для механических систем с неизвестной матрицей инерции при учете запаздывания в структуре обратной связи // Автоматизация процессов управления. 2010. № 4. С. 10–15.

А. А. Молгачев к.ф.-м.н., Г. А. Шепелев

Ульяновский государственный университет
факультет математики и информационных технологий
кафедра информационной безопасности и теории управления
Россия, г. Ульяновск
geo.shepelev@gmail.com

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (проект МД-7549.2010.1), АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/11180), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (14.740.12.0837) и РФФИ (11-01-00541).

О ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЯЗКОУПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В работе дается математическое обоснование применения знакопостоянных функционалов Ляпунова в исследовании устойчивости функционально-дифференциальных уравнений с бесконечным запаздыванием.

Ключевые слова: функционально-дифференциальное уравнение с бесконечным запаздыванием, предельное уравнение, устойчивость, функционал Ляпунова.

Пусть R^n — действительное n -мерное пространство с нормой $|\cdot|$, B — действительное векторное пространство

1. либо непрерывных функций, отображающих $R^- = (-\infty, 0]$ в R^n , и $\varphi = \psi$ в B , если $\varphi(s) = \psi(s)$ для всех $s \in R^-$;

2. либо измеримых функций, отображающих R^- в R^n , и $\varphi = \psi$ в B , если $\varphi(s) = \psi(s)$ почти для всех $s \in R^-$ и $\varphi(0) = \psi(0)$,

и в пространстве B определена норма $|\cdot|_B$ такая, что $(B, |\cdot|_B)$ является сепарабельным банаховым пространством.

Для функции $x \in C((-\infty, A), R^n)$, $-\infty < A, +\infty$, определим функцию $x_t : R^- \rightarrow R^n$ по формуле $x_t(s) = x(t+s)$, $s \in R^-$ для каждого $t < A$.

Для произвольного $a > 0$ определим множества $B_a = \{\varphi \in B : |\varphi|_B < a\}$, $\bar{B}_a = \{\varphi \in B : |\varphi|_B \leq a\}$.

Рассмотрим функционально-дифференциальное уравнение с бесконечным запаздыванием

$$\dot{x}(t) = f(t, x_t) \quad (1)$$

где функционал $f \in C(R^+ \times B_H, R^n)$ для некоторого $0 < H, \infty$.

Предположение 1 Для любого $h \in (0, H)$ существует $m = m(h)$ такое, что $|f(t, \varphi)| \leq m(h)$ для всех $(t, \varphi) \in R^+ \times \bar{B}_h$.

Предположение 2 Функционал $f(t, \varphi)$ ограничен и равномерно непрерывен на каждом множестве $R^+ \times K$, где $K \subset B_H$ — компакт, т.е. для любого компакта $K \subset B_H$ существует число $M = M(K) > 0$, и для произвольного малого $\varepsilon > 0$ найдётся $\delta = \delta(\varepsilon, K) > 0$ такие, что

для любых $(t_1, \varphi_1), (t_2, \varphi_2) \in R^+ \times K$ при условиях $|t_1 - t_2| < \delta$, $|\varphi_1 - \varphi_2|_B < \delta$ выполняются неравенства:

$$|f(t, \varphi)| \leq M, \quad |f(t_1, \varphi_1) - f(t_2, \varphi_2)| < \varepsilon.$$

Предположение 3 Для каждой начальной точки $(\alpha_0, \varphi_0) \in R^+ \times B_H$ существует непродолжаемое решение $x(t, \alpha_0, \varphi_0)$ уравнения (1), определённое для $t \in [\alpha_0, \beta)$ при некотором $\beta > \alpha_0$. Кроме того, если выполняется условие Липшица, а именно, для любых $t \in R^+$, $\varphi, \psi \in B_a$, $a \in (0, H)$ справедлива оценка

$$|f(t, \varphi_2) - f(t, \varphi_1)| \leq l(a) |\varphi_2 - \varphi_1|_B \quad (2)$$

для некоторого $l(a) > 0$, то такое решение единственно и имеет место непрерывная зависимость решения от начальной точки.

Пусть $F_f = C(R^+ \times B_H, R^n)$ — пространство непрерывных функционалов, определённых на $R^+ \times B_H$ со значениями в R^n . Для $f \in F_f$ определим семейство сдвигов $T(f) = \{f_\tau(t, \varphi) = f(\tau + t, \varphi), \tau \in R^+\}$ и обозначим через $H(f)$ замыкание множества $T(f)$ в пространстве F_f . Так как пространство B сепарабельно, то $f^* \in H(f)$, если и только если существует последовательность $\{t_n\} \subset R^+$ такая, что $f(t + t_n, \varphi) \rightarrow f^*(t, \varphi)$ при $n \rightarrow \infty$ равномерно на компактных подмножествах из $R^+ \times B_H$ [1]. Если выполняется предположение 3, то множество $H(f)$ компактно в пространстве F_f и $\Omega(f) = \{f^* \in F_f : \exists \{t_n\}, t_n \rightarrow +\infty \text{ такая, что } f_{t_n} \rightarrow f^* \text{ в } F_f\}$ непусто. Очевидно, $H(f) = T(f) \cup \Omega(f)$.

Уравнению (1) сопоставим семейство предельных уравнений

$$\dot{x}(t) = f^*(t, x_t) \quad (3)$$

где $f^*(t, \varphi) \in \Omega(f)$ есть предельный к f функционал, определяемый некоторой последовательностью $t_k \rightarrow +\infty$, то есть $f^*(t, \varphi) = \lim_{k \rightarrow \infty} f(t + t_k, \varphi)$ для $(t, \varphi) \in R^+ \times B_H$ (при этом сходимость равномерна на каждом множестве $[0, T] \times K$, где $T > 0$, K — компакт из B_H).

Определение 1 Пространство B назовём допустимым, если существуют постоянные $K, J > 0$ и непрерывная функция $M : R^+ \rightarrow R^+$ такие, что выполняются следующие условия. Если $0 \leq a < A$, ∞ и функция $x : (-\infty, A) \rightarrow R^n$ непрерывна на $[a, A)$ и $x_a \in B$, то для всех $t \in [a, A)$

$$(B1) \quad x_t \in B \text{ и } x_t \text{ непрерывно по } t \text{ относительно } |\cdot|_B;$$

$$(B2) \quad |x_t|_B \leq K \max_{a, s, t} |x(s)| + M(t - a) |x_a|_B;$$

$$(B3) \quad |\varphi(0)| \leq J |\varphi|_B \text{ для всех } \varphi \in B;$$

$$(B4) \text{ если } \{\varphi_k\} \subset B \text{ равномерно ограничена: } \sup_k \sup_{s \leq 0} |\varphi_k(s)| < \infty, \text{ и } \varphi_k \rightarrow \varphi \text{ равномерно}$$

на компактах из R^- , то $\varphi \in B$ и $\varphi_k \rightarrow \varphi$ в B .

Определим $B_0 = \{\varphi \in B : \varphi(0) = 0\}$ и для $\varphi \in B_0$ оператор $S_0(t)$:

$$[S_0(t)\varphi](s) = \begin{cases} 0, & -t \leq s \leq 0, \\ \varphi(t + s), & s < -t. \end{cases}$$

Определение 2 [7] Допустимое пространство B назовём пространством с исчезающей памятью, если

$$|S_0(t)\varphi|_B \rightarrow 0 \text{ при } t \rightarrow +\infty \text{ для любой } \varphi \in B_0.$$

Заметим, что если B — пространство с исчезающей памятью, то функция $M(t)$ в условии (B2) ограничена, $M(t), M_1$ для всех $t \in R^+$ [2].

Определение 3 [4, 5, 7] Допустимое пространство B назовём пространством с равномерно исчезающей памятью, если в (B2) $M(t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow +\infty$.

Тогда имеют место следующие обобщения теорем, где для удобства через $\omega: R^+ \rightarrow R^+$ обозначена функция типа Хана.

Теорема 1 Предположим, что:

1) существует непрерывный функционал $V: R^+ \times B_H \rightarrow R^+$ такой, что:

$$\omega_1(|\varphi(0)|) \leq V(t, \varphi) \leq \omega_2(\|\varphi\|),$$

$$\dot{V}(t, \varphi) \leq -W(t, \varphi) \leq 0, \quad (t, \varphi) \in R^+ \times B_H;$$

2) для каждой предельной совокупности (f^*, W^*) множество $\{W^*(t, \varphi) = 0\}$ не содержит решений предельного уравнения $\dot{x} = f^*(t, x_t)$, кроме нулевого $x = 0$.

Тогда решение $x = 0$ уравнения (1) равномерно асимптотически устойчиво.

Теорема 2 Предположим, что:

1) существует непрерывный функционал $V: R^+ \times B_H \rightarrow R^+$ такой, что:

$$0 \leq V(t, \varphi) \leq \omega(\|\varphi\|), \quad \dot{V}(t, \varphi) \leq 0, \quad (t, \varphi) \in R^+ \times B_H;$$

2) решение $x = 0$ есть точка равномерного притяжения решений $\{\dot{x}(t) = f^*(t, x_t)\}$ относительно множества $\Lambda_0 = V^{-1}(\infty, 0)$.

Тогда решение $x = 0$ уравнения (1) равномерно устойчиво по Ляпунову.

Теорема 3 Предположим, что в условиях теоремы 2 также для каждой предельной совокупности $(f^*, W^*, \Omega) \in H^+(f, W)$, соответствующего ей множества $V_\infty^{-1}(t, c)$ и каждого $c_0 > 0$ множество $\{V_\infty^{-1}(t, c) : c = c_0\} \cap \{W^*(t, \varphi) = 0\}$ не содержит решений предельной системы (3).

Тогда решение $x = 0$ системы (1) равномерно асимптотически устойчиво.

Отличие теорем 1–3 от соответствующих теорем из [3] состоит в том, что выясняется важное свойство равномерной асимптотической устойчивости, которое позволяет определить грубость системы, состоящую в устойчивости при постоянно действующих возмущениях. Такая устойчивость является необходимым элементом анализа устойчивости в практических задачах, так как, как правило, параметры механической системы и действующие силы определяются с определенной степенью точности.

Как показано в [2] исследование устойчивости крылового профиля сводится к анализу уравнений, которые могут быть включены в более общую форму

$$M(t, q)\ddot{q}(t) + A(t, q)\dot{q}(t) + \frac{\partial \Pi(t, q(t))}{\partial q} = \int_0^t S(t, \tau)\dot{q}(t - \tau)d\tau, \quad \frac{\partial \Pi}{\partial q}(t, 0) = 0 \quad (4)$$

где $M, A, S \in R^{n \times n}$ — положительно определенные матрицы, $\Pi = \Pi(t, q)$, $\Pi \equiv 0$, $\frac{\partial \Pi}{\partial q} \equiv 0$ при

$q = 0$, — некоторая функция типа потенциальной энергии, в частности, она может иметь вид

$$\Pi(t, q) = \frac{1}{2} \dot{q}' B(t) \dot{q}. \quad (5)$$

Устойчивость нулевого решения $q = \dot{q} = 0$ системы (4) может быть исследована посредством функционала

$$V = \frac{1}{2} \dot{q}' M(t, q) \dot{q} + \frac{1}{2} \Pi(t, q) + \int_0^\infty \int_0^\tau \dot{q}'(t-s) C(\tau) \dot{q}(t-s) ds d\tau, \quad (6)$$

где $C(\tau) \in R^{n \times n}$, $C \in L^1$ — некоторая положительно-определенная матрица типа ядра, таким образом, что для каждого $a \in R^n$, $a = \text{const}$

$$\int_0^\infty a' C(\tau) a(\tau) d\tau < +\infty,$$

функции $\dot{q}(\alpha)$ определяются при $\alpha < 0$ предположением $\dot{q}(\alpha) \equiv 0$. При условии определенной положительности $\Pi(t, q)$ функционал V является определенно-положительным по $(q(0), \dot{q}(0))$ в соответствии с определениями из [1]. При условии

ограниченности матрицы M , $|M(t, q)| \leq m_0 = \text{const}$, градиента $\frac{\partial \Pi}{\partial q}$, $\left| \frac{\partial \Pi}{\partial q} \right| \leq p_0$, функционал

допускает бесконечно малый высший предел по $\|q(t)\|$, $\|\dot{q}(t)\|$.

Его производная в силу системы (4) имеет следующую оценку

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \frac{1}{2} \dot{q}' \frac{dM}{dt} \dot{q} + \frac{\partial \Pi}{\partial t} - \dot{q}' A(t, q) \dot{q} + \int_0^t \dot{q}'(t-\tau) S(t, \tau) \dot{q}(t-\tau) d\tau + \\ &+ \int_0^\infty \dot{q}'(t) C(\tau) \dot{q}(t) d\tau - \int_0^t \dot{q}'(t-\tau) C(\tau) \dot{q}(t-\tau) d\tau \leq \\ &\leq \frac{\partial \Pi}{\partial t} + \dot{q}'(t) \left(\frac{1}{2} \frac{dM}{dt} - A(t, q) + \int_0^\infty C(\tau) d\tau + \frac{1}{4} \int_0^\infty S'(t, \tau) C^{-1}(\tau) S(t, \tau) d\tau \right) \dot{q}(t) - \\ &- \frac{1}{4} \int_0^\infty \left(C^{-1/2}(\tau) S(t, \tau) \dot{q}(t) - 2C^{1/2}(\tau) \dot{q}(t-\tau) \right)^2 d\tau. \end{aligned}$$

Предположим, что можно подобрать $C(\tau)$ такую, что будут выполнены следующие условия

$$\begin{aligned} \dot{q}'(t) \left(A(t, q) - \frac{1}{2} \frac{\partial M}{\partial t} - \int_0^\infty C(\tau) d\tau - \frac{1}{4} \int_0^\infty S'(t, \tau) C^{-1}(\tau) S(t, \tau) d\tau \right) \dot{q}(t) &\geq \alpha_0 \|\dot{q}(t)\|^2, \\ \alpha_0 &= \text{const} > 0, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial t} \leq 0, \quad \left\| \frac{\partial \Pi}{\partial q} \right\| = 0 \Leftrightarrow q = 0.$$

Тогда в соответствии с теоремой 1 имеем, что при этих условиях положение равновесия $q = \dot{q} = 0$ системы (4) будет равномерно асимптотически устойчиво.

В частном случае $M = M_0 = \text{const}$, $A = A_0 = \text{const}$, $S(t, \tau) = s_0 e^{-\mu\tau} I$, где I — единичная матрица, $\Pi = \Pi(t, q)$ имеет вид (5) с матрицей $B(t) = B_0 = \text{const} > 0$ эти условия состоят в нахождении функции $c(t) = c_0 e^{-\alpha t}$, $c_0 > 0$ для матрицы $C(t) = c(t)I$ такой, что

$$0 < \alpha < 2\mu, \quad \lambda_{\min}(A_0) - c_0 - \frac{1}{4} c_0 s_0^2 > 0,$$

где $\lambda_{\min}(A_0)$ — минимальное собственное значение матрицы A_0 .

Алгоритм построения функционала в виде (6) может быть обобщён для более общей зависимости $\Pi = \Pi(t, q)$ посредством построения функционалов вида

$$V = \frac{1}{2} \mu(t) \dot{q}' M(t, q) \dot{q} + \Pi(t, q) + \int_0^\infty \int_0^\tau \dot{q}'(t-s) C(\tau) \dot{q}(t-s) ds d\tau,$$

где $\mu(t)$, $0 < \mu_0 \leq \mu(t) \leq \mu_1$, есть некоторая скалярная функция, или в виде

$$V = \frac{1}{2} L'(t) \dot{q}' M(t, q) L(t) \dot{q} + \Pi(t, q) + \int_0^\infty \int_0^\tau \dot{q}'(t-s) C(\tau) \dot{q}(t-s) ds d\tau,$$

где $L(t)$ – дополнительная невозрастающая матрица $|\det L(t)| \geq l_0 = \text{const} > 0$, подлежащая определению.

Другой тип модельных уравнений, согласно [2], имеет следующий вид

$$M(t, q) \ddot{q}(t) + A(t, q) \dot{q}(t) + \frac{\partial \Pi(t, q(t))}{\partial q} = \int_0^t S(t, \tau) q(t-\tau) d\tau. \quad (8)$$

Устойчивость положения равновесия $\dot{q} = q = 0$ этого уравнения может быть исследована на основе функционала

$$V = \frac{1}{2} \dot{q}' M(t, q) \dot{q} + \Pi_0(t, q) + \int_0^t (q(t) - q(t-\tau))' C(\tau) (q(t) - q(t-\tau)) d\tau,$$

где $C(t) \in R^{n \times n}$ – положительно определенная матрица, $\dot{C}$ – отрицательно определенная матрица, $C, \dot{C} \in L^1$, $\Pi_0(t, q) = \Pi(t, q) - \frac{1}{2} q' \left(\int_0^t S(t, \tau) d\tau \right) q$, $q(a) = 0$ при $a < 0$.

Положим, что функция $\Pi_0(t, q)$, $\Pi_0(t, 0) \equiv 0$, является определено-положительной, матрица M и градиент ограничены при $\|q\| \leq H_0 > 0$. Тогда функционал V будет являться определено-положительным по $(\dot{q}(0), q(0))$. Его производная в силу (8) имеет следующую оценку

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \frac{1}{2} \dot{q}' \frac{dM}{dt} \dot{q} + \frac{\partial \Pi_0}{\partial t} - \dot{q}' A(t, q) \dot{q} + \int_0^t \dot{q}'(t) S(t, \tau) (q(t-\tau) - q(t)) d\tau + \\ &\quad + \int_0^t (q(t) - q(t-\tau))' \dot{C}(\tau) (q(t) - q(t-\tau)) d\tau \leq \\ &\leq \frac{\partial \Pi_0}{\partial t} + \dot{q}' \left(\frac{1}{2} \frac{dM}{dt} - A(t, q) + \frac{1}{4} \int_0^\infty S'(t, \tau) \dot{C}^{-1}(\tau) S(t, \tau) d\tau \right) \dot{q}(t) + \\ &\quad + \frac{1}{4} \int_0^\infty \left(\dot{C}^{-\frac{1}{2}}(\tau) S(t, \tau) \dot{q}(t) - 2 \dot{C}^{-\frac{1}{2}}(\tau) q(t-\tau) \right)^2 d\tau \end{aligned}$$

Предположим, что выполнены условия

$$\frac{\partial \Pi_0}{\partial t} \leq 0, \quad \left\| \frac{\partial \Pi}{\partial q} \right\| = 0 \Leftrightarrow q = 0 \quad (9)$$

$$\dot{q}'(t) \left(A(t, q) - \frac{1}{2} \frac{\partial M(t, q)}{\partial t} - \frac{1}{4} \int_0^\infty S'(t, \tau) C^{-1}(\tau) S(t, \tau) d\tau \right) \dot{q}(t) \geq \alpha_0 \|\dot{q}(t)\|^2$$

Тогда в соответствии с теоремой 1 найдем, что при этих условиях положение равновесия $\dot{q} = q = 0$ системы (8) будет равномерно асимптотически устойчиво.

Список литературы:

1. *Андреев, А.С.* Устойчивость неавтономных функционально-дифференциальных уравнений / А.С. Андреев. – Ульяновск: УлГУ, 2005. – 328 с.
2. *Анкилов, А.В.* Математическое моделирование механической системы «трубопровод – датчик давления» / А.В. Анкилов, П.А. Вельмисов, В.Д. Горбоконенко, Ю.В. Покладова. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 188 с.
3. *Павликов, С.В.* Метод функционалов Ляпунова в задачах устойчивости / С.В. Павликов. – Набережные Челны: Изд-во Института управления, 2006. – 264 с.
4. *Haddock J.* Precompactness and convergence in norm of positive orbits in a certain fading memory space / J. Haddock, W. Hornor // *Funkcialaj Ekvacioj.* – 1988. – V. 31. – P.349—361.
5. *Hale J.K.* Phase space for retarded equations with infinite delay / J.K. Hale, J. Kato // *Funk. Ekv.* – 1978. – V. 21. – P. 11—41.
6. *Hino Y.* Functional differential equations with infinite delay / Y. Hino, S. Murakami, T. Naito // *Lecture Notes in Math.* – 1991. – V. 1473. – P. 20—25.
7. *Murakami S.* Fading memory spaces and stability properties for functional differential equations with infinite delay / S. Murakami, T. Naito // *Funkcialaj Ekvacioj.* – 1989. – V.32. – P. 91–105.

А. А. Савочкина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
факультет прикладной математики и механики
кафедра «Высшая математика»
Россия, г. Пермь
aidas_76@mail.ru

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ЛЬЕНАРА С ОТКЛОНЯЮЩИМСЯ АРГУМЕНТОМ

Для уравнения Льенара с отклоняющимся аргументом в слагаемом, не зависящем от производных, рассматривается периодическая краевая задача. С применением теоремы существования для квазилинейного операторного уравнения получены достаточные условия существования решения.

Ключевые слова: уравнение Льенара, периодическая задача, существование решения.

Рассмотрим задачу

$$\ddot{x}(t) + f(x(t))\dot{x}(t) + g(x(p(t))) = h(t), \quad (1)$$

$$x(0) = x(\omega), \dot{x}(0) = \dot{x}(\omega), \quad (2)$$

где $t \in [0, \omega]$ и $x : [0, \omega] \rightarrow R^1$ - искомая функция. Всюду в работе предполагается, что функция $p(t)$ (отклонение аргумента) является измеримой, ограниченной в существенном функцией и $p([0, \omega]) \subset [0, \omega]$. Относительно функций $f : R^1 \rightarrow R^1$ и $g : R^1 \rightarrow R^1$ будем предполагать, что они кусочно – непрерывны, а $h \in L_2[0, \omega]$.

Обыкновенному уравнению Льенара ($p(t) \equiv t$) в теории дифференциальных уравнений уделяется значительное внимание. Ставшие классическими в этом направлении результаты получены Сансоне и Конти, Левинсоном и другими. С соответствующими результатами можно ознакомиться в книгах [1-3]. В последнее время возрастает интерес исследователей к уравнению Льенара с различного вида отклонениями аргумента. Такие уравнения возникают в некоторых современных математических моделях реальных процессов [4]. В предлагаемой работе получены достаточные условия разрешимости задачи (1)-(2), в некоторых ситуациях уточняющие известные результаты.

Пусть $L_2 = L_2[0, \omega]$ пространство, суммируемых с квадратом функций $y : [0, \omega] \rightarrow R^1$ с нормой $\|y\|_{L_2}$. Через $W_2^0 = W_2^0[0, \omega]$ обозначим пространство абсолютно непрерывных, вместе с первой производной, функций таких, что $\ddot{x} \in L_2$ и $x(0) = x(\omega), \dot{x}(0) = \dot{x}(\omega)$. Норму на пространстве W_2^0 определим равенством $\|x(t)\|_{W_2^0} = |x(0)| + |\dot{x}(0)| + \|\ddot{x}(t)\|_{L_2}$.

Пространство W_2^0 будем рассматривать и как гильбертово пространство $H = W_2^0$ со скалярным произведением $\langle x, y \rangle_H = x(0)y(0) + \dot{x}(0)\dot{y}(0) + \int_0^\omega \ddot{x}(t)\ddot{y}(t)dt$. Согласованная со скалярным произведением норма $\|\cdot\|_H$ является эквивалентной норме $\|\cdot\|_{W_2^0}$, причем справедливо неравенство $\|x\|_{W_2^0} \leq \sqrt{3}\|x\|_H$.

Применяемая в статье техника исследования, основана на вспомогательном утверждении о разрешимости квазилинейного операторного уравнения. Соответствующий результат получен в пункте 1.

п1. Пусть X, Y - действительные банаховы пространства, $L: X \rightarrow Y$ - линейный ограниченный оператор с ядром $\ker L$ и образом $R(L)$.

Рассмотрим квазилинейное операторное уравнение

$$Lx = Fx, \quad (3)$$

где оператор $L: X \rightarrow Y$ является фредгольмовым, $F: X \rightarrow Y$ - непрерывным, вообще говоря, нелинейным оператором.

В силу фредгольмовости оператора L справедливы разложения $X = \ker L \oplus X_0$, $Y = R(L) \oplus Y_0$, причем $\ker L$ изоморфно Y_0 , как подпространства одинаковой размерности. Изоморфизм между подпространством Y_0 и ядром обозначим через $J: Y_0 \rightarrow \ker L$. Будем предполагать, что ядро $\ker L \stackrel{\text{def}}{=} H_0$ оператора L является гильбертовым пространством со скалярным произведением $\langle \cdot, \cdot \rangle_{H_0}$, причем $\|x\|_{H_0} = \|x\|_X$, $x \in \ker L$. Проекторы на ядро и образ оператора L обозначим $P: X \rightarrow X$ и $Q: Y \rightarrow Y$ соответственно и пусть $Q^c: Y \rightarrow Y$ - дополнительный проектор, т.е. $Q^c = I - Q$. Определим оператор (сужение Q^c на подпространство Y_0) $Q_0^c: Y \rightarrow Y_0$ равенством $Q_0^c y = y - Qy, y \in Y$.

Оператор $L_0: X \rightarrow R(L)$ определим как сужение оператора L на подпространство $R(L)$. Этот оператор имеет правый обратный $K_P: R(L) \rightarrow X$. Далее будем называть оператор $K_P: R(L) \rightarrow X$ обобщенно обратным к L оператором ([5], стр. 40).

Для оператора $F: X \rightarrow Y$ рассмотрим функциональную характеристику $b_F(r) = \sup_{\|x\| \leq r} \|Fx\|$. Если $b_F(r) < \infty$, то справедливо вложение $F(U(r)) \subset U(b_F(r))$, где $U(r)$ - замкнутый шар пространства X радиуса $r > 0$ с центром в нулевом элементе $\theta \in X$. Для оператора $F_0: X_0 \rightarrow Y$, определенного равенством $F_0 x = JQ_0^c Fx$, $x \in X_0$, положим $\beta(r) = b_{F_0}(r)$.

Через $c: R^+ \rightarrow R^+$ обозначим строго возрастающую непрерывную функцию, такую, что $c(0) = 0$, $c(t) \rightarrow +\infty$ при $t \rightarrow +\infty$. В этих предположениях существует обратная функция $c^{-1}(\cdot)$.

Теорема 1. Пусть выполнены условия: 1) для всех $x \in X_0$ и для любых пар $u, v \in H_0$ справедливо неравенство $\langle JQ_0^c(F(x+u) - F(x+v)), u - v \rangle \geq c(\|u - v\|)\|u - v\|$; 2) оператор $F: X \rightarrow Y$ является вполне непрерывным; 3) неравенство $b_F(r + c^{-1}(\beta(r))) < \|K_P\|^{-1} r$, имеет положительное решение r_0 . Тогда уравнение (3) имеет хотя бы одно решение.

Доказательство. В условиях теоремы 1, доказанной в работе [6], существует непрерывный оператор $T: X_0 \rightarrow H_0$ такой, что для любого $x \in X_0$ имеет место включение $F(x + Tx) \in R(L)$ и справедлива оценка $b_T(r) = \sup_{\|x\| \leq r} \|Tx\| \leq c^{-1}(\beta(r))$.

Рассмотрим вспомогательное операторное уравнение

$$L_0 x = F_1 x, \quad (4)$$

где оператор $F_1: X \rightarrow R(L)$ определен равенством $F_1 x = F(x + Tx)$. Уравнение (4) можно переписать в виде $x = K_P F_1 x$. Условие 2) гарантирует справедливость вложения

$K_p F_1(U(r_0)) \subset U(r_0)$. Таким образом, выполнены условия теоремы Шаудера, согласно которой уравнение (4), а вместе с ним и уравнение (3) имеют хотя бы одно решение. Теорема доказана.

п2. Периодическую задачу (1)-(2) будем записывать в виде операторного уравнения (3) с оператором $L : X \rightarrow Y$, полагая $X = W_2^0[0, \omega]$, $Y = L_2[0, \omega]$,

$$(Lx)(t) = \ddot{x}(t), \quad (5)$$

$$(Fx)(t) = h(t) - f(x(t))\dot{x}(t) - g(x(p(t))). \quad (6)$$

Оператор $L : W_2^0 \rightarrow L_2$, определенный равенством (5), является линейным ограниченным фредгольмовым оператором с ядром и образом

$$\ker L = \{x \in W_2^0 / x(t) \equiv \text{const}\}, \quad R(L) = \left\{ y \in L_2 / \int_0^\omega y(s) ds = 0 \right\}.$$

Ограниченные проекторы на ядро и образ оператора L определим равенствами $P : W_2^0 \rightarrow W_2^0$, $Px(t) = x(0)$, $Q : L_2 \rightarrow L_2$, $Qy(t) = y(t) - \frac{1}{\omega} \int_0^\omega y(s) ds$.

Оператор $J : Y_0 \rightarrow \ker L$ определим равенством $Jy = y$, $y \in Y_0$, а оператор $Q_0^c : L_2 \rightarrow Y_0$ равенством $Q_0^c y = y - Qy$, $y \in L_2$.

Лемма 1. [7]. Оператор $K_p : R(L) \rightarrow X$ имеет вид

$$(K_p y)(t) = \frac{t}{\omega} \int_0^\omega s y(s) ds + \int_0^t (t-s) y(s) ds, \quad y \in L_2, \text{ и справедлива оценка } \|K_p\| \leq 1 + \sqrt{\frac{\omega}{3}}.$$

Теорема 2. Пусть выполнены условия: 1) существуют такие константы $a > 0, b > 0$, что $|f(u)| \leq a + b|u|$ для любого $u \in R^1$; 2) существует строго возрастающая функция $g_0 : R^+ \rightarrow R^+$ такая, что $|g(v)| \leq g_0(|v|)$ для любого $v \in R^1$; 3) $g(u) - g(v) \geq c(|u - v|) \text{sgn}(u - v)$ для всех $u, v \in R^1$; 4) существует положительное решение неравенства

$$\sqrt{\omega} (h_0 + a\gamma_2 \sqrt{3}\rho + 3b\gamma_1 \gamma_2 \rho^2 + g_0(\gamma_1 \sqrt{3}\rho)) \leq \left(1 + \sqrt{\frac{\omega}{3}}\right)^{-1} r,$$

$$\text{где } \gamma_1 = \max\left\{1, \omega, \omega \sqrt{\frac{\omega}{3}}\right\}, \quad \gamma_2 = \max\{1, \sqrt{\omega}\}, \quad h_0 = \frac{\|h\|_{L_2}}{\sqrt{\omega}}, \quad \rho = \rho(r) = r + c^{-1}(g_0(\gamma_1 r)).$$

Тогда задача (1)-(2) имеет хотя бы одно решение.

Доказательство. Оператор $F_0(x+u) = JQ_0^c F(x+u)$, где $x \in X_0, u \in \ker L$ имеет вид

$$F_0(x+u) = \frac{1}{\omega} \int_0^\omega \left(h(t) - f(x+u)(x+u)' - g(x(p(t))+u) \right) dt = \frac{1}{\omega} \int_0^\omega (h(t) - g(x(p(t))+u)) dt.$$

Интеграл $\int_0^\omega f(x+u)(x+u)' dt = 0$ в силу краевых условий (2). Для произвольных $x \in X_0, u, v \in \ker L$ оценим скалярное произведение

$$\begin{aligned} \langle JQ_0^c(F(x+u) - F(x+v)), u - v \rangle_{H_0} &= \frac{1}{\omega} \int_0^\omega (h(t) - g(x(p(t))+u) - h(t) + g(x(p(t))+v)) \cdot \\ &\cdot (u - v) dt \geq c(|u - v|) \text{sgn}(u - v)(u - v). \end{aligned}$$

Таким образом, условие 1) теоремы 1 выполнено с функцией $c(|u-v|)sgn(u-v)$, причем $b_T(r) = \sup_{\|x\| \leq r} \|Tx\| \leq c^{-1}(\omega g_0(\gamma_1 r))$.

Так как справедливы неравенства $|x(t)| \leq \gamma_1 \|x(t)\|_{W_2^0}, |\dot{x}(t)| \leq \gamma_2 \|x(t)\|_{W_2^0}, x(t) \in W_2^0$, где $\gamma_1 = \max\left\{1, \omega, \omega \sqrt{\frac{\omega}{3}}\right\}, \gamma_2 = \max\{1, \sqrt{\omega}\}$, то

$$\begin{aligned} \|Fx\|_{L_2} &= \left(\int_0^\omega |h(t) - f(x(t)\dot{x}(t)) - g(x(p(t)))|^2 dt \right)^{1/2} \leq \|h\|_{L_2} + \left(\int_0^\omega (a + b|x(t)|)^2 |\dot{x}(t)|^2 dt \right)^{1/2} + \\ &+ \left(\int_0^\omega (g_0(|x(p(t))|))^2 dt \right)^{1/2} \leq \sqrt{\omega} \left(h_0 + a\gamma_2 \sqrt{3} \|x\|_{W_2^0} + 3b\gamma_1\gamma_2 \|x\|_{W_2^0}^2 + g_0(\gamma_1 \sqrt{3} \|x\|_{W_2^0}) \right). \end{aligned}$$

Следовательно, $b_F(r) = \sup_{\|x\| \leq r} \|Fx\| \leq \sqrt{\omega} (h_0 + a\gamma_2 \sqrt{3} r + 3b\gamma_1\gamma_2 r^2 + g_0(\gamma_1 \sqrt{3} r))$.

Справедливость условия 4) теоремы обеспечивает выполнение условия 3) теоремы 1. Если учесть, что оператор $F: X \rightarrow Y$, определенный равенством (6), вполне непрерывен, то все условия теоремы 1 выполнены. Это означает, что операторное уравнение (3) имеет решение, а следовательно задача (1)-(2) разрешима. Теорема доказана.

Список литературы:

1. Рейсинг Р., Сансоне Г., Конти Р. Качественная теория нелинейных дифференциальных уравнений. – М.: Наука, 1974. – 320 с.
2. Плисс В.А. Нелокальные проблемы теории колебаний. – М.-Л.: Наука, 1964. – 367 с.
3. Чезари Л. Асимптотическое поведение и устойчивость решений обыкновенных дифференциальных уравнений: монография/ Л. Чезари. – М.: Мир, 1964. – 466 с.
4. Хейл Дж. Колебания в нелинейных системах. – М.: Мир, 1966. – 232 с.
5. Абдуллаев А.Р., Бурмистрова А.Б. Элементы теории топологических нетеровых операторов. – Челябинск, 1994. – 93 с.
6. Абдуллаев А.Р., Плехова Э.В., Савочкина А.А. Разрешимость квазилинейного уравнения с монотонным оператором.// Научно-технические ведомости СПбГУ. – 2010. - №2(98). - с.80-85.
7. Абдуллаев А.Р., Бурмистрова А.Б. Об одной схеме исследования на разрешимость резонансных краевых задач // Изв. вузов. Математика. – 1996. – № 11. – С. 14–22.

А. Ю. Тимофеев к.ф.-м.н.

Сыктывкарский государственный университет
математический факультет, кафедра математического анализа
Россия, г. Сыктывкар
tim@syktsu.ru

ОПЕРАТОР ВЕКУА В ПРОСТРАНСТВАХ ОРЛИЧА

В теории обобщенных аналитических функций играет большую роль T_G -оператор, который является правым обратным к $\partial/\partial\bar{z}$, где $\partial/\partial\bar{z}$ рассматривается в смысле Соболева. В данной работе изучается T_G -оператор в пространствах Орлича: описаны пространства, в которых оператор является непрерывным.

Ключевые слова: пространство Орлича; N-функция; оператор Векуа

Введение. Теория комплексных функций $w(z)$, удовлетворяющих уравнению

$$\partial_{\bar{z}} w + A(z)w + B(z)\bar{w} = 0, \quad z \in G, \quad (1)$$

построена Векуа И.Н. [1] в предположении, что коэффициенты $A(z)$ и $B(z)$ для ограниченной области G комплексной плоскости принадлежат классу функций $L_p(G)$, $p > 2$, суммируемых в степени p . В этом случае уравнение (1) называется регулярной обобщенной системой Коши-Римана, а его решения – обобщенными аналитическими функциями. Классические условия Коши-Римана $\partial_{\bar{z}} w = 0$ являются частным случаем (1). В этой теории большую роль играет следующий интегральный оператор, введенный И.Н.Векуа ([1]):

$$T_G(.) (z) := -\frac{1}{\pi} \iint_G \frac{(\cdot)}{\zeta - z} d\xi d\eta, \quad \zeta = \xi + i\eta. \quad (2)$$

Применяя оператор (2) к обеим частям уравнения (1), получаем интегральное уравнение

$$w = -T_G(A(z) \cdot w + B(z) \cdot \bar{w}) \quad (3)$$

Таким образом, исследование краевой задачи обобщенного уравнения Коши-Римана (1) свелось к изучению интегрального уравнения (3).

Эта методика исследования применялась многими математиками (Л.Г.Михайлов, З.Д.Усманов, Н.К.Блиев и др.). Наиболее завершенные результаты получены И.Н.Векуа ([1]) для случая, когда коэффициенты уравнения (1) принадлежат $L_p(G)$, где $p > 2$. Заметим, что в [2] оператор T_G исследован в пространствах, описываемых поведением модуля непрерывности. Пространства Орлича ([3]) являются обобщением пространств $L_p(G)$. В связи с этим в данной работе исследуется оператор Векуа в пространствах Орлича. Основным результатом работы является следующая

Теорема. Оператор T_G отображает непрерывно пространство $L_{M_1}(G)$ в пространство $L_{M_2}(G)$, где $M_1 \succ \Phi$, $M_2 \prec \Psi$.

Здесь $\Psi(u) = \frac{u^2}{\ln^\alpha(e+u)}$, $(1 < \alpha < \frac{4}{3})$, а Φ – функция, дополнительная для Ψ .

Доказанные в работе утверждения могут найти применение при изучении краевых задач для обобщенных уравнений Коши-Римана, а также при исследовании других операторов.

1.Необходимые сведения из теории пространств Орлича. Приведем необходимые сведения из теории пространств Орлича (см. напр. [3], [4]).

Заданная на $(-\infty,\infty)$ четная, выпуклая, положительная при $u \neq 0$, непрерывная функция $M(u)$ называется *N-функцией*, если

$$\lim_{u \rightarrow 0} \frac{M(u)}{u} = 0, \quad \lim_{u \rightarrow +\infty} \frac{M(u)}{u} = +\infty.$$

В [4] N-функция называется *функцией Юнга* и определяются как функция представляемая в виде

$$\Phi(t)=\int_0^t \varphi(s)ds, \quad t \geq 0,$$

где вещественная функция φ , заданная на $[0,\infty)$, имеет следующие свойства: (i) $\varphi(0) = 0$; (ii) $\varphi(s) > 0$ для $s > 0$; (iii) φ непрерывна справа в любой точке $s \geq 0$; (iv) φ возрастает на $(0,\infty)$; (v) $\lim_{s \rightarrow \infty} \varphi(s) = \infty$.

Эти определения эквивалентны. Для каждой N-функции равенством

$$M^*(u) = \sup_{-\infty < v < \infty} (uv - M(v))$$

определяется *дополнительная N-функция*. В [4] дополнительная функция называется

сопряженной. Так, для $\Phi(t) = \frac{t^p}{p}$ сопряженной будет $\Psi(t) = \frac{t^q}{q}$, где $q = \frac{p}{p-1}$.

Пусть (T,Σ,μ) – пространство с конечной мерой. Зафиксируем N-функцию M . *Классом Орлича* $L_M^O(T,\Sigma,\mu)$ (или просто L_M^O) называется совокупность всех функций $x \in S(T,\Sigma,\mu)$ таких, что $\int_T M(|x(t)|)d\mu < +\infty$.

Класс Орлича может оказаться нелинейным множеством. *Пространством Орлича* $L_M(T,\Sigma,\mu)$ (или просто L_M) называется совокупность всех функций $x \in S(T,\Sigma,\mu)$ таких, что найдется число $\lambda = \lambda(x) > 0$, для которого $\int_T M(|x(t)|/\lambda)d\mu < +\infty$.

Очевидно, что $L^\infty \subset L_M^O \subset L_M$, L_M есть уже линейное подмножество в S , в пространстве Орлича вводятся следующие две эквивалентные нормы:

$$\|x\|_1 = \sup \left\{ \int_T |xy|d\mu : \int_T M^*(y)d\mu \leq 1 \right\}, \quad \|x\|_2 = \inf \left\{ \lambda > 0 : \int_T M(|x(t)|/\lambda)d\mu \leq 1 \right\}.$$

Говорят, что N-функция $M(u)$ удовлетворяет Δ_2 -условию (записываем $M \in \Delta_2$), если существуют такие постоянные $k > 0$, $u_0 \geq 0$, что

$$M(2u) \leq kM(u), \quad u \geq u_0.$$

Говорят, что N-функция $M(u)$ удовлетворяет условию Δ' , если существуют такие c , $u_0 > 0$, что $M(uv) \leq cM(u)M(v)$, где $u, v \geq u_0$.

В [3] рассматривается линейный оператор

$$Au(x) := \int_G k(x,y)u(y)dy, \tag{1.1}$$

действующий из L_{M_1} в L_{M_2} . Класс линейных непрерывных операторов, действующих из класса B_1 в класс B_2 будем обозначать через $\{B_1 \rightarrow B_2, c.\}$.

Пусть Φ_1, Φ_2 – N -функции. Если существуют положительные константы c и T такие, что $\Phi_1(t) \leq \Phi_2(c \cdot t)$, $t \geq T$, то записывается $\Phi_1 \prec \Phi_2$. Если $\Phi_1 \prec \Phi_2$, $\Phi_2 \prec \Phi_1$, то говорят, что Φ_1 и Φ_2 эквивалентны.

Через $\hat{G}$ обозначается $G \times G$ – произведение с естественной мерой, через $\hat{L}_M$ обозначается $L_M(\hat{G})$.

Теорема 1.1 ([3]). Пусть $\Phi(u)$, $\Psi(u)$ – N -функции, дополнительные друг для друга; пусть $k(u, v) \in \hat{L}_\Psi$. Тогда (1.1) принадлежит $\{L_{M_1} \rightarrow L_{M_2}, c.\}$, если выполнено одно из условий:

- а) $M_2[N_1(v)] \prec \Psi(v)$
 - б) $N_1[M_2(v)] \prec \Psi(v)$
 - в) $\Phi(u)$ удовлетворяет Δ' -условию и $N_1(v) \prec \Psi(v)$, $M_2(v) \prec \Psi(v)$,
- где N_1 дополнительная для M_1 , N_2 дополнительная для M_2 .

2. Ядро оператора Векуа в пространствах Орлича.

В данном разделе изучается интегральный оператор (2). Для изучения T_G в пространствах Орлича исследуем в этих пространствах для множества $\hat{G} = G \times G$, где $G = \{z \in C : |z| < 1\}$ ядро оператора T_G :

$$k(\zeta, z) := -\frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{\zeta - z}$$

Найдем N -функцию Ψ такую, что $k \in L_\Psi^0(\hat{G})$.

Поскольку условие

$$\int_G \frac{1}{|\zeta - z|^\alpha} d\xi d\eta \leq c(\alpha, G)$$

выполняется при $0 < \alpha < 2$, то $k(\zeta, z) \in L_\Psi(\hat{G})$, где $\Psi(u) = \frac{u^\alpha}{\alpha}$. При этом, чтобы $\Psi(u)$ была N -функцией, необходимо, чтобы выполнялось условие $\alpha > 1$. Можно показать, что $k(\zeta, z) \notin L^2(\hat{G})$. Поэтому N -функцию $\Psi(u)$ со свойством $k(\zeta, z) \in L_\Psi(\hat{G})$ будем искать из условия $u^\alpha < \Psi(u) < u^2$, $1 < \alpha < 2$.

Лемма 2.1. Пусть

$$\Psi(u) = \frac{u^2}{\ln^\alpha(e + u)}, \quad (1 < \alpha). \quad (2.1)$$

Обозначим $p(u) = \Psi'(u)$. Тогда $p'(u) > 0$ при $1 < \alpha < \frac{4}{3}$ и $u > u_0$, где $u_0 = \frac{4(\alpha - 1)e}{4 - 3\alpha}$.

Лемма 2.2. Функция (2.1) удовлетворяет Δ_2 -условию, но не удовлетворяет Δ' -условию.

Теорема 2.1. Пусть $k(\zeta, z) := -\frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{\zeta - z}$, тогда $k \in L_\Psi(\hat{G})$, где $\Psi(u)$ задается формулой

(2.1), причем $1 < \alpha < \frac{4}{3}$.

Доказательство. Если $p(u) = \Psi'(u)$, то легко проверить, что $p(u)$ обладает всеми свойствами функции, с помощью которой определяется N -функция. Из этого (в том числе из леммы 2.1.) следует, что функция $\Psi(u) = \int_0^u p(t)dt$ является N -функцией. $L_\Phi^O(\hat{G}) \subset L_\Phi(\hat{G})$, и

значит, если $k \in L_\Psi^O(\hat{G})$, то $k \in L_\Psi(\hat{G})$. Покажем, что $k \in L_\Psi^O(\hat{G})$. Для этого оценим интеграл

$$J(z) = \iint_G \Psi(|k(z, \zeta)|) d\xi d\eta = \iint_G \frac{1}{|\zeta - z|^2 \cdot \ln^\alpha(e + \frac{1}{|\zeta - z|})} d\xi d\eta, \quad \zeta = \xi + i\eta.$$

Оценивая $J(z)$ по схеме [5] (см. также [2]) покажем, что $k \in L_\Psi(\hat{G})$.

3. Заключительная часть доказательства

Утверждение. Пусть Φ, Φ_1 – две N -функции, Ψ, Ψ_1 – дополнительные для Φ, Φ_1 соответственно. Тогда, если $\Phi(t) \leq \Phi_1(ct), t \geq T$, то существует $T_0 \geq 0, c_0 > 0$ такие, что $\Psi(c_0 t) \geq \Psi_1(t), t \geq T_0$.

Лемма 3.1. N -функция $\Phi(t)$, дополнительная для $\Psi(t) = \frac{t^2}{\ln^\alpha(e+t)}$, удовлетворяет Δ' -условию.

Сначала доказывается, что функция $\Phi(t)$, дополнительная для функции $\Psi(t)$, эквивалентна $\Phi_1(t) = t^2 \ln^\alpha(e+t)$. Далее показывается, что

$\Phi_1(t)$ удовлетворяет Δ' -условию. Отсюда следует, что $\Phi(t) \in \Delta'$ ([3]).

Из теоремы 2.1, леммы 3.1 и теоремы 1.1. следует утверждение основной теоремы работы.

Список литературы:

1. Векуа И.Н. Обобщенные аналитические функции. М.: Наука, 1988. 512 с.
2. Тимофеев А.Ю. О поведении T_G -оператора в пространствах функций, описываемых модулем непрерывности // Известия Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2010. №4.- С.12-15.
3. Krasnosel'skij M.A., Rutickij J.B. Convex functions and Orlicz spaces. Groningen: Noordhoff, 1961. 249 p.
4. Kufner A., John O., Fučík S. Function Spaces. Prague: Academia, 1977. 454 p.
5. Tutschke W. Partielle Differentialgleichungen. Teubner-Texte zur Mathematik, Band 27, Leipzig, 1983. 193 s.

СЕКЦИЯ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.01

А. А. Петрова, С. С. Рясенский к.х.н., М. А. Феофанова к.х.н.

Тверской Государственный университет, химико-технологический факультет
кафедра неорганической и аналитической химии
Россия, г. Тверь
m000371@tversu.ru

ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ПОЛИАНИЛИНА

Изучены особенности термического разложения полианилина в среде аргона и воздуха. Показан многостадийный процесс разложения. Температура разложения полианилина составляет 360⁰С.

Ключевые слова: полианилин, термическое разложение, газовая среда.

Полианилин находит применение при создании различных сенсоров, некоторые из которых работают при повышенных температурах [1-8]. Поэтому становится актуальным вопрос о термической устойчивости полианилина (ПАНИ).

Целью настоящей работы было исследовать термодеструкцию ПАНИ в широком температурном интервале.

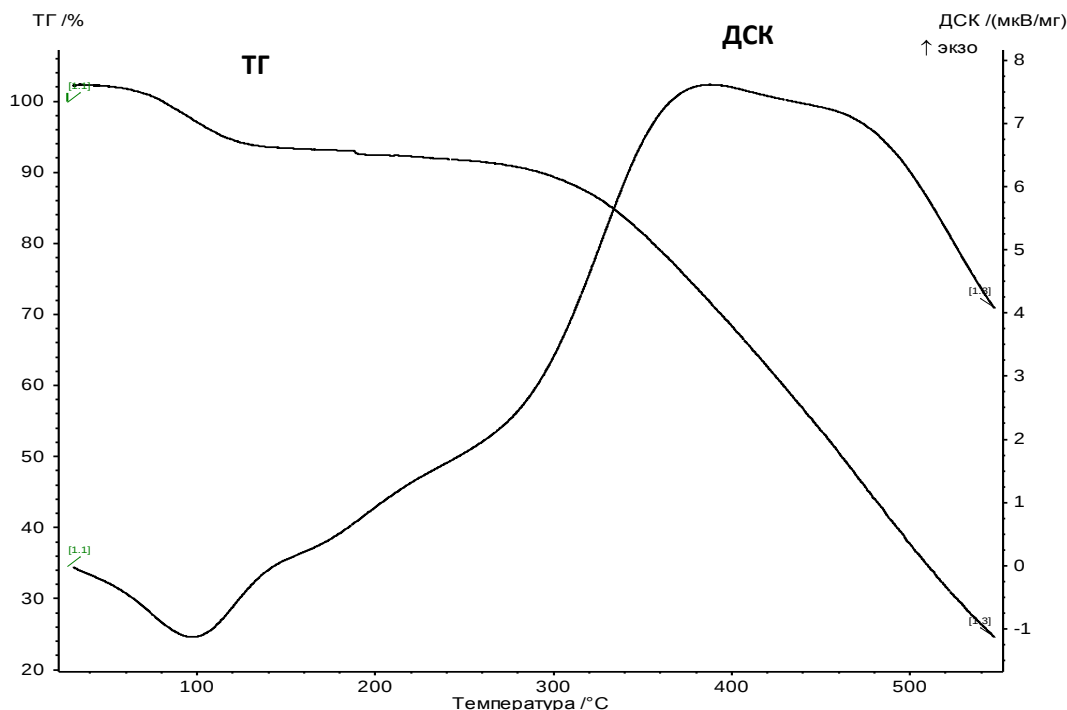


Рис.1. Термограмма образца ПАНИ в атмосфере воздуха.

Для исследования был использован ПАНИ, допированный HCl, полученный по методике [9]. Термический анализ проводили на приборе для синхронного термического

анализа STA 449 F3 (фирма производитель Netzsch) в интервале температур 20 – 550 °С (термодинамический режим). Типичная термограмма изображена на рис.1.

Из рис.1 видно, что в области температур 80 – 105 °С наблюдается изменение массы образца, которому соответствует эндотермический пик на кривой ДСК. Вероятно, это связано с испарением адсорбированной воды. Далее, вплоть до температуры 320 °С не происходит никаких изменений. Потеря 5% массы наблюдается только при 360 °С. Это свидетельствует о значительной термоустойчивости ПАНИ.

На стадии термодеструкции, которая начинается при достижении 360°С можно выделить, по крайней мере, два практически протекающих процесса. Об этом свидетельствует экзотермический эффект кривой ДСК, который фактически состоит из двух перекрывающихся пиков с максимумами температур 380 С и 480 С. Поскольку образец находился в воздушной среде, один из пиков ДСК можно объяснить окислением ПАНИ кислородом воздуха. Механизм термодеструкции ПАНИ, соответствующий другому экзотермическому пику, не совсем ясен и требует дополнительных исследований. Практически полностью образец ПАНИ разлагается на газообразные вещества при 550 С, о чем свидетельствует кривая ТГ.

Для того, чтобы прояснить механизм термодеструкции ПАНИ в интервале температур 350 – 550 С, мы решили повторить эксперимент, но в среде инертного газа – Аг. Результаты термического анализа представлены на рис.2.

Сопоставление рис.1 и 2 свидетельствует о значительном различии полученных термограмм в интервале температур 350 – 550 °С.

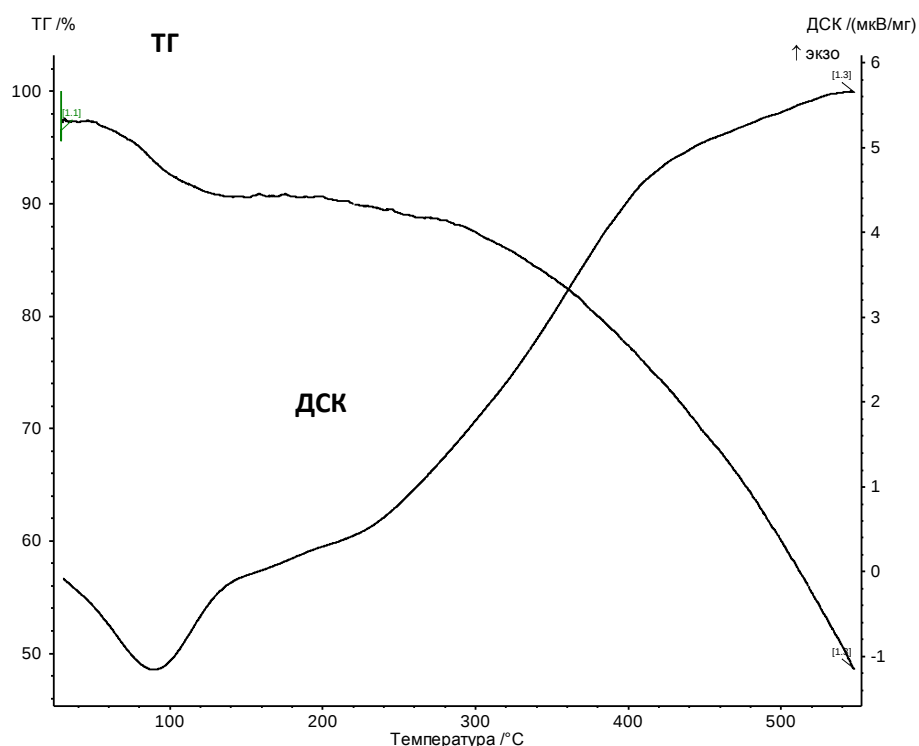


Рис.2. Термограмма образца ПАНИ в атмосфере аргона.

В интервале 20 – 350 °С термограммы мало различаются, поэтому можно считать, что до 350 °С взаимодействия кислорода воздуха с ПАНИ не происходит.

В среде аргона термодеструкция ПАНИ при 350 – 550 °С сопровождается только одним экзотермическим пиком с в интервале 400-500°С. Вероятно, (обращаясь к рис.1) можно заключить, что окислительная термодеструкция предшествует еще какому-то

процессу, также сопровождающимися потерей массы. Важно подчеркнуть, что термодеструкция в среде аргона не сопровождается практически полной потерей массы даже при 550 °С (50% массы образца остается). Вероятно, в качестве продуктов разложения, в этом случае, остается углерод. Если в изотермическом режиме при 550 °С аргон заменить на воздух, то наблюдается интенсивный экзотермический пик и масса образца существенно уменьшается (рис. 3).

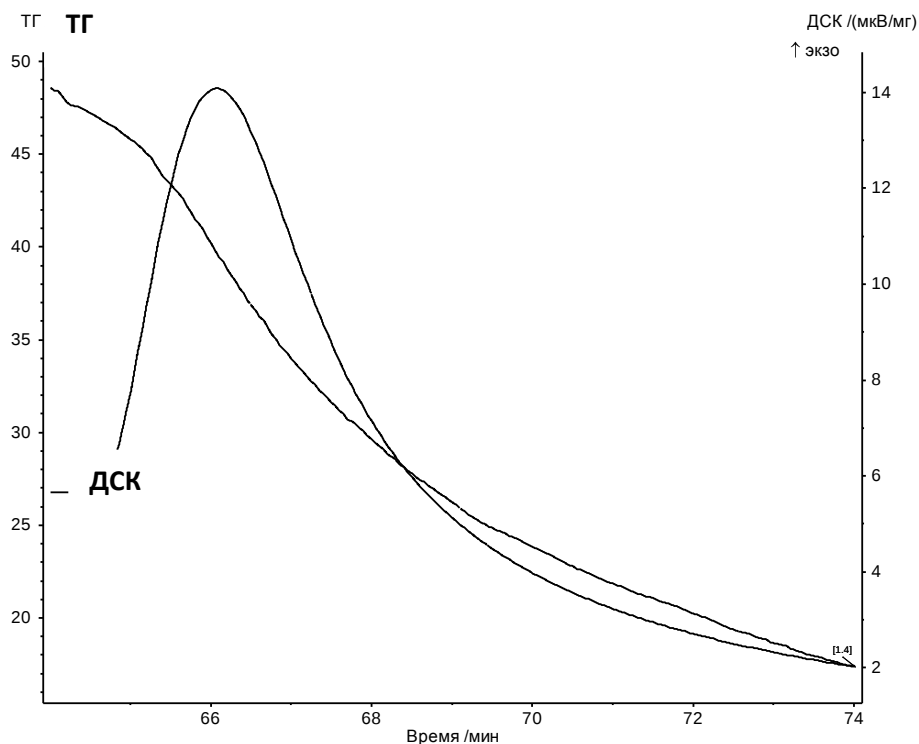


Рис.3. Термограмма образца ПАНИ при замене атмосферы аргона воздухом.

Изотермический режим 550 °С.

Это можно объяснить окислением оставшегося углерода кислородом воздуха.

Список литературы:

1. Горелов И.П., Рясенский С.С. Полианилин: стандартизация методов синтеза и методов испытания продукта // Сб. научн. трудов «Физико-химия полимеров», Тверь, 2005. С. 224-230.
2. Горелов И.П., Рясенский С.С., Картамышев С.В., Федорова М.В. Твердотельный ионселективный электрод с ионно-электронным трансдьюсером для определения хлордiazепоксида // Журнал аналитической химии. 2005. Т. 60. № 1. С. 74-78.
3. Горелов И.П., Холошенко Н.М., Рясенский С.С. Новый функционализированный электропроводный полимер: электросинтез и сенсорные свойства // Химическая физика. 2007. Т. 26. № 4. С. 105 – 108.
4. Картамышев С.В., Кузнецова М.В., Рясенский С.С., Горелов И.П. Твердотельные ионоселективные электроды, селективные к анаприлину // Химико-фармацевтический журнал. 2005. Т. 39. № 1. С. 42-44.
5. Кузнецова М.В., Картамышев С.В., Рясенский С.С., Горелов И.П. Папаверин-селективный электрод с ионно-электронным трансдьюсером на основе электропроводного полимера поли(α -нафтиламина) // Химико-фармацевтический журнал. 2005. Т. 39. № 2. С. 42-44.
6. Холошенко Н.М., Рясенский С.С., Горелов И.П. Твердотельные ионоселективные электроды для определения амиодарона // Химико-фармацевтический журнал. 2006. Т. 40. № 5. С. 54-56.
7. Холошенко Н.М., Рясенский С.С., Горелов И.П. Твердотельные ионоселективные электроды с ионно-электронными трансдьюсерами для определения дофамина // Химико-фармацевтический журнал. 2006. Т. 40. № 6. С. 44-46.
8. Zhe Jin, Yongxuan Su, Yixiang Duan An improved optical pH sensor based on polyaniline// Sensors and Actuators B. 2000. V. 71. P. 118-122.
9. Xueji Zhang , Božidar Ogorevc , Joseph Wang Solid-state pH nanoelectrode based on polyaniline thin film electrodeposited onto ion-beam etched carbon fiber// Analytica Chimica Acta 452 (2002) V 1–10

Л. Х. Абдулхаликова

Оренбургский государственный педагогический университет
физико-математический факультет
кафедра математического анализа и методики преподавания математики
Россия, г. Оренбург
radlira@mail.ru

РЕШЕНИЕ ОДНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАНКЕЛЯ

В работе рассмотрена задача о распределении тепла в композиционном материале в процессе производства лонжеронов лопастей. Предложено аналитическое решение задачи теплопроводности с нелинейным источником тепла и краевыми условиями 1-го и 3-го родов с помощью интегрального преобразования Ханкеля.

Ключевые слова: теплопроводность, нелинейный источник тепла, преобразование Ханкеля, лонжерон лопасти.

В настоящее время в качестве основного оборудования для выклейки лонжеронов лопастей методом полимеризации используется пресс-форма [1]. Процесс полимеризации заключается в равномерном прогреве композиционного материала, удерживании температуры на определенном уровне с последующим плавным охлаждением. Температурно-временная зависимость режима полимеризации схематично представлена на рис.1.

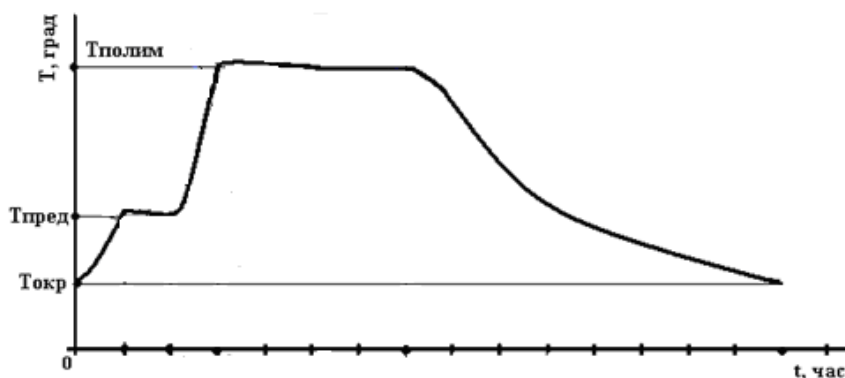


Рис. 1.— Температурно-временная зависимость режима полимеризации.

Возросшие требования к качеству таких изделий выдвигают задачу повышения точности параметров технологического процесса изготовления. Поставим задачу об определении температуры композиционного материала в процессе изготовления лонжеронов лопастей.

Уравнение теплопроводности будет иметь вид:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \Delta^2 T + Q(x, y, z, t, T), \quad (1)$$

где Δ^2 — трехмерный оператор Лапласа, a — коэффициент температуропроводности, t — время, T — искомая температура, Q — нелинейный источник тепла.

Q определяется электронагревом пресс-формы и теплотой фазового перехода, выделяемой в ходе реакции полимеризации. Поэтому предположим, что Q является известной функцией координат и времени, зависящей от температуры следующим образом [2]:

$$Q(x, y, z, t, T) = \varphi(x, y, z, t) + T\psi(t), \quad (2)$$

где $\varphi(x, y, z, t)$ — функция координат и времени, а $\psi(t)$ — функция только времени.

Подставим (2) в уравнение (1) и, произведя преобразования,

$$u = T \exp\left(-\int_0^t \psi(\tau) d\tau\right), \quad \chi = \varphi \exp\left(-\int_0^t \psi(\tau) d\tau\right), \quad (3)$$

найдем, что уравнение (1) примет вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a\Delta^2 u + \chi(x, y, z, t), \quad (4)$$

где u — искомая функция

Начальное распределение температуры задано, т.к. в начальный момент времени мономер имеет температуру окружающей среды, т.е. $T(x, y, z, 0) = T_0(x, y, z)$. Следовательно, начальное значение функции u равно $u(x, y, z, 0) = u_0 = T_0(x, y, z)$, где $T_0(x, y, z)$ — температура окружающей среды.

Перейдем к цилиндрической системе координат. Учитывая, что геометрия лонжерона допускает осевую симметрию модели, распределение температуры не будет зависеть от z и φ . Уравнение теплопроводности будет иметь вид:

$$\frac{\partial u(r, \tau)}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \chi(r, \tau). \quad (5)$$

Решение (5) будем искать в области $R_0 < r < R$, $\tau \geq 0$ при следующих условиях:

$$\tau = 0: \quad u|_{R_0 \leq r \leq R} = u_0; \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} - h(u - u_0) \Big|_{r=R_0} = 0; \quad u(R, \tau) = u_{i0}; \quad \tau \geq 0. \quad (7)$$

В уравнениях (5)-(7) использованы обозначения:

a — коэффициент температуропроводности;

τ — время;

$\chi(r, \tau)$ — источник тепла;

u_0 — начальная температура мономера (температура окружающей среды);

h — коэффициент теплообмена;

$u_{пф}$ — температура пресс-формы;

R_0 — внутренний радиус цилиндра;

R — внешний радиус цилиндра.

Перейдем к безразмерным переменным. Уравнение теплопроводности, начальное и граничные условия примут вид:

$$\frac{\partial \theta(\bar{r}, F_0)}{\partial F_0} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial \theta}{\partial \bar{r}} + \psi(\bar{r}, F_0), \quad (8)$$

$$\theta(\bar{r}, F_0) \Big|_{F_0=0} = u_0 - u_{i0}, \quad d \leq \bar{r} \leq 1, \quad (9)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \bar{r}} \Big|_{\bar{r}=d} = -Bi \{ \theta(d, F_0) + (u_{i0} - u_0) \}, \quad F_0 > 0, \quad (10)$$

$$\theta(\bar{r}, F_0) \Big|_{\bar{r}=1} = 0, \quad F_0 \geq 0, \quad (11)$$

где $\theta = u - u_{i0}$ – температура, ψ – источник тепла, R – характерный размер цилиндра,

$\bar{r} = \frac{r}{R}$, $\frac{R_0}{R} = d$, F_0 – критерий Фурье, Bi – критерий Био.

Применим к задаче (8)-(11) интегральное преобразование Ханкеля [3]:

$$\bar{\theta}(\xi_i, F_0) = \int_d^1 \bar{r} \theta(\bar{r}, F_0) L_0(\xi_i \bar{r}) d\bar{r}, \quad (12)$$

$$\bar{\psi}(\xi_i, F_0) = \int_d^1 \bar{r} \psi(\bar{r}, F_0) L_0(\xi_i \bar{r}) d\bar{r}, \quad (13)$$

$$\theta(\bar{r}, F_0) = \sum_i \frac{2\xi_i^2 \bar{\theta}(\xi_i, F_0)}{1 - d^2 L_0^2(\xi_i d) (\xi_i^2 + Bi^2)} L_0(\xi_i \bar{r}), \quad (14)$$

где

$$L_0(\xi_i \bar{r}) = J_0(\xi_i \bar{r}) G_0(\xi_i) - J_0(\xi_i) G_0(\xi_i \bar{r}), \quad (15)$$

$J_0(z)$, $G_0(z)$ – бесселевы функции первого и третьего родов соответственно и ξ_i – положительные корни трансцендентного уравнения

$$Bi L_0(\xi_i d) = -\xi_i L'_0(\xi_i d). \quad (16)$$

Найдем

$$\begin{aligned} H_0(\Delta\theta) &= \int_d^1 \bar{r} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial \bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial \theta}{\partial \bar{r}} + \psi \right) L_0(\xi_i \bar{r}) d\bar{r} = \\ &= \int_d^1 \bar{r} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \bar{r}^2} L_0(\xi_i \bar{r}) d\bar{r} + \int_d^1 \frac{\partial \theta}{\partial \bar{r}} L_0(\xi_i \bar{r}) d\bar{r} + \int_d^1 \bar{r} \psi L_0(\xi_i \bar{r}) d\bar{r}. \end{aligned}$$

Интегрируя по частям первый интеграл, получим:

$$\begin{aligned} H_0(\Delta\theta) &= \left[\bar{r} \frac{\partial \theta}{\partial \bar{r}} L_0(\xi_i \bar{r}) \right]_d^1 - \int_d^1 \frac{\partial \theta}{\partial \bar{r}} \left(\frac{d}{d\bar{r}} (\bar{r} L_0(\xi_i \bar{r}) - L_0(\xi_i \bar{r}) d\bar{r}) \right) + \bar{\psi} = \\ &= \left[\bar{r} \frac{\partial \theta}{\partial \bar{r}} L_0(\xi_i \bar{r}) \right]_d^1 - \xi_i \int_d^1 \bar{r} \frac{\partial \theta}{\partial \bar{r}} L'_0(\xi_i \bar{r}) + \bar{\psi}. \end{aligned}$$

Продифференцируем интеграл по частям и учтем, что $L''_0(\xi_i x) + \frac{1}{\xi_i x} L'_0(\xi_i x) = -L_0(\xi_i x)$.

Тогда

$$\xi_i \int_d^1 \bar{r} \frac{\partial \theta}{\partial \bar{r}} L'_0(\xi_i \bar{r}) = \left[\xi_i \bar{r} L'_0(\xi_i \bar{r}) \theta(\bar{r}, F_0) \right]_d^1 + \xi_i^2 \bar{\theta}(\xi_i, F_0),$$

где $H_0(\theta(\bar{r}, F_0)) = \bar{\theta}(\xi_i, F_0)$.

Тогда

$$H_0(\Delta\theta) = \left[\bar{r} \frac{\partial \theta}{\partial \bar{r}} L_0(\xi_i \bar{r}) - \xi_i \bar{r} L'_0(\xi_i \bar{r}) \theta(\bar{r}, F_0) \right]_d^1 - \xi_i^2 \bar{\theta}(\xi_i, F_0) + \bar{\psi}. \quad (17)$$

С учетом, что $L_0(\xi_i) = 0$ и (11) при $\bar{r} = 1$ получим:

$$\bar{r} \frac{\partial \theta}{\partial \bar{r}} L_0(\xi_i \bar{r}) - \xi_i \bar{r} L'_0(\xi_i \bar{r}) \theta(\bar{r}, F_0) = 0.$$

При $\bar{r} = d$, учитывая условие (10), получим

$$\bar{r} \frac{\partial \theta}{\partial \bar{r}} L_0(\xi_i \bar{r}) - \xi_i \bar{r} L'_0(\xi_i \bar{r}) \theta(\bar{r}, F_0) \Big|_{\bar{r}=d} =$$

$$= dL_0(\xi_i d) \left[\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial r} \Big|_{r=d} + Bi \bar{\theta}(d, F_0) \right] = -Bi(u_{i0} - u_0) dL_0(\xi_i d)$$

Тогда

$$H_0(\Delta \theta) = -Bi(u_{i0} - u_0) dL_0(\xi_i d) - \xi_i^2 \bar{\theta}(\xi_i, F_0) + \bar{\psi}(\xi_i, F_0).$$

Образ начального условия (9) примет вид:

$$H(\bar{\theta}(r, 0)) = -\bar{1}(u_{i0} - u_0),$$

где $\bar{1}$ — образ единичной функции.

Умножая на $\bar{r}L_0(\xi_i \bar{r})$ обе части уравнения теплопроводности (8) и интегрируя по сечению цилиндра, воспользовавшись $H_0(\Delta \theta)$, получаем уравнение в области изображений Ханкеля. Этому уравнению соответствует начальное условие $H(\bar{\theta}(r, 0))$.

Таким образом, получили задачу

$$\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial F_0} + \xi_i^2 \bar{\theta}(\xi_i, F_0) = -Bi(u_{i0} - u_0) dL_0(\xi_i d) + \bar{\psi}(\xi_i, F_0)$$

$$\bar{\theta}(\xi_i, 0) = -\bar{1}(u_{i0} - u_0).$$

Решение получаем в виде

$$\bar{\theta}(\xi_i, F_0) = -(u_{i0} - u_0) \left[e^{-\xi_i^2 F_0} (\bar{1} + I(\xi_i, F_0) - I(\xi_i, 0)) + \xi_i^{-2} BidL_0(\xi_i d) (1 - e^{-\xi_i^2 F_0}) \right],$$

где $I(\xi_i, F_0) = \int \bar{\psi}(\xi_i, F_0) e^{\xi_i^2 F_0} dF_0$.

Переходя в область изображений по формуле (14), получим:

$$\bar{\theta}(r, F_0) = -2(u_{i0} - u_0) \sum_i \frac{\xi_i^2 e^{-\xi_i^2 F_0} (\bar{1} + I(\xi_i, F_0) - I(\xi_i, 0)) + BidL_0(\xi_i d) [1 - e^{-\xi_i^2 F_0}]}{1 - d^2 L_0^2(\xi_i d) (\xi_i^2 + Bi^2)} L_0(\xi_i \bar{r}).$$

Тогда

$$u(r, \tau) = u_{i0} - 2(u_{i0} - u_0) \sum_i \frac{\xi_i^2 e^{-\xi_i^2 F_0} (\bar{1} + I(\xi_i, F_0) - I(\xi_i, 0)) + BidL_0(\xi_i d) [1 - e^{-\xi_i^2 F_0}]}{1 - d^2 L_0^2(\xi_i d) (\xi_i^2 + Bi^2)} L_0(\xi_i \bar{r}).$$

Температурное поле T композиционного материала будет определяться из формулы (3).

Список литературы:

1. Гайдачук В.Е., Гречка В.Д., Кобрин В.Н., Молодцов Г.А. Технология производства летательных аппаратов из композиционных материалов: Учеб. пособие/ В.Е. Гайдачук, В.Д. Гречка, В.Н. Кобрин, Г.А. Молодцов. — Х.; Харьк. Авиаци. Ин-т, 1989. — С. 312-317
2. Снеддон И. Преобразование Фурье/ И Снеддон; перевод с англ. А.Н. Матвеева; под ред. Ю.Л. Рабиновича. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1955. — С. 225-226
3. Козлов В.Н., Трофимов П.А., Акимов А.И. Обратное преобразование Ханкеля для смешанной краевой задачи на конечном интервале // Научно-технические ведомости СПбГПУ – Журн. — 2011. — №1. — с 71-77

С. Я. Алибеков д.т.н., Н. А. Филина

Марийский государственный технический университет
Россия, г. Йошкар-Ола
nata-filina@yandex.ru

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БРИКЕТОВ

В статье представлены результаты изучения физико-механические свойства топливных брикетов из древесных отходов, пропитанными нефтепродуктами, а также технологическая схема получения брикетов из древесных отходов после их применения в качестве сорбентов

Ключевые слова: древесные отходы, нефтепродукты, теплота сгорания, топливные брикеты.

В настоящее время уделяется значительное внимание утилизации древесины, не нашедшей применение в деревообработке, а также утилизации отходов деревообрабатывающих предприятий. Значительная часть указанного топливного сырья используется лесопромышленниками в первую очередь для выработки тепловой энергии на собственных котельных. Получило развитие производство твердого древесного топлива, основанное на технологии производства пеллет и брикетов. Весьма существенным является выбор связующего или отсутствие такого при получении брикетов.

Предложена технология изготовления брикетов из древесного опила, насыщенного нефтепродуктами. Для эффективного процесса брикетирования опилок нужны связующие элементы, которыми могут явиться масла и нефть, содержащиеся в воде, загрязненной нефтепродуктами. Опил, обладая высокой сорбционной способностью, способствует удержанию нефтепродуктов, что позволяет с меньшими усилиями спрессовывать опил в брикеты. Полученные брикеты по теплоте сгорания и экологичности сгорания превосходят брикеты с другими связующими веществами.

Исследования по определению теплоты сгорания опытных образцов проводились на базе ГУ СЭУ ФПС ИПЛ по РМЭ в г. Йошкар-Оле. На основании ГОСТ 12.1.044-89.[2] сжигали образцы древесных опилок и гранул. Эксперименты проводили на приборе – ОТМ [1]. Регистрация температуры проводилась на потенциометре КСП-2.

Испытания проводили в мешочках из стеклоткани, сшитых металлическими скрепками. Мешочки заполняли как чистыми, так и загрязненными нефтепродуктами березовыми, сосновыми опилками и гранулами с относительной влажностью 12 %. Вес готовых образцов по 50 г каждый. Предварительно подготовленные образцы высушивали для более точного определения теплотворной способности, поскольку теплотворная способность увеличивается с уменьшением уровня влажности. Результаты измерений температуры отходящих газов чистого опила и древесных гранул, а также того же опила, но с нефтепродуктами представлены в табл. 1 и 2. [2]

Таблица 1 - Результаты измерений температуры отходящих газов, образующихся при горении чистых образцов.

Березовый опил		Сосновый опил		Древесные гранулы	
Время τ , с	Температура, t , °C	Время, τ , с	Температура t , °C	Время, τ , с	Температура, t , °C
14	200	30	200	44	200
20	250	53	250	100	250
30	300	65	300	157	300
36	350	75	350	215	350
45	400	90	400	245	400
140	450	130	450	276	450
160	400	185	500	330	500
175	500	215	450	360	450
195	450	265	400	363	400
258	400	328	350	370	350
280	350	332	300	385	300
295	300	342	250	415	250
313	250	365	200	475	200
340	200	-	-	555	150
-	-	-	-	780	100

Таблица 2 - Результаты измерений температуры отходящих газов, образующихся при горении образцов с нефтепродуктами

Березовый опил с нефтепродуктами		Сосновый опил с нефтепродуктами	
Время τ , с	Температура t , °C	Время τ , с	Температура t , °C
4	200	5	200
35	600	37	600
355	500	470	500
454	350	480	350
650	200	575	200

Проведенные испытания показали, что максимальная температура отходящих газообразных продуктов горения березового и соснового опила, древесных гранул составляет $500 \pm 5^\circ\text{C}$, опила, пропитанного нефтепродуктами – $600 \pm 5^\circ\text{C}$. При изменении температуры от 600 до $500 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение нескольких минут наблюдается высокое пламя, которое уменьшается при достижении $350 \pm 5^\circ\text{C}$ и исчезает при $200 \pm 5^\circ\text{C}$. Далее процесс переходит в стадию тления. При сжигании образцов с березовым и сосновым опилом масса образовавшейся золы составляет $0,44\%$ и $0,98\%$ от первоначальной массы образца; опила пропитанного нефтепродуктами - $1,58\%$ и $0,93\%$ соответственно. Процесс горения древесных гранул продолжается дольше в $1,3$ раза, после выключения горелки, чем горение опилок. Это связано с высокой удельной плотностью древесных гранул (1400 кг/м^3), по сравнению с плотностью соснового (500 кг/м^3) и березового (630 кг/м^3) опила.

Теплоту сгорания опила, просушенного в течение суток в эксикаторе, и пропитанного нефтепродуктам определяли по формуле:

$$Q = \frac{m_c \cdot Q_n^p}{100},$$

где Q - теплота сгорания смеси;

m_c - процентное содержание компонентов в смеси;

Q_n^p - низшая теплота сгорания, МДж/кг. $Q_n^p = 41,87$ МДж/кг – для нефтепродуктов, $Q_n^p = 13,8$ МДж/кг - для древесины.

Результаты испытаний теплоты сгорания опила, как чистых образцов, так и пропитанных нефтепродуктами представлены на рис. 1.

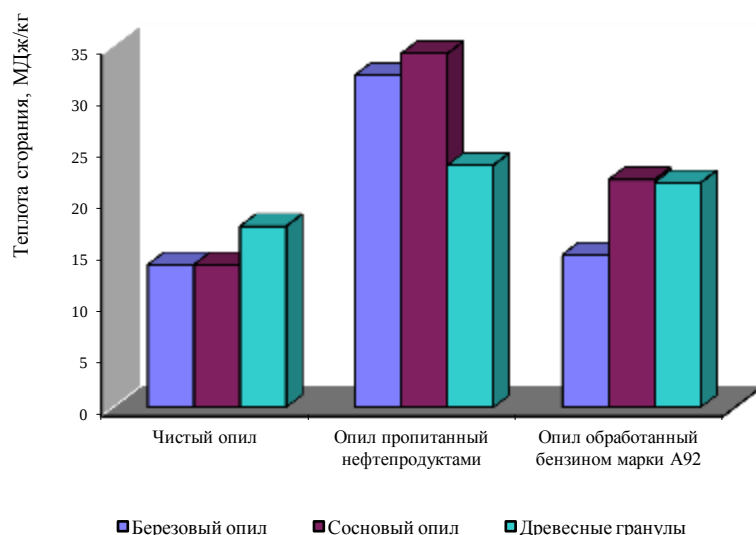


Рис. 1 - Зависимость теплоты сгорания от материала образцов.

Предложенная технологическая схема утилизации опила, насыщенного нефтешламами, позволяет не только утилизировать древесный отход, но и получить топливо с повышенной теплотой сгорания.

Прессование брикетов как из смеси опила лиственных и хвойных пород древесины, как чистого, так и пропитанного нефтепродуктами, проводилось на гидравлическом прессе П-50. Насыпная масса опила, составляла 160-220 кг/м³, насыпная масса брикетов - 460 кг/м³. Был предложен состав брикета масс. %: древесные опилки (с влажностью 10-12) - 75 - 80 и нефтепродукты - 25 - 20. Данное содержание нефтепродуктов не приводит к их выдавливанию при прессовании давлением до 240МПа. При более высоком содержании нефтепродуктов и влаги брикеты плохо хранятся – плесневеют при комнатной температуре в течение 12-13-и дней.

Результаты исследований по изучению физико-механических свойств прессованного чистого и пропитанного нефтепродуктами древесного опила, представлены на рис. 2. Из данных рис. 2 следует, что при малых давлениях прессования плотность меняется линейно, пропорционально завися от давления, при давлении выше 159МПа частицы опила, сближаются настолько, что в брикете возникают напряжения, которые препятствуют дальнейшему увеличению плотности.

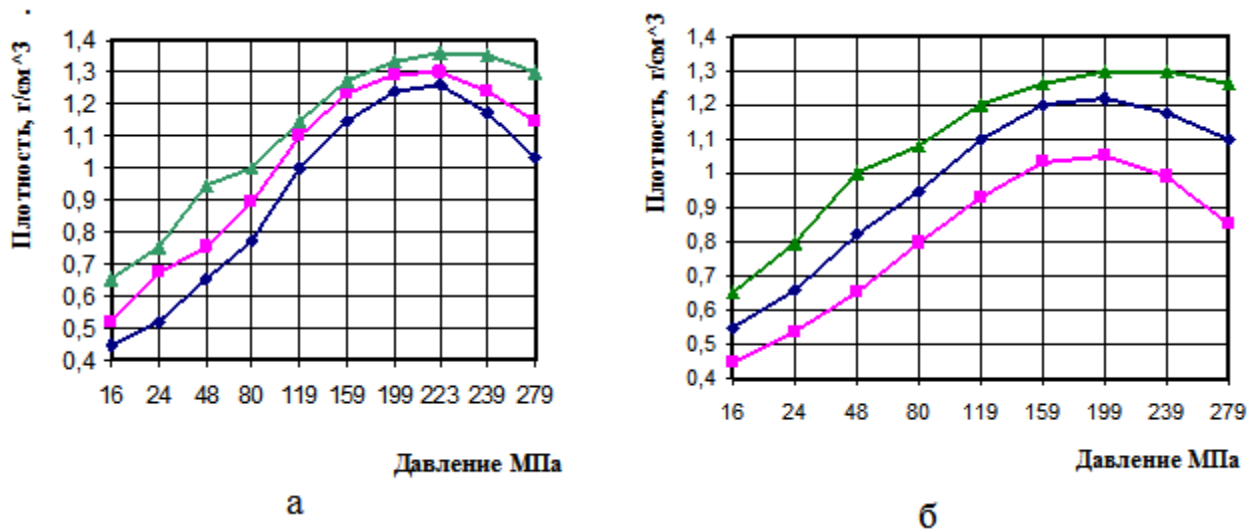


Рис. 2 - Изменение плотности соснового (а) и березового (б) брикета в зависимости от давления прессования

◆ чистый опил ▲ опил пропитанный нефтью
■ опил пропитанный нефтепродуктами

Опил, пропитанный нефтепродуктами, характеризуется большей прочностью. Прессование брикетов из опила одной породы древесины позволяет получить более прочные однородные брикеты. При этом оптимальной фракцией опилок являются 1-3 мм.

Брикеты цилиндрической формы (высота 15мм и площадь круга – 125 мм²) полученные при прессовании при давлении 10т, испытывались на изгиб. Прочность на изгиб брикетов из опила чистого и пропитанного нефтепродуктами составила: для березового опила - 3 кгс и 4,5 кгс, а для соснового -2,6 кгс и 2,8 кгс, соответственно.

Плотность сосновых брикетов, пропитанных нефтепродуктами, выше чем у березовых, в то время как березовые брикеты значительно прочнее на изгиб сосновых.

Таким образом плотность получаемых брикетов составляет 1,2 – 1,3 г/см³. Форма образующихся брикетов определяется пресс-формой, которая позволяет получить брикеты цилиндрической формы, диаметром 40 мм. Высота цилиндров зависит от приложенного давления, и составляла 9 – 15 мм. Удельная рабочая теплота сгорания брикетов составляет 35 -45 МДж/кг.

Список литературы:

- ГОСТ 12.1.044-89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения [Текст]. – Введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 143 с.
- Филина, Н. А. Исследования по определению теплотворной способности древесного опила и гранул, пропитанных нефтепродуктами/ Н. А. Филина, С. Я. Алибеков // Вестник Южно-Уральского государственного университета, Сер. Энергетика. Вып. 13. – 2010. - №14 (190). - С. 24-29.

В. Ф. Беккер к.т.н., М. Г. Гребенева

Пермский государственный технический университет
Березниковский филиал, кафедра автоматизации технологических процессов
Россия, г. Березники
bekker@bf.pstu.ac.ru

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА ПОСТРОЕНИЕМ ДИАГРАММЫ ПАРЕТО

На примере обжига известняка и гашения извести в производстве кальцинированной соды рассматривается задача управления качеством продукции с использованием диаграммы Парето, позволяющей правильно распределить усилия для разрешения возникающих проблем и выявить основные причины. Представлена последовательность поиска управляющих воздействий. Показана эффективность такого управления качеством.

Ключевые слова: обжиг известняка, качество продукции, параметры технологического режима, диаграмма Парето.

Обжиг известняка является одним из основных процессов в производстве кальцинированной соды. Известняк обжигают в шахтных известняковых печах при температуре 1200°C по реакции $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ с получением твердого оксида кальция и газообразного диоксида углерода. Оксид кальция затем разлагают водой в специальных вращающихся аппаратах барабанного типа – гасителях по реакции $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$ с получением гидроксида кальция в виде суспензии, называемой известковым молоком. Качество продуктов обжига определяет эффективность карбонизации аммонизированного рассола диоксидом углерода и дистилляции хлорида аммония известковым молоком, т.е. обеспечивает эффективность всего производства кальцинированной соды. Управление качеством продукции обжига известняка [1] организовано с использованием диаграммы Парето – инструмента, позволяющего правильно распределить усилия для разрешения возникающих проблем и выявить основные причины, с которых нужно начинать управляющие действия [2].

Различают два вида диаграмм Парето [3]:

1. Диаграмма Парето *по результатам деятельности*, которая предназначена для выявления главной проблемы, и отражает нежелательные результаты деятельности, связанные с качеством, себестоимостью, сроками поставок, безопасностью.

2. Диаграмма Парето *по причинам*, которая отражает причины проблем, возникающих в ходе производства, и используется для выявления главной из них: исполнитель работы, оборудование, сырье, метод работы, измерения (точность, верность и повторяемость, стабильность, совместная точность и т.д.).

Построение диаграммы Парето начинают с классификации возникающих проблем по отдельным факторам. Затем следуют сбор и анализ статистического материала по каждому фактору, чтобы выяснить, какие из этих факторов являются преобладающими при решении проблем.

В прямоугольной системе координат по оси абсцисс откладывают равные отрезки, соответствующие рассматриваемым факторам, а по оси ординат – величину их вклада в решаемую проблему. При этом порядок расположения факторов таков, что влияние каждого последующего фактора, расположенного по оси абсцисс, уменьшается по сравнению с

предыдущим фактором (или группой факторов). В результате получается диаграмма, столбики которой соответствуют отдельным факторам, являющимся причинами возникновения проблемы, и высота столбиков уменьшается слева направо. Затем на основе этой диаграммы строят кумулятивную кривую и начинают всесторонне изучать коренную причину недоброкачества (от мелкой причины до конечной). В результате останавливаются на четырех-пяти причинах, требующих первоочередного внимания.

После проведения корректирующих мероприятий диаграмму Парето можно вновь построить для изменившихся в результате коррекции условий и проверить эффективность проведенных улучшений.

По результатам отчетов о нарушениях технологического режима за период с октября 2010 г. по январь 2011 г. построены диаграммы Парето:

Таблица – нарушения технологических показателей в октябре 2010 г.

№ п/п	Наименование показателей с указанием единиц их измерения	Процент нарушений	Процент нарушений по нарастающей	Процент нарушений от общего числа	Накопленный процент
1	Содержание пыли в газе, мг/м ³	51,7	51,7	33,9	33,9
2	Объемная доля О ₂ в газе до очистки, %	22,9	74,6	15,0	49,0
3	Объемная доля О ₂ в газе после очистки, %	21,4	96,0	14,1	63,0
4	Объемная доля СО в газе до очистки, %	14,5	110,5	9,5	72,6
5	Объемная доля СО в газе после очистки, %	8,3	118,8	5,4	78,0
6	Объемная доля СО ₂ в газе до очистки, %	7,3	126,1	4,8	82,8
7	Температура газа до очистки, °С	4,4	130,5	2,9	85,7
8	Температура известковой суспензии в гасителе №1, °С	4,2	134,7	2,8	88,4
9	Объемная доля СО ₂ в газе после очистки, %	3,6	138,3	2,4	90,8
10	Температура воздуха на входе в печь, °С	3,0	141,3	2,0	92,8
11	Температура газа после очистки, °С	2,5	143,8	1,6	94,4
12	Температура газа до очистки, °С	2,2	146,0	1,4	95,9
13	Температура известковой суспензии в гасителе №2, °С	2,2	148,2	1,4	97,3
14	Концентрация известковой суспензии в гасителе №2, н. д.	1,6	149,8	1,1	98,4
15	Вакуумметрическое давление газа до очистки, кПа.	1,1	150,9	0,7	99,1
16	Количество загруженных вагонеток, шт.	0,8	151,7	0,5	99,6
17	Концентрация известкового молока в коллекторе, н. д.	0,3	152,0	0,2	99,8
18	Концентрация известковой суспензии в гасителе №1, н.д.	0,3	152,3	0,2	100,0
	Итого:	152,3			

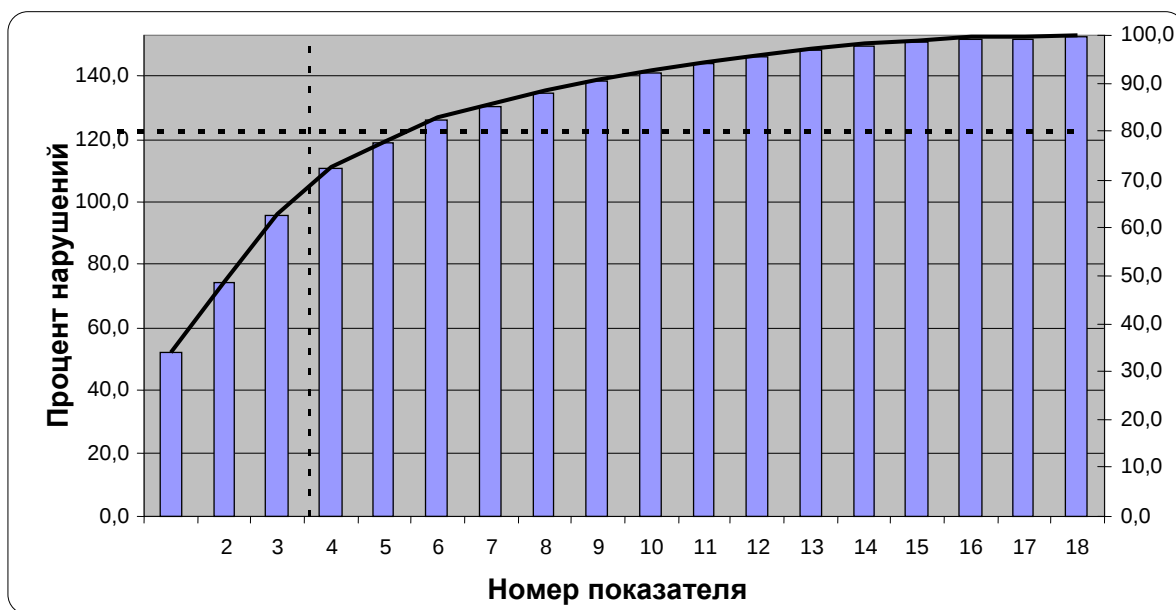


Рис. 1. Диаграмма Парето нарушений в октябре.

После анализа диаграммы Парето нарушений технологического процесса в октябре (см. рис. 1) принято управляющее воздействие на ноябрь – устранить нарушения следующих показателей:

1. Содержание пыли в газе;
2. Объёмная доля O_2 в газе до очистки;
3. Объёмная доля O_2 в газе после очистки.

Аналогичные управляющие воздействия на технологический процесс определены по диаграммам Парето за ноябрь, декабрь и январь, приведенным соответственно на рис. 2, 3, 4. Таблицы нарушений не приводятся.

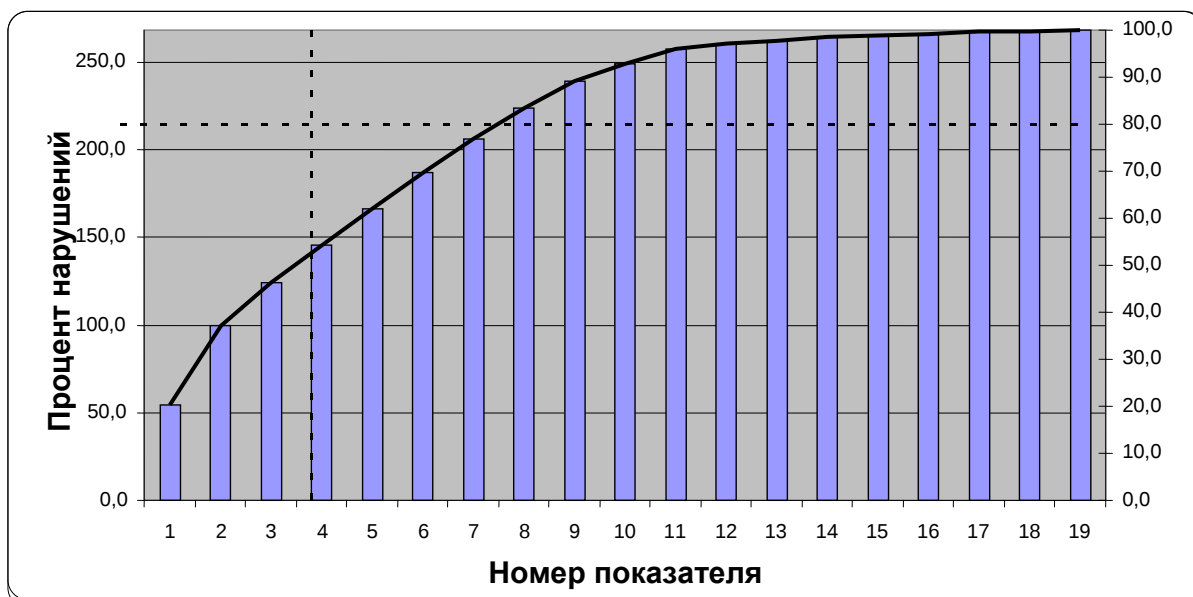


Рис. 2. Диаграмма Парето нарушений в ноябре.

По диаграмме Парето для работы в ноябре (рис. 2) получены управляющие воздействия на процесс в декабре – устранить нарушения показателей:

- 1. Объёмная доля O_2 в газе после очистки;
- 2. Объёмная доля O_2 в газе до очистки;
- 3. Концентрация известковой суспензии в гасителе №2.

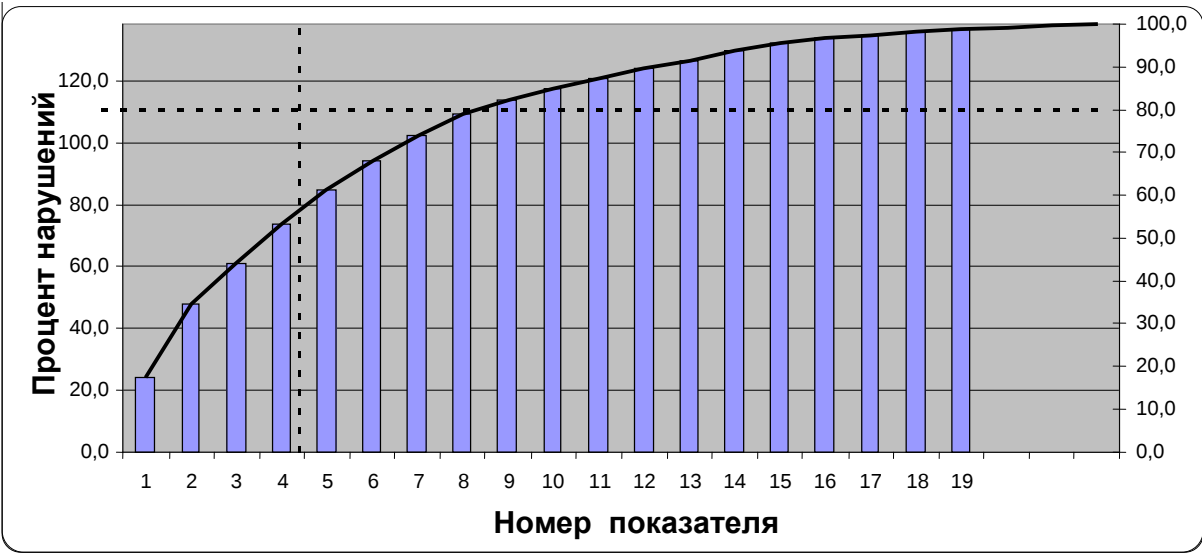


Рис. 3. Диаграмма Парето нарушений в декабре.

Необходимо устранить в январе нарушения показателей:

- 1. Объёмная доля O_2 в газе после очистки;
- 2. Объёмная доля O_2 в газе до очистки;
- 3. Температура газа до очистки;
- 4. Объёмная доля CO_2 в газе до очистки.

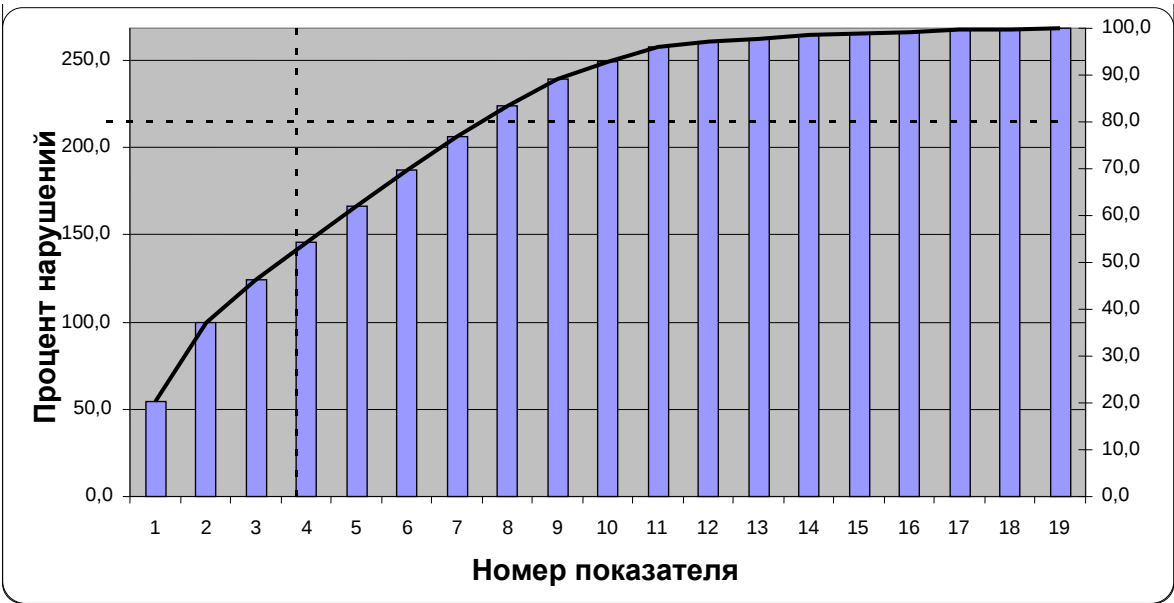


Рис. 4. Диаграмма Парето нарушений в январе.

По диаграмме Парето для работы в январе (рис. 4) получены управляющие воздействия на процесс – устранить нарушения показателей:

1. Объёмная доля O_2 в газе после очистки;
2. Объёмная доля O_2 в газе до очистки;
3. Температура известковой суспензии в гасителе №2.

Общее заключение: Целесообразно сконцентрировать дальнейшие усилия на устранении следующих проблем технологического производства в цехе извести:

1. Объёмная доля O_2 в газе после очистки;
2. Объёмная доля O_2 в газе до очистки.

При анализе диаграммы Парето совместно рассматривалась причинно-следственная диаграмма. В ходе решения отдельной серьёзной проблемы, связанной с низким качеством продукции технологического процесса, старались уяснить сущность явления по каждому конкретному виду нарушений.

После проведения корректирующих мероприятий вновь построена диаграмма Парето для условий функционирования производства, изменившихся в результате выполнения управляющих коррекций, и проверена эффективность проведенных улучшений.

Список литературы:

1. Беккер В.Ф. Управление технологическими процессами как подсистема управления качеством продукции. «Проблемы теории и практики управления». – №10, 2010. – С. 78-84.
2. Беккер В.Ф., Гребенева М.Г. Организационно-технологические компоненты в управлении качеством химической продукции: Сб. трудов XXIII Междунар. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях» – ММТТ-23, Т. 11. – Саратов: СГТУ, 2010. – С.151-154.
3. Эванс Дж. Управление качеством. М.: Юнити-Дана, 2007. – 637 с.

**Е. И. Блаженнов д.т.н., Д. С. Новиков, А. И. Яманин д.т.н.,
И. А. Яманин**

Ярославский государственный технический университет
кафедра двигателей внутреннего сгорания
Россия, г. Ярославль
yamaninai@ystu.ru

НИЗКОЧАСТОТНАЯ ВИБРАЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПЕРЕМЕННОЙ СТЕПЕНЬЮ СЖАТИЯ С КРИВОШИПНО-ШАТУННЫМ МЕХАНИЗМОМ

Показано, что вибрационное состояние двигателей с переменной степенью сжатия с кривошипно-шатунным механизмом, определяемое динамикой последнего, существенно не изменяется при работе с разными значениями степени сжатия.

Ключевые слова: двигатель с переменной степенью сжатия, кривошипно-шатунный механизм, вибрация.

Идея регулирования степени сжатия ε и рабочего объема V_h для обеспечения экономичности и многотопливности двигателей известна достаточно давно. К настоящему времени предложено значительное число способов такого регулирования и реализующих последнее устройств [1].

Показано [2], что регулирование ε оказывает положительное влияние на улучшение экологических показателей дизеля. Так, при снижении ε дизеля Т-01 (разработка ГНЦ ФГУП «НАМИ») с 17 до 10 дымность отработавших газов и выбросы оксидов азота снижались на 45 %. Подтверждена возможность организации рабочего процесса дизеля с изменяемой ε без ухудшения его индикаторных показателей (в ряде предыдущих работ это утверждение отчасти подвергалось сомнению [3, 4]). Однако, вибрационные характеристики таких двигателей до сих пор не рассматривались.

В течение последнего десятилетия многими ведущими моторостроительными фирмами разрабатываются опытные конструкции двигателей с переменной ε , имеющих традиционный кривошипно-шатунный преобразующий механизм (КШМ)¹. Так, на двигателе SAAB-SVC [5-7] экспериментально установлено увеличение экономичности на режимах средних нагрузок на 30 % при $\varepsilon=8 \dots 14$. Работоспособность двигателя FEV-2² ($i=4$; $V_h=1,8$ л; $N_e=218$ кВт; $n=5500$ мин⁻¹; $M_e=300$ Н·м при $n=2300$ мин⁻¹; $p_e=2,1$ МПа; $\varepsilon=8 \dots 16$) уже подтверждена 400-часовыми стендовыми и дорожными испытаниями (установлено снижение эксплуатационного расхода топлива на 25 %) [8] (рис. 1).

Коленчатый вал 1 устанавливается в коренные опоры 2, эксцентрично располагающиеся в корпусе двигателя 3. Эти коренные опоры имеют возможность вращаться относительно корпуса двигателя, за счет чего при положении поршня в верхней мертвой точке изменяется величина надпоршневого зазора, а с ним – степень сжатия. Привод опор осуществляется при помощи разнообразных рычажных систем, зубчатых передач либо

¹ Продолжаются разработки двигателей с отличными от КШМ преобразующими механизмами; многие из них доведены до стадии, непосредственно предшествующей организации серийного производства (например, Go Engine, MCE5, Nissan, ГНЦ НАМИ и др.).

² По сходной схеме выполнен двигатель Caterpillar; известно, что его создание является частью обширной программы создания высокоэффективного транспортного дизеля.

гидроцилиндров. Предусматривается автоматическое управление положением эксцентриковых опор и, следовательно, степенью сжатия. Теоретически и практически показано [9], что регулирование ε позволит существенно улучшить эффективные показатели дизеля; при этом рекомендовано показанное на рис. 2 распределение значений ε^1 .

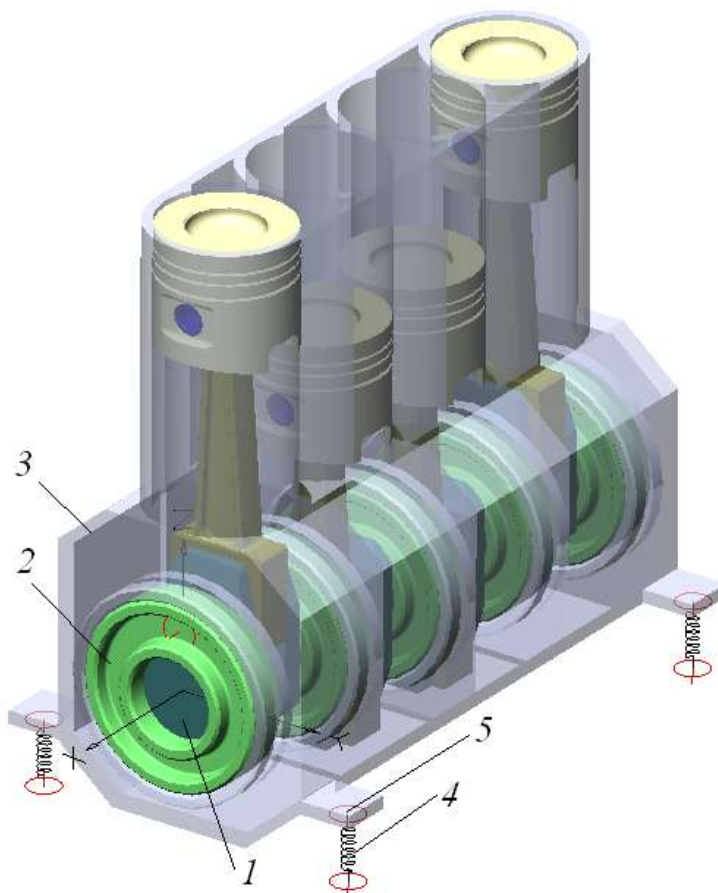


Рис. 1. Твёрдотельная модель 4-цилиндрового двигателя с переменной степенью сжатия.

В [10] отмечено, что внедрение подобных новаций наиболее вероятно в двигателях с традиционным КШМ (при этом поисковые разработки отличных от КШМ преобразующих механизмов также являются перспективными). Однако это внедрение связано с необходимостью решения на ранних стадиях проектирования двигателей с переменной ε многих проблем, среди которых можно назвать оценку быстродействия² и энергоёмкости системы управления ε ; синтез соответствующего исполнительного механизма; разработку алгоритма этого управления (возможно, это более отдалённая задача); синтез механизмов соединения коленчатого вала (изменяющего свое положение относительно корпуса двигателя) с валами коробки передач³; оценка виброактивности.

¹ По материалам доклада «Heavy Duty Low Temperature Combustion Development Activities at Caterpillar» специалистов фирм Caterpillar и Sandia National Laboratories на конференции DOE DEER Conference, Detroit, MI, 12-16 Aug. 2007. – см. Интернет-ресурс http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/deer_2006.

² В двигателе Caterpillar изменение ε от максимального до минимального значений происходит за 0,1 с, а от минимального до максимального — за 0,5 с.

³ Ряд таких принципиальных решений предложен специалистами фирмы FEV, в частности, инж. К. Уарісі. При этом проработаны даже такие детали, как подача масла к коренным подшипникам коленчатого вала, конструктивные исполнения эксцентриковой опоры. Разработана оригинальная конструкция встроенного масляного насоса и пр.



Рис. 2. Алгоритм изменения степени сжатия (рекомендации Caterpillar).

При наибольшей преимственности двигателей FEV и Caterpillar с двигателями традиционной конструкции можно ожидать некоторого ухудшения показателей их виброактивности за счет появления еще одного неуравновешенного фактора – момента сил инерции поступательно движущихся масс (ПДМ) первого и второго порядков ($P_{j1} \cdot e$ или $P_{j2} \cdot e$), а также суммарных движущих сил ($P_{\Sigma} \cdot e$) относительно оси вращения коленчатого вала (рис. 3) при смещении последней на величину e , определяемую поворотом эксцентриковой опоры. Эти моменты могут складываться с опрокидывающим моментом $P_{\Sigma} \cdot (R \cos \alpha + L \cos \beta)$. Расчеты показывают, что для 4-цилиндрового двигателя (радиус кривошипа $R=55$ мм; $n=2600$ мин⁻¹; $\lambda=0,263$; $m_{\text{ПДМ}}=3,8$ кг; эксцентриситет коренной опоры $e=2$ мм) максимальная величина неуравновешенного момента сил инерции ПДМ второго порядка достигает 28 Н·м. При этом величина критерия неуравновешенности по Б.С. Стечкину – В.Я. Климову [11] (в данном случае – амплитуда угловых виброперемещений относительно оси вращения коленчатого вала составит $0,006/I$ градусов (I – момент инерции двигателя относительно оси вращения вала)¹. Этот вопрос требует специальной проверки.

Ниже предлагается метод оценки на ранних стадиях проектирования (и даже при выработке концептуальных решений) виброактивности рассматриваемых двигателей с использованием CAD/CAE-технологии (или VPD-технологии - Virtual Product Development), опирающейся на трехмерное твердотельное моделирование и оптимизацию конструкции в ходе численного эксперимента.

Для оценки виброактивности двигателей в низкочастотной области целесообразно использовать программные продукты для исследования динамики механических систем [13]. В рассматриваемом случае расчету в среде программных продуктов «среднего» уровня для исследования динамики механических систем (например, MSC.visual Nastran Desktop 4D, Cosmos Motion и т.п.). Расчету подвергаются твердотельные сборки двигателей, созданные в среде CAD-систем с учетом реальной геометрии, массовых характеристик и контактного взаимодействия звеньев. В результате получается расчетная виброграмма перемещений, скоростей и ускорений и пр. любой точки конструкции (в нашем случае – опорной точки 4, расположенной на лапе 5 двигателя (см. рис. 1). Эта виброграмма впоследствии подвергается спектральному анализу по методу быстрого преобразования Фурье. Расчеты проводятся в предположении, что двигатель работает на установившемся режиме при постоянном значении ϵ , так и во время переходного процесса, сопровождающего изменение ϵ на ходу

¹ В 4-цилиндровом рядном двигателе помимо указанного момента сил инерции ПДМ относительно оси вращения вала существует и неуравновешенная суммарная сила инерции ПДМ 2-го порядка, вызывающая поступательные виброперемещения двигателя вдоль осей цилиндров. Критерий Б.С. Стечкина – В.Я. Климова позволяет вычислять амплитудные значения этих виброперемещений только по отдельности, что может представлять определенные неудобства при оценке степени неуравновешенности двигателя.

двигателя. Силами, возмущающими вибрацию, являются силы инерции поступательно движущихся и неуравновешенных вращающихся масс, а также оцифрованные индикаторные диаграммы.

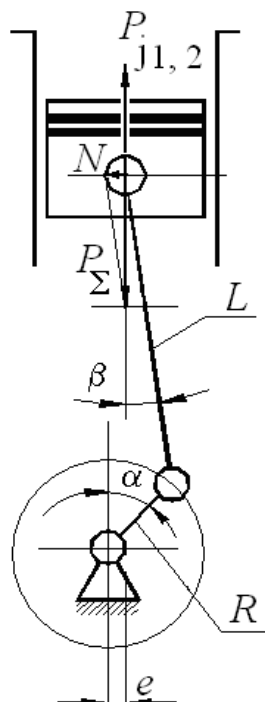


Рис. 3. Возникновение дополнительных источников неуравновешенности в двигателях FEV и Caterpillar с переменной степенью сжатия.

Расчеты показывают¹, что при работе на установившихся режимах во всем диапазоне изменения ε практически не изменяются (как по величине и закону изменения, так и по спектральному составу) виброперемещения и виброускорения точек 5 (см. рис. 1), расположенных на опоре двигателя (рис. 4, 5); таким образом, обеспечение виброзащиты двигателя на разных режимах его работы может осуществляться одними и теми же амортизирующими опорами. Этим двигатели с КШМ выгодно отличаются от двигателей с траверсными преобразующими механизмами [13].

¹ Расчет выполнен для двигателя 4Ч10/11 при $n=2100 \text{ мин}^{-1}$.

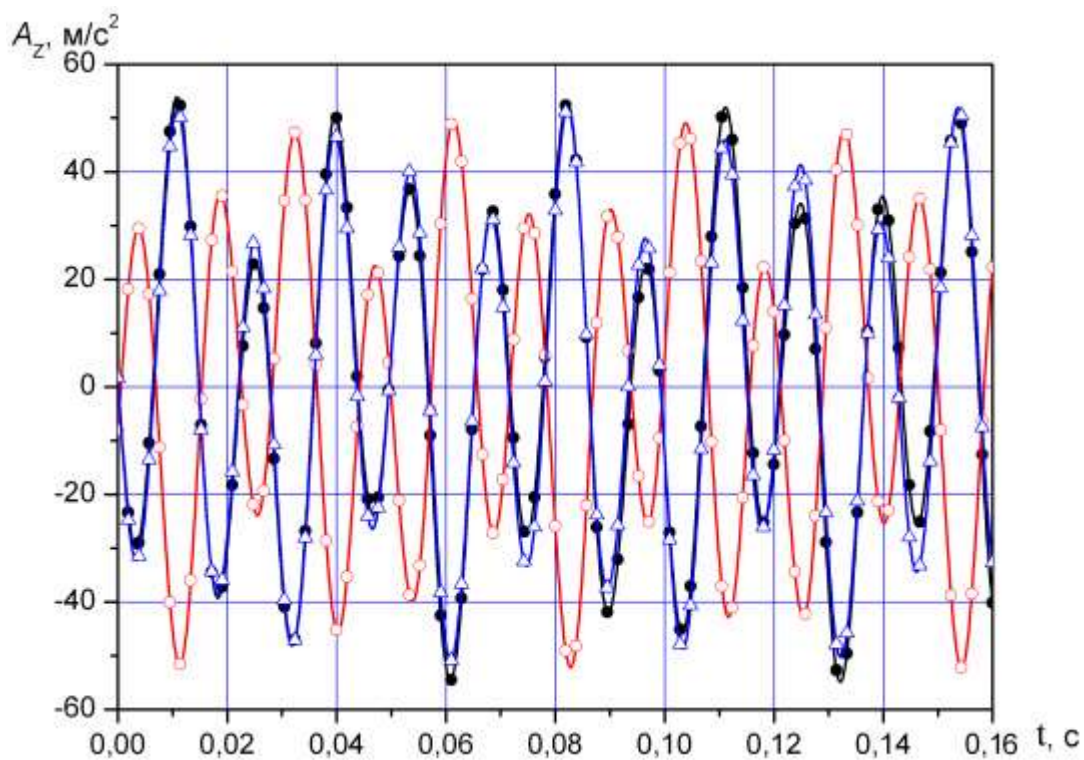


Рис. 4. Виброускорения A_z опорной точки на корпусе двигателя при прокрутке коленчатого вала и различных значениях степени сжатия: —●— $\varepsilon=\min$;
—○— $\min<\varepsilon<\min$; —△— $\varepsilon=\max$

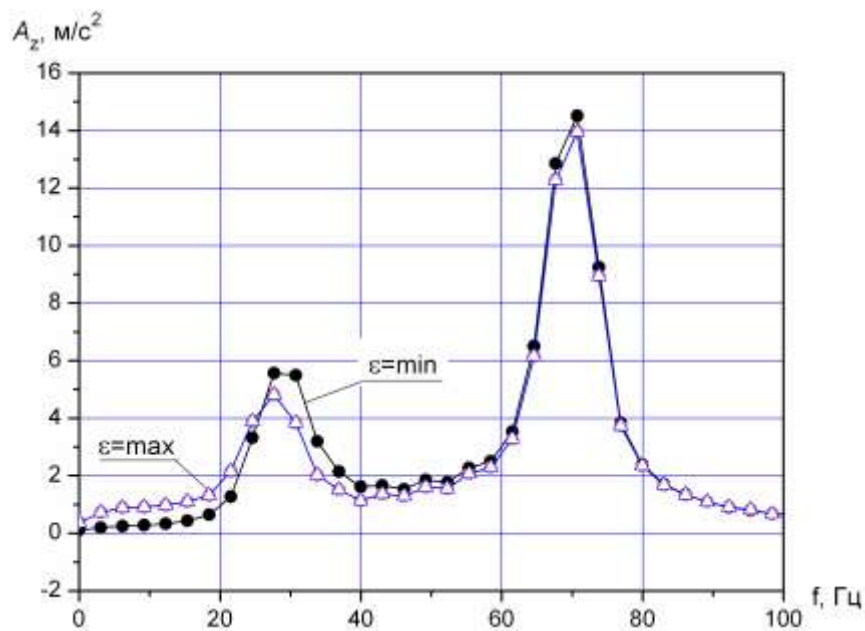


Рис. 5. Спектр виброускорений опорной точки на корпусе двигателя при прокрутке коленчатого вала и различных значениях степени сжатия.

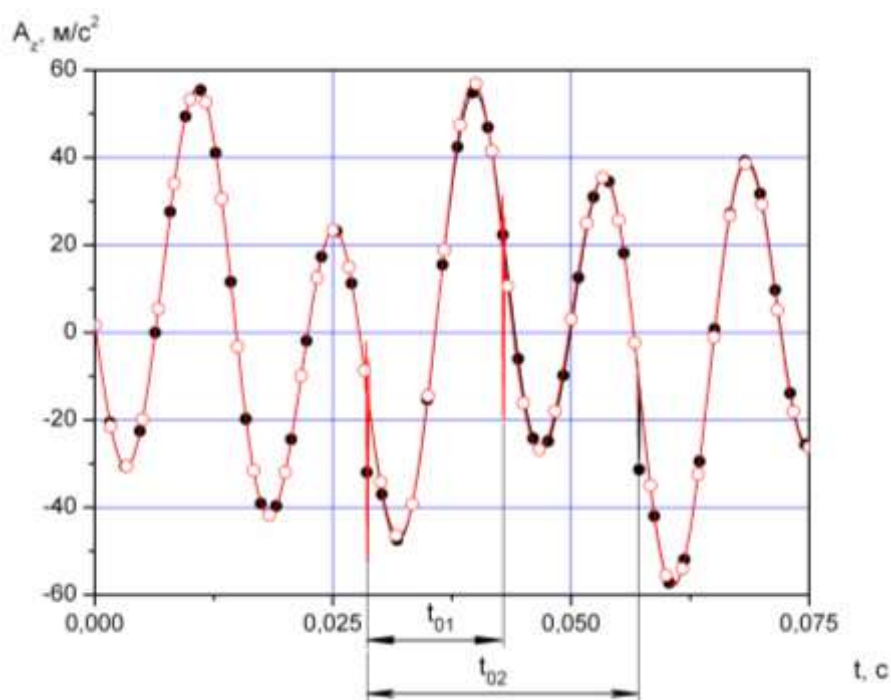


Рис. 6. Изменение виброускорения опорной точки на корпусе двигателя при различной длительности процесса изменения степени сжатия.

Принцип моделирования переходного процесса, сопровождающего изменение степени сжатия двигателя на ходу, описан в [14]. В нашем случае коленчатый вал и эксцентриковая опора приводятся в движение независимыми источниками (так называемыми «моторами»). Упомянутое движение звеньев происходит по различным законам, которые могут задаваться различными способами (в частности, в виде математических уравнений, в табличном виде и пр.). Задавая различные такие законы для «мотора», управляющего движением эксцентрика, можно выявить лучший из них. В частности, установлено, что возмущение, связанное с переменной степени сжатия, в двигателе с КШМ в относительно малой степени изменяет характеристики виброактивности (рис. 6), что выгодно отличает его от прочих преобразующих механизмов [14]. При этом увеличение времени переходного процесса вдвое ($t_{01} = 0,5 \cdot t_{02}$) практически не влияет на изменение характеристик виброактивности: на рис. 7 показано изменение виброускорения опорной точки на корпусе двигателя при повороте эксцентриковой опоры на 180° , соответствующем изменению степени сжатия от максимального до минимального значений. В обоих случаях переходный процесс начинался после двух оборотов коленчатого вала и длился в течение последующих одного или двух оборотов (время переходных процессов соответственно t_{01} и t_{02}).

Таким образом, вибрационное состояние двигателя с КШМ, обусловленное его динамикой, существенно не ухудшается при реализации в нем переменной степени сжатия.

Список литературы:

1. Кутенев В.Ф., Яманин А.И., Зленко М.А. Аксиально-поршневые двигатели с переменными степенью сжатия и рабочим объемом. – М.: Изд-во ГНЦ НАМИ, 2000. – 302 с.
2. Тер-Мкртчян Г.Г. Научные основы создания двигателей с управляемой степенью сжатия. - Дис. ... докт. техн. наук. – М., 2004. – 335 с.
3. Зленко М.А. Оценка возможностей улучшения топливной экономичности дизеля за счет регулирования хода поршней//Проблемы конструкции двигателей и экология: Сб. научн. тр. /НАМИ. - 1998. - С. 42-51.
4. Звонов В.А., Заиграев Л.С., Азарова Ю.В. Оценка изменения эффективного КПД дизеля с переменным рабочим объемом при работе по нагрузочной характеристике // Проблемы конструкции двигателей и экология: Сб. научн. тр. /НАМИ. - 1998. - С. 162-170.
5. Пат. 5443043 США, МКИ F02B 75/04. Internal combustion engine with variable compression, provided with reinforcements of the crankcase section/Nilsson P.-I., Bergsten L.
6. Hack G. Verdichtung und Wahrheit//Auto, Motoren und Sport. – 2000. - № 15. – S. 56.
7. Variable compression //Auto, Motoren und Sport. – 2000. - № 6. – S. 12.
8. Пат. 6276314 США, МКИ F02B 75/32. Drive for positioning a setting device.
9. Междунар. пат.2005026514A1, МКИ F02B 75/04, F01L 1/02. Gear system for an internal combustion engine.
10. Umsetzug innovativer Konzepte in die Serie / Hoube M., Bick W., Thied R., Stöck H.P., Willek K. //MTZ. – 2007. – 68. - №10. – S. 784-793.
11. Яманин А.И., Жаров А.В. Динамика поршневых двигателей. – М.: Машиностроение, 2003. – 463 с.
12. Яманин А.И. Исследование динамики механизмов в среде программного продукта Cosmos Motion // Справочник. Инженерный журнал. – 2006. - № 8. – С. 57-61; - № 10. – С. 57-60; - № 11. – С. 56-61.
13. Яманин А.И., Яманин И.А. Преобразующие механизмы двигателей с переменными степенью сжатия и рабочим объемом// Справочник. Инженерный журнал. – 2007. – Приложение №7. – 24 с.
14. Яманин А.И., Яманин И.А., Жаров А.В. Моделирование переходного процесса перемены степени сжатия в поршневом двигателе // Образование и наука в региональном развитии: Материалы научно-практ. конф. – Ч. 1. – Рыбинск: РГАТА, 2008. -С. 43-49.

Е. И. Блаженнов д.т.н., Д. С. Новиков, А. И. Яманин д.т.н.

Ярославский государственный технический университет
кафедра двигателей внутреннего сгорания
Россия, г. Ярославль
NovikovDS81@gmail.com

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РАСЧЕТОВ ПРОЧНОСТИ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье представлены результаты расчетных исследований вибропрочности коленчатого вала при работе двигателя на разных режимах внешней скоростной характеристики. Выявленные расчетным путем зоны поломок коленчатого вала соответствуют местам поломки их в эксплуатации.

Ключевые слова: вибропрочность, коленчатый вал, внешняя скоростная характеристика, метод конечных элементов.

Проектирование современных, мощных, экономичных двигателей, удовлетворяющих требованиям экологических нормативов, без применения CAD/CAE/CAM технологий практически невозможно. К расчетным исследованиям предъявляются два основных требования: достоверности и оперативности. Последнее для двигателей транспортных средств связано с постоянным ужесточением норм по выбросам вредных веществ с отработавшими газами, так как данная проблема решается за счет повышения уровня форсировки двигателя, что приводит к росту тепловой и механической нагруженности, виброактивности и т.д.

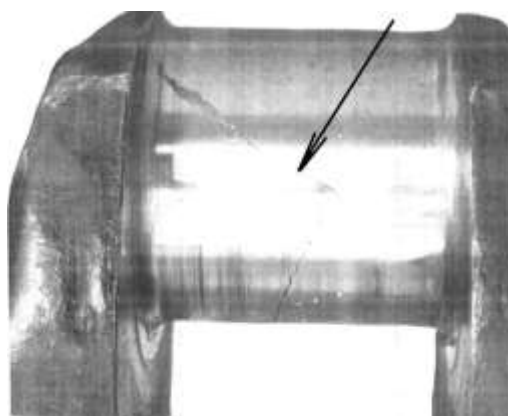
Корректность результатов расчетных исследований определяется совершенством расчетной модели, которое определяется точностью воссоздания геометрии рассчитываемой детали и накладываемыми при этом граничными условиями, зависящими от режима работы.

При определении теплового и напряженно-деформированного состояния выбирается один или несколько режимов, на которых будут проводиться расчеты. Обычно этот режим характеризуется наиболее высоким уровнем нагружения детали. Для двигателей транспортного назначения в основном рассматривается два характерных режима – режим максимального крутящего момента и номинальной мощности [2], но, как показывают исследования эксплуатационных режимов, на указанных режимах двигатели работают незначительное время [3]. В работе [1] показано, что для силового агрегата с двигателем 8 ЧН 13/14 максимальные значения среднеквадратичных значения виброускорений не для всех деталей соответствует указанным характерным режимам.

Рассмотрим изменение прочностных свойств двигателя 8 ЧН 13/14 в процессе работы на различных режимах внешней скоростной характеристики на примере коленчатого вала. В качестве расчетной модели используется модель, подробно описанная в [1].



а)



б)

Рис.1 Поломка коленчатого вала в процессе эксплуатации транспортного средства: а) обрыв щеки; б) трещина на шатунной шейке.

Одной из поломок коленчатого вала дизеля 8 ЧН 13/14 является обрыв щеки (рис.1). Так, определение напряженно-деформированного состояния при работе двигателя на режиме максимального крутящего момента ($n=1600 \text{ мин}^{-1}$) и номинальной мощности ($n=1900 \text{ мин}^{-1}$) позволяет выявить места концентраций максимальных напряжений. Для режима максимального крутящего момента наибольшие значения напряжений находятся на щеке кривошипа коленчатого вала в месте поломки коленчатого вала в эксплуатации (рис. 1,а, рис. 2) в точке А.

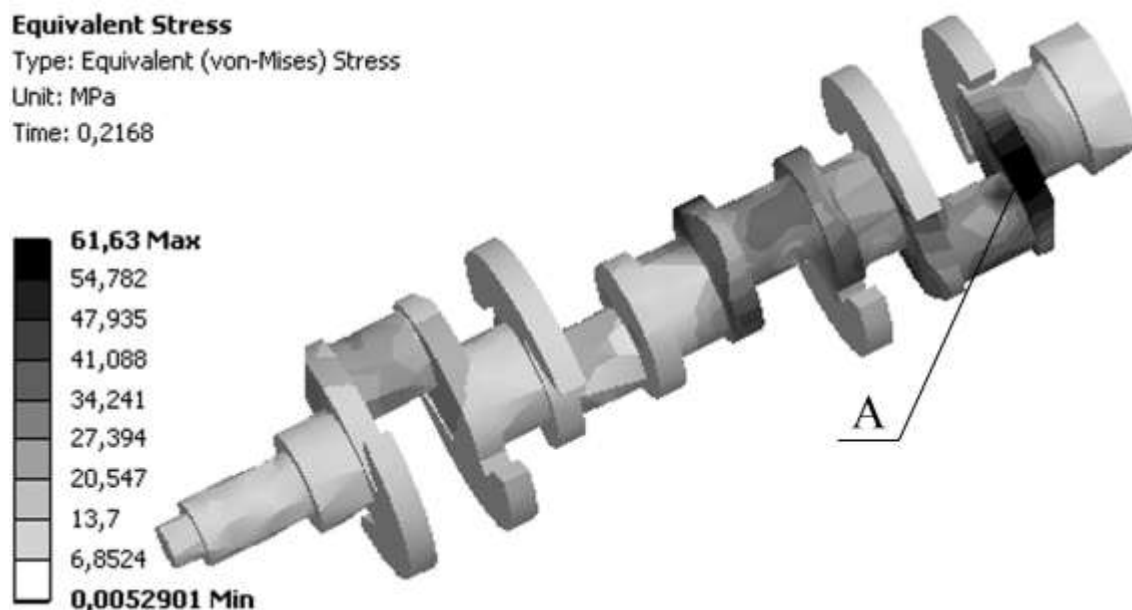


Рис. 2 Расчетные эквивалентные напряжения по фон Мизесу при работе двигателя на режиме $n=1600 \text{ мин}^{-1}$ после 4-х циклов нагружения.

На режиме номинальной мощности наибольшие значения эквивалентных напряжений также соответствуют дефектам коленчатых валов, а именно трещина шатунной шейки (рис. 1,б, рис. 3) в точке В.

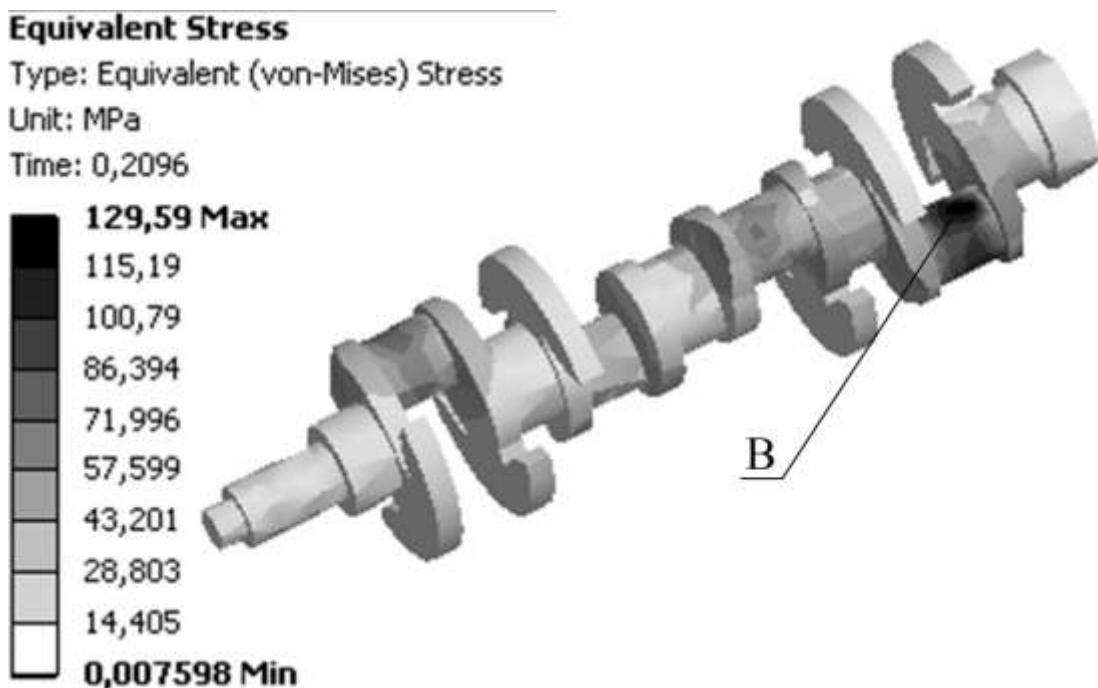


Рис. 3 Расчетные эквивалентные напряжения по фон Мизесу при работе двигателя на режиме $n=1900 \text{ мин}^{-1}$ после 4-х циклов нагружения.

Анализ результатов расчетов показал (таблица), что в точках А и В максимальные значения эквивалентных напряжений наблюдается не только на принятых расчетных режимах $n=1600 \text{ мин}^{-1}$ $n=1900 \text{ мин}^{-1}$, но и на других режимах. Максимальные эквивалентные напряжения наблюдается на режиме номинальной мощности.

Таблица. Изменение эквивалентных напряжений в точках А и В при работе двигателя на различных режимах по внешней скоростной характеристике, МПа

$n, \text{ мин}^{-1}$	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
Точка А	95	66	73	90	120	115	123	189
Точка В	34	30	46	28	53	42	53	104

Зафиксированные значения напряжений – существенно меньше пределов текучести и прочности материала - не могут приводить к поломке детали. Невозможность объяснить эти поломки возникает вследствие того, что расчет проводится, как правило, в статической (квазистатической) постановке, где не учитывается динамический характер приложения нагрузки. В [5] показано, что наиболее информативным и достоверным с этой точки зрения является расчет в условиях сборки с учетом контактного взаимодействия и быстропеременного характера нагружения. Такой расчет может выполняться в среде специализированных программных продуктов, реализующих явное решение МКЭ, и для анализа вибрации они уже освоены. Результаты такого расчета приведены на рис. 4. Именно такие результаты следует учитывать при исследованиях прочности деталей на ранних стадиях проектирования двигателей.

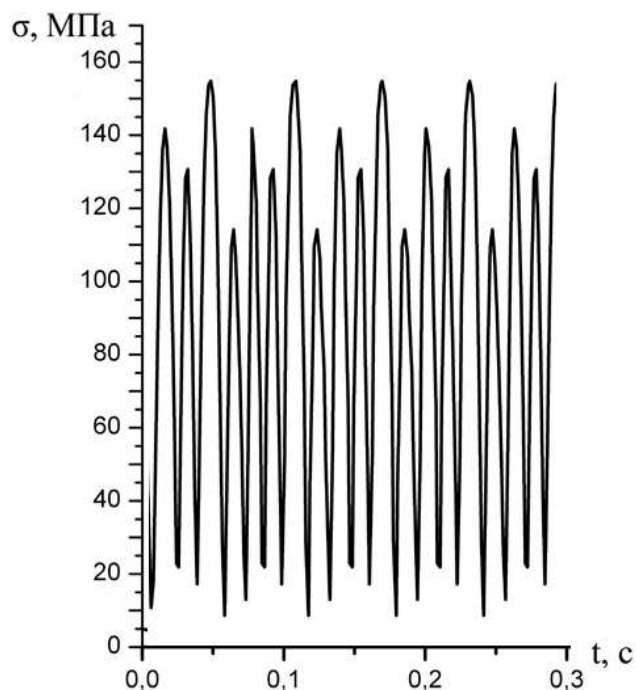


Рис. 4. Изменение эквивалентного напряжения в галтели коленчатого вала.

Список литературы:

1. Новиков, Д.С. Изменение параметров вибрации силового агрегата на различных режимах его работы [Текст] / Д.С. Новиков // Грузовик. – 2011. - №4. – С. 6-9.
2. Чайнов, Н.Д. Конструирование двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Н.Д. Чайнов и др.; под. ред. Н.Д. Чайнова. - М.: Машиностроение, 2008. - 496 с.
3. Чернышев, Г.Д. Исследование эксплуатационных режимов работы двигателей ЯМЗ [Текст] / Г.Д. Чернышев, Е.П. Слабов, А.Г. Терещук // Автомобильная промышленность. – 1979. - № 10.- С. 5-7.
4. Яманин, А.И. Расчет напряженно-деформированного состояния шатунов транспортных поршневых двигателей [Текст] / А.И. Яманин М.Д. Бойков, И.А. Яманин // Турбины и дизели. - 2009. - № 3. – С. 40-46.

Т. В. Бурнышева к.т.н., В. О. Каледин д.т.н.

Новокузнецкий филиал-институт «Кемеровский государственный университет»
факультет информационных технологий
кафедра математики и математического моделирования
Россия, г. Новокузнецк
tburn@mail.ru, vkaled@nkfi.ru

СРАВНЕНИЕ ДИСКРЕТНОГО И КОНТИНУАЛЬНОГО ПОДХОДА К РАСЧЕТУ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Приводится анализ численных решений задачи о напряженно-деформированном состоянии сетчатой оболочечной конструкции при статическом нагружении при разных подходах к её решению. Показано, что решение, полученное при дискретном моделировании ребер, сходится к решению по континуальной модели только в случае оболочек без вырезов.

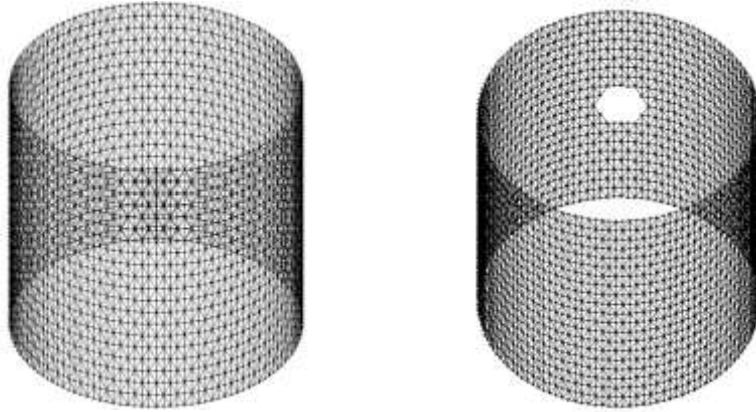
Ключевые слова: сетчатые оболочечные конструкции, композиционные материалы, напряженно-деформированное состояние, дискретное моделирование, численное решение.

Во многих областях техники используются сетчатые оболочки из композиционных материалов, служащие в качестве резервуаров, корпусов летательных аппаратов и кораблей и т.д. Такие конструкции, как известно, имеют большую несущую способность при осевом сжатии, а критические нагрузки потери устойчивости не чувствительны к начальным несовершенствам формы [3, 4, 11].

Вместе с тем, недостаточно исследованными остается концентрация напряжений в сетчатых конструкциях с вырезами. В частности, остается открытым вопрос о пределах применимости континуальной модели, связанный с тем, что размеры вырезов соизмеримы с размерами структурной ячейки, образованной ребрами.

В связи с этим, в настоящей работе сопоставляются два подхода к задаче расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) сетчатых оболочек при статическом нагружении, основанные на полном дискретном моделировании системы ребер и на осреднении напряжений в рамках континуальной модели конструктивно-ортотропной оболочки.

Исследуется класс сетчатых конструкций, состоящих из композитной обшивки и регулярной системы кольцевых и спиральных ребер. Оболочка может содержать некомпенсированные или усиленные окантовками вырезы технологического или конструктивного назначения (рисунок 1). Существующая технология намотки многослойной композитной обшивки поверх сетчатой структуры [4] позволяет создать в целом монолитную жесткую конструкцию. Вдоль образующей оболочка нагружена сжимающей погонной силой, распределенной равномерно по торцу. Противоположный торец закреплен. На обоих торцах запрещен поворот нормали относительно касательной к круговому сечению.



а) б)
Рис. 1– Модели цилиндрических оболочечных конструкций:
а) без вырезов; б) с некомпенсированным вырезом.

При построении континуальной модели сетчатую оболочку можно представить как многослойную конструкцию: регулярную систему часто расположенных ребер можно заменить условным сплошным слоем, обладающим некоторыми осредненными жесткостными характеристиками. Воспользуемся методикой осреднения деформаций в ребрах оболочки, предложенной В.В. Васильевым для сетчатых структур [1]. Введем ортогональную систему координат с осями α и β , направленными по образующей и по окружности оболочки соответственно, и осью γ , направленной по нормали. Спиральные ребра образуют два семейства, составляющие углы $\pm\varphi_j$ с осью α и характеризующиеся геометрическими параметрами: δ_j - толщиной ребра, a_j - расстоянием между спиральными ребрами. Нормальные и касательные напряжения в ребрах сетчатой структуры приводятся к условным напряжениям посредством формул:

$$\sigma_\alpha^* = \sum_{j=1}^n \frac{1}{a_j} \sigma_j \delta_j \cos^2 \varphi_j, \quad \sigma_\beta^* = \sum_{j=1}^n \frac{1}{a_j} \sigma_j \delta_j \sin^2 \varphi_j, \quad \tau_{\alpha\beta}^* = \sum_{j=1}^n \frac{1}{a_j} \sigma_j \delta_j \sin \varphi_j \cos \varphi_j, \quad (1)$$

где n - число семейств ребер (в нашем случае три). Тогда условные напряжения выражаются через деформации формулами [1]:

$$\sigma_\alpha^* = A_{11}e_\alpha + A_{12}e_\beta, \quad \sigma_\beta^* = A_{12}e_\alpha + A_{22}e_\beta, \quad \tau_{\alpha\beta}^* = A_{33}e_{\alpha\beta}, \quad \tau_{\alpha\gamma}^* = G_{\alpha\gamma}e_{\alpha\gamma}, \quad \tau_{\beta\gamma}^* = G_{\beta\gamma}e_{\beta\gamma}, \quad (2)$$

где A_{11} , A_{12} , A_{33} , $G_{\alpha\gamma}$, $G_{\beta\gamma}$ - эффективные упругие постоянные однородной сетчатой структуры, e_α , e_β , $e_{\alpha\beta}$, $e_{\alpha\gamma}$, $e_{\beta\gamma}$ - деформации условной однородной оболочки. Осредненные модули упругости вычисляются через модули упругости ребер по формулам [1]:

$$A_{11} = \sum_j \frac{1}{a_j} E_j \delta_j \cos^4 \varphi_j, \quad A_{22} = \sum_j \frac{1}{a_j} E_j \delta_j \sin^4 \varphi_j, \quad G_{\alpha\gamma} = \sum_j \frac{1}{a_j} G_j \delta_j \cos^2 \varphi_j, \quad (3)$$

$$A_{12} = A_{21} = A_{33} = \sum_j \frac{1}{a_j} E_j \delta_j \sin^2 \varphi_j \cos^2 \varphi_j, \quad G_{\beta\gamma} = \sum_j \frac{1}{a_j} G_j \delta_j \sin^2 \varphi_j.$$

Дальнейшее решение состоит в определении напряженно-деформированного состояния двухслойной оболочки, один из слоев которой имеет модули упругости обшивки, а второй – осредненные модули (3). После определения деформаций, по формулам (1) рассчитываются напряжения в ребрах.

Однако наличие вырезов, размеры которых соизмеримы с расстоянием между ребрами, нарушает одну из предпосылок применения континуальной модели: в окрестность выреза попадает малое число ребер, что заставляет предположить существенность изгибных эффектов в ребрах. Учет таких эффектов требует моделирования всей дискретной структуры. Данный подход применяется при расчетах частных вариантов сетчатых оболочек с вырезами [2, 3, 4, 6, 7, 10].

Проведем сравнительный анализ решений задачи расчета напряженно-деформированного состояния сетчатой оболочечной конструкции при дискретном моделировании и при осреднении деформаций по слоям. В обоих случаях решение находилось методом конечных элементов. В качестве элементов оболочки применялся треугольный элемент Зенкевича [5], а ребра моделировались элементами балки Тимошенко [8].

Рассмотрим сетчатую цилиндрическую оболочечную конструкцию без вырезов и усиления с приложенной к верхней кромке сжимающей силой N . Радиус оболочки составлял R , высота по образующей $H=1,95R$. Материал спиральных и кольцевых ребер имеет физико-механические характеристики: $E_1=E_2=3000$ МПа, $G_{12}=500$ МПа, $\mu=0,2$; для материала обшивки $E_1=408$ МПа, $E_2=6329$ МПа, $G_{12}=367$ МПа, $\mu_1=0,72$, $\mu_2=0,046$. Расчеты напряжений в элементах сетчатой структуры проводились при последовательном уменьшении в два раза расстояния между ребрами с сохранением геометрического подобия ячейки и постоянстве суммарной площади поперечного сечения ребер, что в пределе дает «размазывание» ребер в сплошной слой. Расчетная модель содержала от 32 до 512 пар спиральных ребер и от 5 до 80 кольцевых.

Расчеты проводились для оболочек без вырезов и для оболочек с шестиугольным отверстием, расположенным на середине высоты. Размеры выреза оставались постоянными (рисунок 1-б).

На рисунке 2 представлены напряжения σ_s спиральных ребер рассматриваемой конструкции.

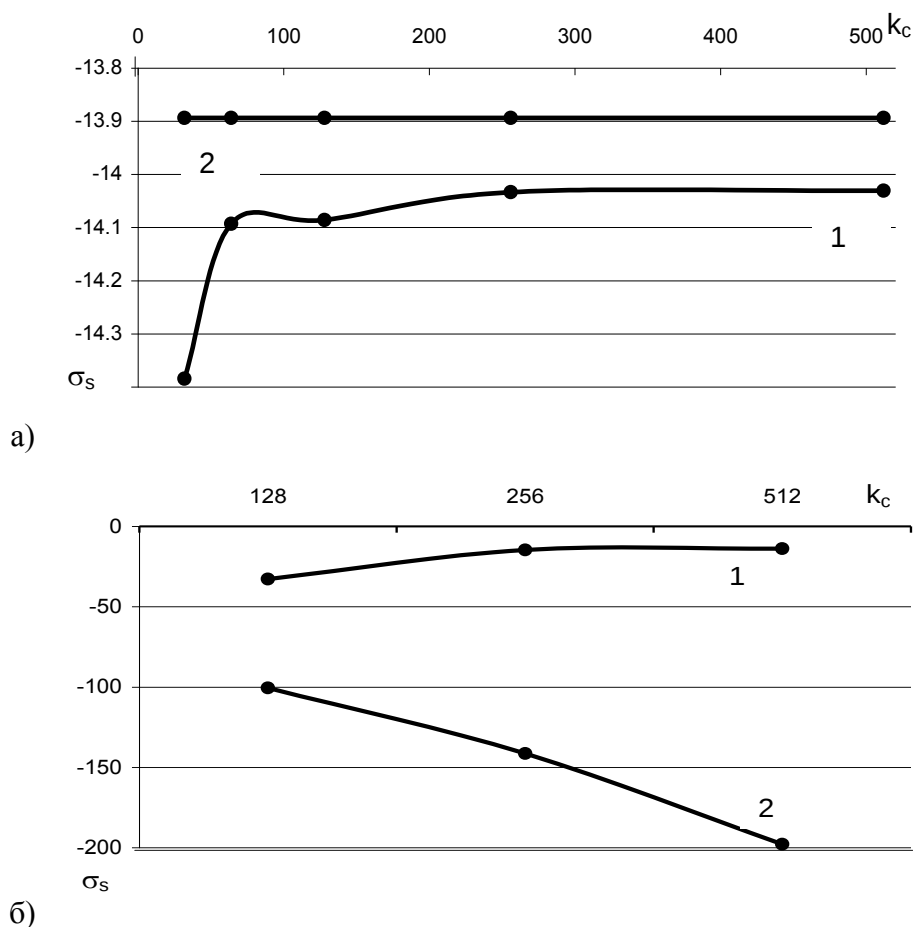


Рис. 2 – Напряжения σ_s спиральных ребер сетчатой структуры конструкции: а) без вырезов; б) с некомпенсированным вырезом, 1 – при дискретном моделировании, 2 – при континуальном подходе.

Как видно из рисунка 2–а, для конструкции без вырезов дискретная модель дает тем меньшие (по абсолютной величине) напряжения в спиральных ребрах, чем больше число ребер, в то время как континуальная модель дает постоянные напряжения, не зависящие от числа ребер. При этом различие между результатами расчетов уменьшается с увеличением числа ребер и не превышает 1,5% уже при 64 парах спиральных ребер. Это показывает высокую степень совпадения решений при расчете оболочек без вырезов.

При наличии выреза картина становится качественно иной. Численное решение по континуальной модели дает высокие значения напряжений, которые растут при удвоении сетки (кривая 1 на рисунке 2–б); установление решения отсутствует, что может быть при наличии сингулярности. Напротив, дискретное моделирование ребер дает существенно меньшие напряжения в ребрах, причем их величина быстро устанавливается. Разность между значениям напряжений σ_z в спиральных ребрах вблизи выреза увеличивается со сгущением ребер (рисунок 2–б); так, с увеличением спиральных ребер в 4 раза разность между решениями возросла в 2,7 раза. Таким образом, исследованные модели дают существенно разные результаты.

Проведенное исследование показало, что континуальная модель в случае оболочек с вырезами малых размеров не учитывает моментных эффектов в ребрах, что приводит к завышению рассчитанных напряжений.

Список литературы:

1. *Васильев В.В.* Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
2. *Васильев В.В., Никитин М.В., Разин А.Ф.* Исследование влияния формы ячейки на напряженное состояние композитной сетчатой конструкции при локальном нагружении // Вопросы оборонной техники. – 2005. – N 1/2. – С. 78-81.
3. *Васильев В.В., Склезнев А.А.* Продольные и изгибные колебания сетчатого композитного переходного отсека космического аппарата // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2009. – Т.15, N 2. – С. 242-255.
4. *Васильев В.В., Разин А.Ф.* Композитные сетчатые балочные элементы для авиационных конструкций // Вопросы оборонной техники. – 2006. – N 1/2. – С. 3-6.
5. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 544 с.
6. *Миткевич А. Б., Пономарев В.П., Никитин О. Д.* Разработка и экспериментальная проверка критериев моделирования напряженно-деформированного состояния эластичных резервуаров подушечного типа для хранения горючего // Вопросы оборонной техники. – 2006. – N 3/4. – С. 16-22.
7. *Пискунов В.Г. и др.* Расчет неоднородных пологих оболочек и пластин методом конечных элементов – Киев: Виша школа, 1987. – 200 с.
8. *Работнов Ю.В.* Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1988. – 712 с.
9. *Суханов А.В., Попов В.Г., Каледин Вл.О.* Применение стеклопластиков в силовых конструкциях крепи тоннелей, сооружаемых методом продавливания // Вопросы оборонной техники. – 2003. – N 3/4. – С. 18-30.
10. *Шухов В.Г.* Строительная механика. Избранные труды. – М.: Наука, 1977. – 193 с.

А. В. Бушманова

Санкт-Петербургский государственный университет
информационных технологий, механики и оптики
Россия, г. Санкт-Петербург
alena2003@bk.ru

ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ В СУБД ORACLE

В статье рассматриваются уязвимости безопасности баз данных Oracle 9i, 10g. Предлагаются предложения для повышения конфиденциальности и целостности баз данных. Статья представляет интерес для всех, кто работает с базами данных.

Ключевые слова: безопасность баз данных, уязвимости Oracle 9i и 10 g, целостность, конфиденциальность данных.

На сегодняшний день все больше технологий используют в своей основе различные базы данных и компании сталкиваются с проблемой защиты информации, хранящейся в них. В данной статье проанализированы наиболее критичные уязвимые места на примере систем, построенных на базе данных Oracle.

База данных Oracle - одна из распространенных в корпоративной среде систем, поэтому она и была выбрана в качестве примера, а точнее, версии Oracle Database 9i и 10g.

Уязвимости сетевого взаимодействия

Удаленный доступ к базе данных предоставляет сервис Oracle TNS Listener (по умолчанию порт 1521). Листенер принимает клиентские запросы на соединение и направляет их для обработки в соответствующий серверный процесс. Обычно Листенер рассматривается как первый этап на пути вторжения в базы данных. Плохо сконфигурированный незащищенный Листенер подвержен различным атакам, включая удаленное выполнение команд и отказ в обслуживании. В версии Oracle ниже 10g по умолчанию возможно осуществление анонимного подключения и, как следствие, удаленное управление сервисом.

В дефолтной конфигурации злоумышленник может:

- получить детальную информацию об атакуемой системе(SID, версия СУБД, путь к log-файлам, операционная система, на которой установлена СУБД)

- произвести DoS-атаку;

- выполнять SQL-команды от имени DBA;

- получить удаленный доступ к системе.

Для подключения к Листенеру применяется стандартная утилита lsnrctl, входящая в набор тулз, устанавливаемых с клиентом для СУБД Oracle. Для получения информации используется команда status.

DoS-атака может быть осуществлена с помощью утилиты lsnrctl. Командой stop удаленный неавторизованный пользователь может остановить TNS Listener. (Начиная с версии 10g, по умолчанию, администратор не может управлять прослушивателем удалено, пока отключена аутентификация на локальном уровне операционной системы)

Обеспечение защиты прослушивателя в Oracle 9i,10g и выше

В связи с изменениями в Oracle 10g и появлением локальной аутентификации установка пароля прослушивателя и установка ADMIN_RESTRICTIONS не являются обязательными. Если же требуется максимальная безопасность, то пароль и ADMIN_RESTRICTIONS устанавливаются.

- Установка пароля прослушивателя. Эта мера является обязательной и позволит остановить большинство попыток атак. Обычно это простой процесс, вам требуется установить пароль в `lsnrctl`, который будет храниться в файле `listener.ora` в зашифрованном виде, или установить параметр `PASSWORDS_`, тогда пароль будет храниться в открытом виде.

- Установка `ADMIN_RESTRICTIONS`. Действие является обязательным, и позволяет запретить любые изменения прослушивателя во время работы. Достигается установкой параметра `ADMIN_RESTRICTIONS_` в значение `ON` в файле `listener.ora`.

- Установка обновлений и исправлений. Это позволит избежать ряда проблем и закрыть уязвимые места.

- Использование брандмауэров. Настройка межсетевых экранов таким образом, что бы пропускать только трафик от известных приложений и серверов, блокируя все постороннее и незнакомое.

- Защита директории `$TNS_ADMIN`. Эта мера является обязательной. Пароль прослушивателя хранится в файле `listener.ora`. Легким редактированием файла можно убрать парольную защиту. Если же пароль добавлялся вручную, то он хранится в открытом виде. Если средствами `lsnrctl`, то в виде зашифрованной строки. Разрешения на файлы `listener.ora`, `sqlnet.ora` и `protocol.ora` в директории `$TNS_ADMIN` (обычно `$ORACLE_HOME/network/admin`) должны быть чтение/запись/исполнение только для учетной записи владельца `oracle`.

- Защита `tnslsnr` и `lsnrctl`. Эта мера, призвана ограничить разрешения на исполняемые файлы `tnslsnr` и `lsnrctl`.

- Изменение порта TNS. Смена номера порта с 1521, который используется по умолчанию, на номер из диапазона 1521-1550 и 1600-1699, позволит обойти некоторые автоматические атаки и заставить злоумышленника потратить время на определение порта.

- Установка проверки узлов. Зависит от типа приложения и конфигурации сети и может быть мощным средством по ограничению трафика. Большинство web приложений требуют доступа с серверов приложений и только несколько клиентов для администрирования. Следовательно можно ограничить доступ по IP адресу.

- Регулярная проверка журнала прослушивателя По умолчанию журналирование отключено, параметр `LOG_STATUS=OFF`. Когда журналирование включено, директория по умолчанию `$ORACLE_HOME/network/admin`, и журнальный файл называется `.log`. Журнал содержит историю команд прослушивателя, выполненных локально и удаленно. Регулярный мониторинг журнала прослушивателя на наличие ошибок `TNS-01169`, `TNS-01189`, `TNS-01190` или `TNS-12508` поможет обнаружить потенциальную угрозу и попытки проникновения.

Подключение к СУБД

Для подключения к СУБД кроме имени и пароля необходимо знать имя базы данных (SID). Незащищенный Листенер по умолчанию выдает имена баз данных без аутентификации. Достаточно воспользоваться утилитой `lsntctl` с опцией `services`.

На случай если на Листенер установлен пароль или включена опция `LOCAL_OS_AUTHENTICATION`, существует множество способов получения имени базы данных.

Вот наиболее распространенные :

1. Поиск информации в сторонних приложениях.

- Например, СУБД Oracle 10g R2 по умолчанию устанавливает Oracle Application Server, который работает на порту 1158. Этот сервер доступен для удаленного подключения и выдает вместе с окном ввода логина и SID базы данных.

- При установке Oracle в связке с системой SAP/R3 узнать SID базы данных можно, подключившись к приложению SAP web-management, обычно висящему на порту 8001/TCP

и отвечающему за управление системой SAP. На запрос несуществующего файла, сервер выдает страницу ошибки, на которой содержится SID базы данных.

2. Имя базы данных является стандартным, словарным или частично/полностью совпадает с DNS/NETBIOS-именем хоста, например ORCL.

3. Имя базы данных состоит из малого количества символов.

4. Имя базы данных можно узнать по ссылке из другой базы данных, из файла tnsnames.ora на взломанном хосте, а также, например, прослушивая сетевой трафик.

Уязвимости учетных записей

Получив SID базы данных, мы можем попытаться подобрать пароли учетных записей пользователей. СУБД Oracle при установке создает множество системных учетных записей со стандартными паролями, и обычно администраторы забывают отключать или хотя бы менять пароли. Список стандартных аккаунтов насчитывает порядка 600 имен и доступен в интернете (http://www.petefinnigan.com/default/default_password_list.htm или утилита oscanner http://www.cqure.net/tools/osscanner_bin_1_0_6.zip), например, приводятся такие пары идентификатор/пароль, как system/manager, Scott/Tiger, internal/oracle sys/change_on_install..

Поэтому настоятельно рекомендуется использовать длинные пароли, вперемешку с цифрами и специальными символами, что позволит существенно усложнить атаку перебором или по словарю.

Есть несколько моментов, благодаря которым перебор паролей в СУБД Oracle приносит успех:

1. Многие системные имена пользователей известны, что позволяет подбирать только пароли.

2. По умолчанию ограничений на длину и сложность пароля не установлено.

3. Перебор паролей к учетным записям не блокируется.

4. Базы данных обычно содержат много учетных записей, а нам достаточно подобрать хотя бы одну (не обязательно административную).

Кроме того, все пароли учетных записей для СУБД Oracle хранятся в файле orapwXXX (для UNIX) или pwdXXX.ora (для Windows), где XXX - это SID. И хотя в этом файле хранятся зашифрованные значения паролей учетных записей, они могут быть подвергнуты атаке Brute Force, позволяющей подобрать правильное значение пароля. Мало того, одно неизвестное зашифрованное значение пароля может быть заменено на другое зашифрованное, но известное значение, что откроет дорогу злоумышленнику к базе данных.

Переполнение буфера

Переполнение буфера (buffer overflow) - наверное одна из самых интересных и широко распространённых уязвимостей. Ошибка заключается в том, что в каком-либо месте программы происходит копирование данных из одного участка памяти в другой без проверки того, достаточно ли для них места там, куда их копируют. Область памяти, куда копируются данные, принято называть буфером. Таким образом, если данных слишком много, то часть их попадает за границы буфера - происходит "переполнение буфера". Умелое использование того, куда попадают "лишние данные" может позволить злоумышленнику выполнить любой «свой» код.

Повышение уровня привилегий

Обычно для повышения привилегий используют уязвимости класса SQL-injection во встроенных процедурах СУБД Oracle.

Поскольку многие из этих процедур выполняются от имени их владельца, которым является пользователь SYS, то, внедрив свой код, мы сможем выполнять произвольные действия от имени системного пользователя.

Рекомендации по повышению уровня защищенности Oracle:

1. Установить пароль на доступ к сервису TNS Listener.

2. Включить протоколирование подключения к Листенеру для обнаружения попыток перебора паролей.

3. Не используй словарные, легко угадываемые SID-имена.
4. Ограничь доступ к системам, через которые можно узнать SID.
5. Проведи аудит используемых учетных записей: удалить или отключить неиспользуемые учетные записи и сменить стандартные пароли системных учетных записей.
6. Внедрить корпоративную парольную политику в СУБД.
7. Установить последние критические обновления и ограничь доступ пользователей на запуск потенциально опасных процедур.
8. Проанализировать привилегии и роли пользователей, руководствуясь принципом наименьших привилегий.
9. Если возможно, отключить возможности доступа пользователей Oracle к файловой системе.
10. Ограничьте доступ к СУБД Oracle по IP-адресам, разрешив доступ только с веб-сервера, если база данных используется в связке с веб-сервером, или только с подсети пользователей СУБД.

Эти действия помогут наиболее полно защитить СУБД без использования дополнительных программно-аппаратных средств, позволяющих избежать неожиданных хакерских нападений.

Список литературы:

1. Д. Нокс Создание эффективной системы безопасности для Oracle Database 10g. — М.: “Символ”, 2007, -556с
2. Oracle: Статьи - Безопасность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.all-oracle.ru/content/view/?part=1§ion=14> (дата обращения 11. 07.2011).
3. *Том Кайм* Oracle для профессионалов: архитектура, методики программирования и особенности версий 9i, 10g и 11g, 2-е издание. — М.: «Вильямс», 2011. — 848 с.

В. И. Голубев¹ к.т.н., В. В. Медисон², В. Ф. Пегашкин² д.т.н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, 1. Филиал УрФУ в г. Верхняя Салда. 2. НТИ (ф) УрФУ
Россия, г. Нижний Тагил
medisonw@gmail.com

**Работа выполнена при поддержке конкурса на проведение научных исследований аспирантами,
молодыми учеными и кандидатами наук УрФУ.**

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В работе излагается сущность нового способа повышения стойкости металлорежущего инструмента, основанного на его электрической изоляции посредством использования вспомогательного инструмента из титановых сплавов, подвергнутых термическому оксидированию.

Ключевые слова: стойкость, режущий инструмент, титановые сплавы, электрическая изоляция, термическое оксидирование

При резании металлов и сплавов в зоне контакта инструмента и детали возникает термоЭДС и в замкнутом контуре «станок – инструмент – изделие – станок» начинает протекать электрический ток, что снижает стойкость режущего инструмента за счет активизации адгезионно-окислительных процессов в механизме разрушения. Доказано, что разрыв цепи термотока приводит к повышению стойкости инструмента [6, 7]

Известно несколько способов прерывания цепи результирующего термотока:

- разрыв цепи традиционными изоляционными материалами, (например слоем из текстолитовых прокладок толщиной порядка 2 мм [3]);
- образование изоляционного слоя нанесением покрытия из клея или пластмассы на крепежные поверхности инструмента (хвостовик) или поверхности приспособлений, предназначенные для закрепления инструмента или изделия, толщиной 0,02 – 0,08 мм [2];
- электроизоляция металлорежущего инструмента путем нанесения на контактирующие со стружкой поверхности алмазного слоя [1].

Однако имеющиеся способы повышения стойкости металлорежущего инструмента путем его электрической изоляции, имеют ряд недостатков, состоящих либо в снижении жесткости инструментальной системы при их использовании, либо в невысокой прочности и износостойкости изоляционных покрытий, либо в высокой стоимости мероприятий по осуществлению способа.

В соответствии с этим была поставлена задача разработки способа, в котором недостатки были бы частично или полностью устранены.

Известно [4], что оксид титана TiO_2 обладает диэлектрическими свойствами. Была выдвинута гипотеза, согласно которой термически оксидированные изделия из сплавов титана будут обладать высоким электрическим сопротивлением.

Образцы из титановых сплавов марок ВТ1-0, ОТ4, ВТ20, ВТ6, ВТ3-1, ВТ14, ВТ23 и VST 5553, с размерами 5×20×40 мм. закаливали в воду, зачищали и обезжиривали. Затем образцы подвергали термическому оксидированию в печи при температурах 700, 750 и 800 °С и времени выдержки соответственно 7, 6 и 5 часов.

Исследовали электрическое сопротивление образцов после термического оксидирования на измерителе сопротивления марки MIC-1000 (Sonel, Польша) при измерительном напряжении 50 В. Результаты исследования приведены на рис. 1.

В работе [5] авторы указывают, что минимальное электросопротивление, обеспечивающее изоляцию инструмента, составляет 400 МОм. Данному условию удовлетворяют сплавы BT3-1 и OT4, следовательно эти сплавы можно использовать для изготовления вспомогательного инструмента, поверхность которого после термического оксидирования приобретет изоляционные свойства (технический титан марки BT1-0 не рассматриваем ввиду его малой прочности).

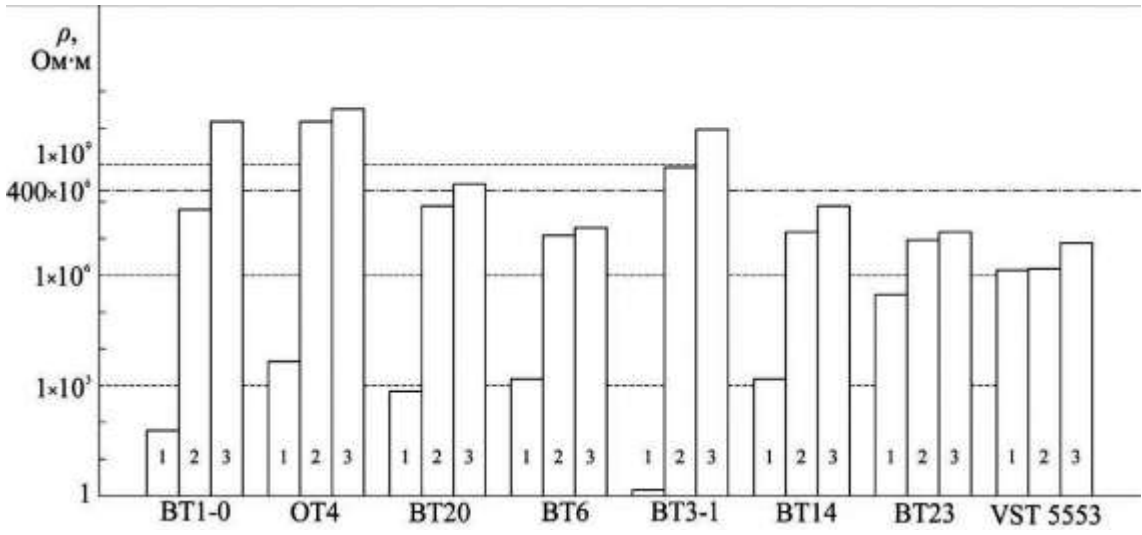


Рис. 1 – Результаты исследования удельного электрического сопротивления некоторых титановых сплавов после термического оксидирования при следующих режимах: 1 – 700°C, 7 час.; 2 – 750°C, 6 час.; 3 – 800°C, 5 час.

Предлагаемый способ повышения стойкости металлорежущего инструмента состоит в том, что вспомогательный инструмент изготавливают из титановых сплавов марок BT3-1 и OT4, и подвергают термическому оксидированию в печи при температуре 750°C в течение 6 часов.

Пример конкретного исполнения предлагаемого способа при сверлении приведен на рис. 2.

Сверло 1 устанавливают в шпинделе 2 сверлильного станка, в который установлена переходная втулка 3. На поверхности переходной втулки 3 нанесено диэлектрическое покрытие 4, благодаря чему достигается электрическая изоляция сверла 1 от станка. При этом благодаря высоким механическим свойствам титановых сплавов не нарушается жесткость системы, что благоприятно влияет на точность обработки.

Для контроля изменений геометрических параметров конических поверхностей после термического оксидирования были изготовлены переходные втулки из сплава BT3-1 в количестве 4 штук. Геометрические размеры выполнены в соответствии с ГОСТ 13598-85. После механической обработки втулки подвергли термическому оксидированию при температуре 750 °C в течение 6 часов. Поверхностное сопротивление оксидированной поверхности втулок составило 2...4 ГОм.

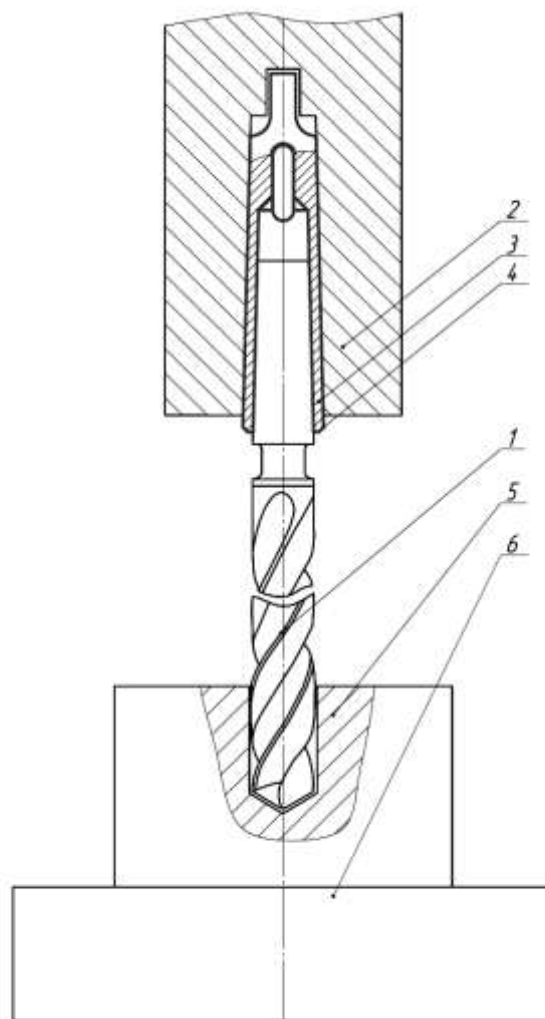


Рис. 2 – Пример практической реализации предлагаемого способа: 1 – сверло; 2 – шпиндель; 3 – переходная втулка; 4 – оксидный слой; 5 – деталь; 6 – стол станка.

Измерения отклонений геометрических параметров производили на контрольно-измерительной машине НММ-965. Результаты измерения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерения отклонений геометрических параметров

Параметр	Номинальное значение	Действительное значение
Угол наружного конуса Морзе	1°26'	1°26'18"±8'
Угол внутреннего конуса Морзе	1°26'	1°25'22"±40'
$\varnothing_{\text{max}}$ наружного конуса, мм.	32,4	32,337
$\varnothing_{\text{max}}$ внутреннего конуса, мм.	23,825	23,801

Как видно из таблицы, термическое оксидирование не снижает размерную точность вспомогательного инструмента.

Производственные эксперименты производились при сверлении отверстий в детали «Доска трубная» (для теплообменника) толщиной 40 мм. из технического титана BT1-0 спиральным сверлом из стали P6M5 Ø25 мм (ГОСТ 12121-77). Общее количество отверстий данного диаметра в детали – 704 шт. Применение данного способа показало увеличение

стойкости инструмента в 2,15 раза. Предварительные данные позволяют надеяться на дальнейшие положительные результаты стойкостных испытаний.

Список литературы:

1. *Александров В.И., Бородаев А.Г., Глинкин Е.И.* Способ повышения стойкости инструмента. Авторское свидетельство №2150355, 1999.
2. *Бобровский В.А.* Способ повышения стойкости инструмента. Авторское свидетельство №206972. // Бюллетень изобретений – 1968 – №1
3. *Бобровский В.А.* Электродиффузионный износ инструмента. – М.: Машиностроение, 1970. – 202 с.
4. *Гольдшмидт Х. Дж.* Сплавы внедрения. Выпуск II. – М.: Мир, 1971. – 464 с.
5. *Коробов Ю.М., Прейс Г.А.* Электромеханический износ при трении и резании металлов. – Киев: Техніка, 1976. – 200 с.
6. *Солоненко В.Г.* Электроизоляция как метод повышения работоспособности режущих инструментов // Технология металлов – 2009 – №2 – С.18 – 25
7. *Солоненко В.Г.* Электроизоляция как метод повышения работоспособности режущих инструментов // Технология металлов – 2009 – №3 – С.9 – 15

К. А. Голявин, С. И. Кошелев, Е. В. Кушнарченко, Е. А. Шеин к.т.н.

Оренбургский государственный университет, аэрокосмический институт
кафедра материаловедения и технологии материалов

Россия, г. Оренбург

SheinEA@rambler.ru

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛИ 38Х2МЮА ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ОБРАБОТКИ

В работе представлены результаты сравнения износостойкости стали 38Х2МЮА после различных вариантов термической обработки. Показана возможность применения термической обработки лазерным излучением для данной стали, наряду с традиционной обработкой - азотированием.

Ключевые слова: термическая обработка, износостойкость, азотируемая сталь, микроструктура.

Сталь 38Х2МЮА применяется после улучшения и азотирования для изготовления деталей машин, от которых требуются высокая поверхностная твердость, износостойкость и повышенный предел выносливости. Возможной альтернативой процесса азотирования данной стали, является термическая обработка с применением лазерного излучения. При лазерной термообработке с оплавлением поверхности конечная структура, формируемая на стадии охлаждения расплавленного металла, существенно отличается от структуры получаемой при традиционной термической обработке с нагревом в печах. Данное отличие заключается в изменении размеров и формы зерна и обусловлено увеличением скорости охлаждения. В зависимости от степени переохлаждения изменяются значения скорости образования и роста кристаллов. При этом возможно образование ячеистых равноосных и столбчатых зерен, состоящих из нескольких одинаково ориентированных дендритов.

Целью данного исследования является сравнение износостойкости азотируемой стали в зависимости от вида упрочняющей обработки и оценка возможности применения термической обработки с применением лазерного излучения для повышения износостойкости стали 38Х2МЮА.

Испытания на износостойкость проводили при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы согласно ГОСТ 23.208-79 и на машине трения МИ-1М по схеме «диск по неподвижной колодке». Перед испытаниями определяли твердость образцов по ГОСТ 2999-75. Твердость металла образцов: в состоянии поставки составила 27 HRC; образцов подвергнутых лазерной закалке - 52-54 HRC; твердость азотированных образцов 60 HRC.

Согласно ГОСТ 23.208 исследуемые образцы устанавливали в образце держателе испытательной установки. Прижимали каждый образец рычагом к ролику с усилием $(44,1 \pm 0,25)$ Н. Ролик приводили во вращение с частотой $n = (60 \pm 2)$ мин⁻¹ (об/мин). Непрерывность подачи абразивного материала в процессе испытаний контролировали по наличию абразивного материала по всей ширине ролика. Абразивным материалом являлся измельченный цеолит. Испытания образца продолжали в течение времени, соответствующего количеству оборотов ролика. По окончании испытаний освобождали образец, промывали бензином, затем ацетоном по ГОСТ 2768-84, просушивали на воздухе и взвешивали с погрешностью не более 0,1 мг. Результаты испытаний представлены в таблице 1. Согласно полученным результатам наименьшую потерю массы имеют образцы в состоянии поставки. На этих образцах, вследствие низкой твердости материала, класс

чистоты понизился наиболее заметно. Поверхность приобрела выраженную шероховатость. Вследствие сегрегации абразивного порошка наиболее мелкая фракция его, попадая в углубления рисок, наволакивалась на поверхность контакта с контртелом, препятствуя дальнейшему износу данных образцов. На остальных образцах это проявлялось очень слабо или не проявлялось совсем (на азотированных).

Таблица 1 - Результаты испытаний образцов стали 38Х2МЮА на износостойкость после разных вариантов термообработки
среднее значение износа, г

Число оборотов ролика	Вариант обработки				
	состояние поставки	лазер.закал., P=600 Вт, V _{лин.} = 9 мм/сек, Защита – азот.		азотирование	ионное азотирование
		S=2,5 мм.	S=2,8 мм.		
600	0,002	0,009	0,007	0,005	0,003
1800	0,002	0,014	0,010	0,007	0,003

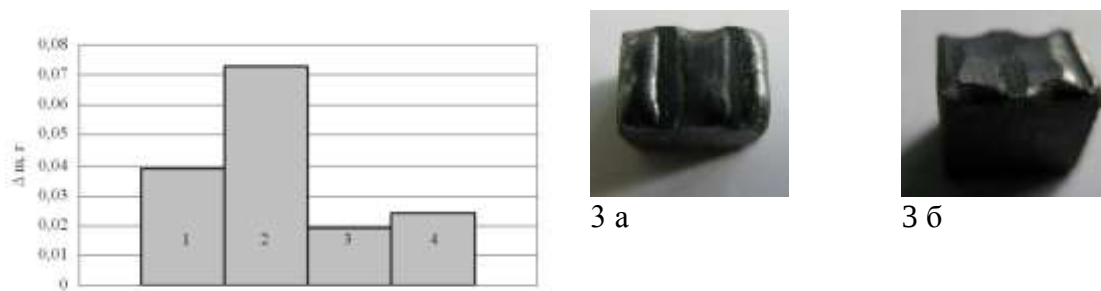
Потеря массы образцов после 2400 оборотов ролика в сравнении с 600 оборотами ролика увеличилась для образцов, подвергнутых лазерной закалке (S=2,5 мм) - в 1,6 раза, для образцов, подвергнутых лазерной закалке (S=2,8 мм) - в 1,4 раза, для образцов, подвергнутых азотированию - в 1,4 раза. Результаты испытаний на растяжение показывают более высокие значения предела прочности образцов после лазерной закалки.

Таблица 2 - Результаты испытаний образцов из стали 38Х2МЮА на растяжение после разных вариантов термообработки

Вариант обработки	Предел текучести, σ _{0,2} , МПа	Предел прочности, σ _в , МПа	Относительное удлинение, δ, %
состояние поставки	648	839	16,2
азотирование	643	696	2,9
лазерная закалка	671	851	8,7

Данные результаты испытаний позволяют заключить, что износостойкость образцов из стали 38Х2МЮА, подвергнутых лазерной закалке (P=600 Вт, V_{лин.}=9 мм/сек, S=2,8 мм), не ниже износостойкости образцов, подвергнутых азотированию.

Для проведения сравнительных стойкостных испытаний в условиях трения скольжения были изготовлены образцы размером 10×8×10 мм (рисунок 1). Частота вращения контртела при проведении испытаний составляла 300 мин⁻¹, усилие прижатия образца к контртелу, Р, 600 Н. Продолжительность испытания для одного образца составляла 120 мин. Износ определялся взвешиванием образцов до и после испытания, на лабораторных весах ВЛР-200 с точностью до 0,0001 г.



1. Исходные образцы; 2. Лазерная закалка; 3. Лазерная закалка, отпуск (температура 150 °С, выдержка 2ч); 4. Ионное азотирование.

Рис. 1 – Результаты испытаний на трение и вид поверхности образцов до (а) и после (б) проведения испытания.

Результаты испытания образцов на износ в условиях трения скольжения показывают, что максимальный износ наблюдается у образцов прошедших лазерную закалку без последующего проведения отпуска. Это можно объяснить влиянием внутренних напряжений и схемой упрочнения при данной термической обработке (рисунок 2). Известно, что в процессе лазерной обработки протяженного участка на стадии нагрева происходят пластически деформации укорочения, а на стадии охлаждения – пластически деформации удлинения [1]. Деформации на стадии нагрева обычно превосходят по абсолютной величине деформации, возникающие на стадии охлаждения, и в поверхностном слое в общем случае формируется участок растягивающих напряжений с максимумом в центре зоны обработки. При термической обработке с оплавлением поверхности в центре зоны обработки, растягивающие напряжения могут снижаться и переходить в напряжения сжатия. В зависимости от величины перекрытия дорожек обработки напряженное состояние уже термообработанного участка может также изменяться. Таким образом, поверхностный слой закаленных образцов находится в сложном напряженном состоянии, что оказывает влияние на износостойкость.

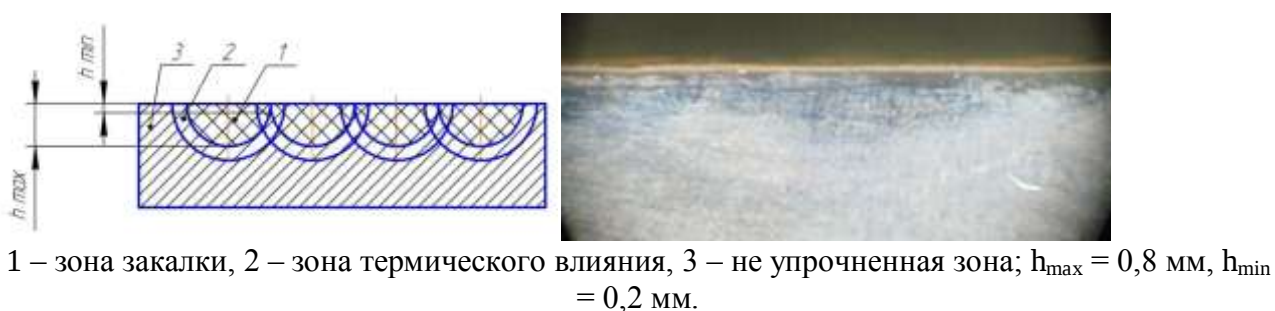


Рис. 2 – Схема упрочнения при лазерной закалке и макроструктура закаленного слоя стали 38X2MЮА.

Различие износостойкости обусловлено изменением структуры и свойств образцов стали 38X2MЮА после термообработки. На рисунке 3 видно, что структура стали после лазерной закалки не одинакова по сечению образца. При этом в структуре стали наблюдается зона, характерная для закалки из жидкого состояния. Твердость на этом участке несколько ниже, чем при закалке с превращениями в твердой фазе. Структура стали – мартенсит, что

подтверждается данными рентгенофазового анализа (рисунок 4). Дифрактограмма стали после ионного азотирования характеризуется наличием дополнительных пиков, которые можно отнести к отражениям от плоскостей фазы Fe_3N .

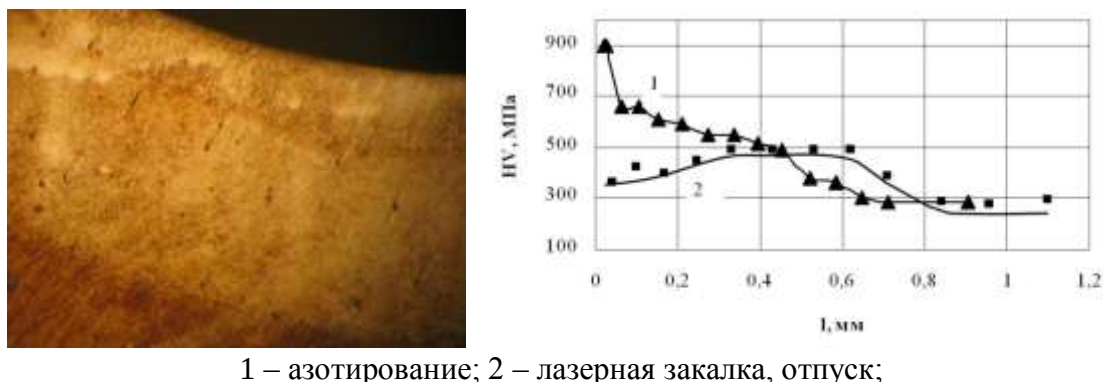


Рис. 3 – Макроструктура термообработанного и распределение твердости по сечению образца.

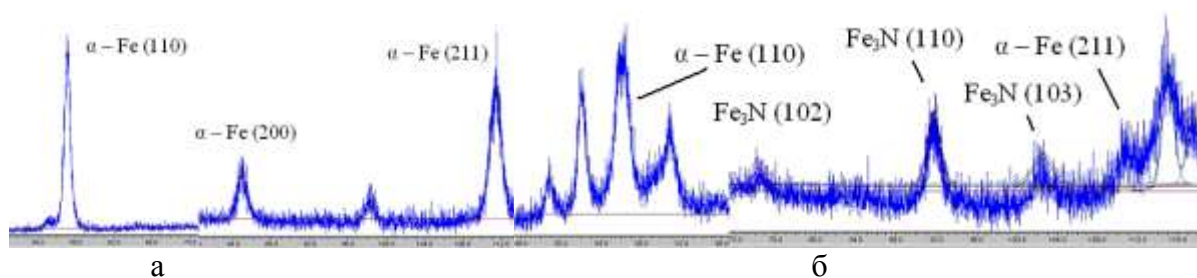


Рис. 4 – Дифрактограмма стали 38X2МЮА после лазерной обработки (а) и после ионного азотирования (б).

Таким образом, характер износа стали 38X2МЮА различен в зависимости от условий проведения испытаний. Прочностные характеристики при лазерной закалке выше, а износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы не ниже износостойкости образцов, подвергнутых азотированию.

Список литературы:

1. Григорьянц А. Г., И. Технологические процессы лазерной обработки : учеб. пособие для вузов / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. - 663 с.

А. Г. Горюнов к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
физико-технический институт
кафедра электроники и автоматики физических установок
Россия, г. Томск
alex1479@mail.ru

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕРАВНОВЕСНОГО МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ЭКСТРАКЦИОННОГО ПРОЦЕССА В СМЕСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЭКСТРАКТОРА

Рассмотрены основные положения динамической модели неравновесного процесса многокомпонентной экстракции в смесительной камере центробежного экстрактора.

Ключевые слова: математическое моделирование, динамическая модель, экстракция, смесительная камера, центробежный экстрактор.

Модели экстракционных процессов в смесителях-отстойниках и пульсационных колоннах широко представлены в литературе [1 – 3], построенные на основе диффузионной кинетики. С другой стороны, несмотря на большую значимость, вопросы, связанные с разработкой, изучением основных эксплуатационных характеристик, включая моделирование динамических неравновесных процессов экстракции/реэкстракции, и промышленным внедрением центробежных экстракторов, слабо освещены в научно-технической литературе. Это значительно затрудняет решение проблемы эффективной автоматизации и оптимизации на существующих и вновь вводимых в эксплуатацию производствах. Поэтому представленная работа актуальна.

Цель исследований – разработка динамической модели многокомпонентного неравновесного экстракционного/реэкстракционного процесса в центробежном экстракторе.

Центробежный экстрактор состоит из смесительной и разделительной камер, поэтому математическую модель экстрактора следует представить как совокупность моделей этих камер. Эффективный массоперенос в центробежных экстракторах происходит в смесительной камере. Взаимосвязь времени контакта фаз, эффективности массопереноса, производительности экстрактора и параметров смесительной камеры описывается основным уравнением массопереноса. Для ступенчатых экстракторов непрерывного действия [4] количество перенесенного вещества j -го компонента Δm_j из одной фазы в другую через межфазную поверхность A за время контакта фаз t_k при средней движущей силе (концентрационном напоре) процесса $\bar{\Delta}$ определяется выражением:

$$\Delta m_j = K_j A t_k \bar{\Delta}, \quad (1)$$

где K_j – коэффициент массопереноса. Коэффициент массопереноса K в уравнении (1) зависит от гидродинамических, физических и геометрических факторов и может быть найден только экспериментальным путем. Для режима развитой свободной турбулентности (автомодельный режим, который реализуется при перемешивании жидкостей в центробежных экстракторах) коэффициенты вихревой вязкости и вихревой диффузии достигают максимального значения [4]. Поэтому в математической модели для расчета K_j будем использовать выражение:

$$K_j = K_{0,j} n d_m, \quad (2)$$

где n – частота вращения мешалки, d_m – диаметр лопасти мешалки, $K_{0,j}$ – пропорциональный коэффициент, определяется экспериментально.

Обозначим за X фазу, из которой вещество переносится (дисперсная фаза), а за Y (сплошная фаза) – куда поступает. Распределяемое вещество в фазе X переносится к поверхности раздела фаз (ПРФ), а в фазе Y – от этой поверхности (рис. 1).

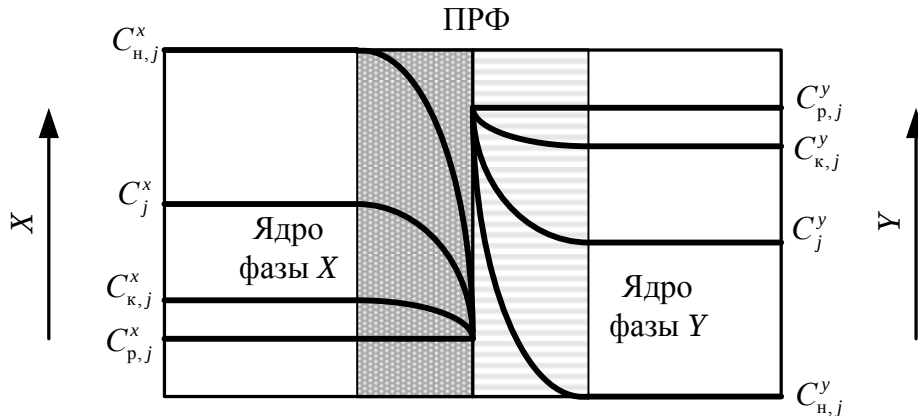


Рис. 1. Схема распределения концентраций j -ой компоненты в фазах в процессе массопереноса.

Перенос вещества в обеих фазах осуществляется путем молекулярной диффузии (т.е. диффузии молекул через слой носителя) и путем конвективной диффузии (т.е. движущимися частицами носителя и распределяемого вещества). В каждой фазе различают две области: ядро (основная масса) и пограничный слой, образующийся у ПРФ. Перенос распределяемого вещества в ядре фазы, где обычно наблюдается интенсивное перемешивание, происходит преимущественно путем конвективной диффузии. В ядре, вследствие интенсивного перемешивания, концентрация распределяемого вещества в каждом сечении системы почти постоянна. Пограничный слой является областью резкого изменения концентрации распределяемого вещества. Перенос вещества в пограничном слое осуществляется путем конвективной и молекулярной диффузии, причем по мере приближения к ПРФ происходит затухание конвективных потоков и возникает роль молекулярной диффузии. Скорость перехода вещества ПРФ в этом случае принимается больше скорости доставки-отвода [4, 5].

Концентрация распределяемого вещества в фазе X уменьшается от величины C_j^x в ядре потока до величины $C_{p,j}^x$ на ПРФ ($j = 1, 2, \dots, k$, k – количество распределяемых компонент). В фазе Y концентрация распределяемого вещества уменьшается от величины $C_{p,j}^y$ на ПРФ до величины C_j^y в ядре потока фазы Y . При установившемся процессе на ПРФ наблюдается равновесие, т.е. концентрации $C_{p,j}^x$ и $C_{p,j}^y$ являются равновесными (рис. 2).

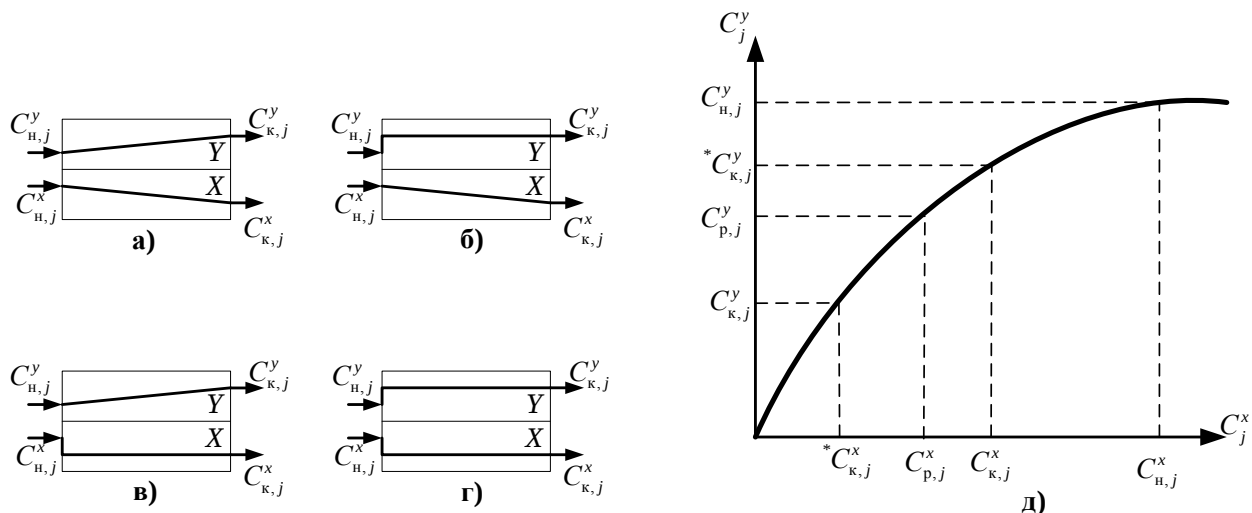


Рис. 2. Распределение экстрагируемой j -ой компоненты в фазах:

а) перемешивание отсутствует в обеих фазах; б) полное перемешивание в фазе Y; в) полное перемешивание в фазе X; г) полное перемешивание в обеих фазах; д) равновесная кривая распределения j -го компонента.

В работе [4] представлены обоснования возможности использования модели полного перемешивания в обеих фазах (рис. 2) для описания процесса массопереноса в центробежных экстракторах. На практике используют основное уравнение массопереноса (1), определяющее количество вещества, переносимое из фазы в фазу:

$$G_j^x = K_j A (C_{к,j}^x - {}^*C_{к,j}^x), \quad (3)$$

где $C_{к,j}^x$ – концентрация j -го компонента в фазе X на выходе смесительной камеры, ${}^*C_{к,j}^x$ – концентрация в фазе X, равновесная с концентрацией $C_{к,j}^y$ на выходе смесительной камеры, $C_{н,j}^x$, $C_{н,j}^y$ – концентрации j -го компонента на входе смесительной камеры в фазах X и Y (рис. 2).

Считая, что капли дисперсной фазы в смесительной камере имеют сферическую форму и одинаковый объем, площадь поверхности раздела фаз A в модели определяется следующим выражением:

$$A = \frac{V_s^x F_k}{V_k} = \frac{6V_s^x}{d_x}, \quad (4)$$

где F_k – площадь поверхности одной капли дисперсной фазы, V_k – объем одной капли дисперсной фазы, V_s^x – объем дисперсной фазы в смесительной камере, d_x – диаметр капель дисперсной фазы. Диаметр капель рассчитывался по эмпирическому выражению, например, для центробежных экстракторов ЦЕНТРЕК [4]:

$$d_x = \sigma^{0,6} \rho^{-0,6} d_m^{-0,8} n^{-1,2}, \quad (5)$$

где σ – коэффициент межфазного поверхностного натяжения, зависящий от температуры, ρ – плотность сплошной фазы в смесительной камере, зависящая от концентраций компонент и температуры [4, 5].

Объем фазы X и Y определяется из соотношения объемных расходов потоков:

$$\begin{aligned} V_s^x &= \frac{Q_H^x V_s}{Q_H^x + Q_H^y}, \\ V_s^y &= V_s - V_s^x, \end{aligned} \quad (6)$$

где Q_h^x , Q_h^y – объёмные расходы фазы X и Y на входе смесительной камеры, V_s – рабочий объём смесительной камеры. При постоянной частоте вращения транспортирующего шнека расходы Q_k^x , Q_k^y фазы X и Y на выходе смесительной камеры определяются глубиной погружения его лопастей. Максимальная производительность обеспечивается при полном погружении лопастей. В результате динамическая связь входных и выходных расходов зависит от скорости изменения уровня погружения лопастей шнека. Для упрощения расчетов динамическую связь опишем дифференциальным уравнением аperiodического звена первого порядка:

$$\begin{aligned}\frac{d[Q_k^x(t)]}{dt} &= \frac{Q_h^x(t) - Q_k^x(t)}{T_{\omega}^q}, \\ \frac{d[Q_k^y(t)]}{dt} &= \frac{Q_h^y(t) - Q_k^y(t)}{T_{\omega}^q}, \\ T_{\omega}^q &= \frac{h_{\omega} V_s}{h_s (Q_h^x + Q_h^y)},\end{aligned}\quad (7)$$

где h_{ω} – высота шнека, h_s – высота смесительной камеры. Неустановившийся процесс массопереноса в смесительной камере опишем системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d[m_j^x(t)]}{dt} = Q_h^x(t) C_{h,j}^x(t) - Q_k^x(t) C_{k,j}^x(t) - G_j^x(t) \\ \frac{d[m_j^y(t)]}{dt} = Q_h^y(t) C_{h,j}^y(t) - Q_k^y(t) C_{k,j}^y(t) + G_j^x(t) \end{cases}, \quad (8)$$

где m_j^x , m_j^y – массы j -ой компоненты в фазах X и Y .

В модели планируется учесть в качестве макрокомпонент – уран и кислоту, а в качестве микрокомпонента – молибден, вызывающий наибольшие затруднения при экстракционном аффинаже урана.

Таким образом, представленная динамическая модель описывает неравновесный многокомпонентный экстракционный процесс в смесительной камере. В дальнейшем планируется выполнить проверку адекватности данной модели и применить ее при разработке математической модели каскада центробежных экстракторов.

Список литературы:

1. Семёнов Е.Н., Карелин А.И. Математическая модель неравновесного экстракционного процесса в колонном аппарате // Журнал прикладной химии. – 1997. – Т. 70 – № 9. – С. 1526–1528.
2. Пяртман А.К., Копырин А.А., Пузиков Е.А. Математическая модель квазиравновесных противоточных процессов разделения редкоземельных металлов (III) методом жидкостной экстракции // Радиохимия. – 1994. – Т. 36, №6. – С. 481–486.
3. Горюнов А.Г., Чурсин Ю.А., Михалевич С.С., Rogozный Д.Г. Динамическая модель многокомпонентного неравновесного экстракционного процесса в колонном экстракторе // Известия высших учебных заведений. Физика, 2010. – №11/2. – С. 210–214.
4. Кузнецов Г.И., Пушков А.А., Косоголов А.В. Центробежные экстракторы ЦЕНТРЕК. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000 – 214 с.
5. Горюнов А.Г., Ливенцов С.Н., Rogozный Д.Г. Чурсин Ю.А. Динамическая модель многокомпонентного неравновесного экстракционного процесса в пульсационной колонне // Радиохимия. – 2011. – Т. 53 – №3. – С. 237–241.

А. Г. Горюнов к.т.н.^{1,2}, К. А. Козин к.т.н.^{1,2}, С. А. Сачков¹

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет
физико-технический институт
кафедра электроники и автоматики физических установок
Россия, г. Томск
kozin@tpu.ru

² ООО «ОСТом»
Россия, г. Томск

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2007-2013 годы»

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ SIEMENS-РЕАКТОРА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

В работе рассмотрены основные положения при моделировании Siemens-реактора как объекта управления, представлены результаты моделирования в сравнении с экспериментальными данными.

Ключевые слова: Siemens-реактор, поликристаллический кремний, математическое моделирование.

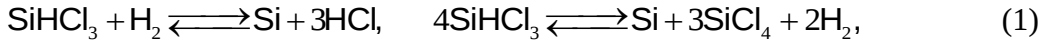
До настоящего момента преобладающей технологией получения поликристаллического кремния (ПКК) высокой частоты является Siemens-технология, центральным аппаратом которой является реактор химического парогазового осаждения кремния на разогреваемых электрическим током кремниевых стержнях-основах – Siemens-реактор [1].

Сложный характер функционирования Siemens-реактора как объекта управления (ОУ) ограничивает применение классических методов теории управления, а отсутствие долгое время доступных возможностей реализации современных методов определило вид сегодняшней автоматизации Siemens-реактора – внедрение информационных систем централизованного контроля и измерения технологических переменных и систем автоматического управления (САУ) с программным управлением. Эффективным методом исследования и синтеза более универсальных и робастных САУ (по отклонению) является математическое моделирование.

Известные модели [2 – 5] Siemens-реактора не ориентированы на моделирование Siemens-реактора как ОУ. Ранее нами была предложена модель Siemens-реактора, позволяющая проводить структурный синтез САУ, но вследствие примененного «зонного подхода» в тепловом балансе кремниевого стержня, приводящего к пилообразному изменению выходных переменных модели, качественный параметрический синтез САУ затруднителен.

Цель исследований – повышение качества описания динамики изменения переменных модели Siemens-реактора как ОУ посредством модификации ранее предложенной [7]. Концепция модели остается аналогичной [7]: рассматривается 3 области (кремниевый стержень, граничный слой в котором протекают химические реакции, и остальной объем парогазовой смеси (ПГС) в реакторе), задача расчета температуры стержней реактора сводится к одномерной, предполагая осевую симметрию и пренебрегая распределением

температуры по высоте стержня. Описание кинетики водородного восстановления трихлорсилана (ТХС) основывалось на рекомендованных двух эффективных реакциях [1]:



кинетика, которых в граничном слое описывалась следующей системой дифференциальных уравнений по компонентам:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_{\text{TХС}}^r}{\partial t} &= -k_1 C_{\text{TХС}}^r C_{\text{H}_2}^r - k_2 C_{\text{TХС}}^r + h_{m,\text{TХС}} (C_{\text{TХС}}^V - C_{\text{TХС}}^r) \frac{S_r}{V_p}; \\ \frac{\partial C_{\text{H}_2}^r}{\partial t} &= -k_1 C_{\text{TХС}}^r C_{\text{H}_2}^r + \frac{1}{2} k_2 C_{\text{TХС}}^r(t) + h_{m,\text{H}_2} (C_{\text{H}_2}^V - C_{\text{H}_2}^r) \frac{S_r}{V_p}; \\ \frac{\partial C_{\text{SiCl}_4}^r}{\partial t} &= \frac{3}{4} k_2 C_{\text{TХС}}^r(t) + h_{m,\text{SiCl}_4} (C_{\text{SiCl}_4}^V - C_{\text{SiCl}_4}^r) \frac{S_r}{V_p}; \\ \frac{\partial C_{\text{HCl}}^r(t)}{\partial t} &= 3k_1 C_{\text{TХС}}^r(t) C_{\text{H}_2}^r(t) + h_{m,\text{HCl}} (C_{\text{HCl}}^V - C_{\text{HCl}}^r) \frac{S_r}{V_p}; \end{aligned} \quad (2)$$

где C_i^r и C_i^V – молярная концентрация компонент ПГС в реакционном слое и свободном объеме реактора, соответственно, моль/м³; $h_{m,i}$ – коэффициент массопереноса компонент ПГС между областями, м/с; $i = \text{TХС}, \text{H}_2, \text{HCl}, \text{SiCl}_4$; $V_0 = \pi R_w^2 L$ – весь объем реактора, м³; $V_p = (V_0 - \pi R_s^2 L N_{ST})$ – свободный объем реактора, м³; $S_r = N_{ST} 2\pi L (R_s + dR)$ – площадь поверхности контакта свободного объема ректора и реакционного слоя, м², R_s – радиус стрежня, м; R_w – радиус оболочки реактора, м; k_1, k_2 – константы скорости реакций (1); dR – толщина реакционного слоя, м; N_{ST} – количество стержней в реакторе, шт.

Считая, что весь образованный кремний в объеме реакционного слоя V_r осаждается на стержне, рассчитывалось новое значение массы кремния в реакторе m_{Si}^Σ и радиуса стержней R_s :

$$\frac{\partial m_{\text{Si}}^\Sigma}{\partial t} = N_{ST} M_{\text{Si}} V_r \left(k_1 C_{\text{TХС}}^r C_{\text{H}_2}^r + \frac{1}{4} k_2 C_{\text{TХС}}^r \right). \quad (3)$$

Материальный баланс в свободном объеме реактора по компонентам ПГС представлен следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_{\text{ПГС}}^{\text{ВЫХ}}}{\partial t} &= (Q_{\text{TХС}}^{\text{ВХ}} + Q_{\text{H}_2}^{\text{ВХ}} - Q_{\text{ПГС}}^{\text{ВЫХ}}) \frac{Q_{\text{TХС}}^{\text{ВХ}} + Q_{\text{H}_2}^{\text{ВХ}}}{V_p}; \\ \frac{\partial C_{\text{TХС}}^V}{\partial t} &= V_p^{-1} \left(-h_{m,\text{TХС}} S_r (C_{\text{TХС}}^V - C_{\text{TХС}}^r) + \frac{Q_{\text{TХС}}^{\text{ВХ}} P}{R_g T_{\text{ПГС}}^{\text{ВХ}}} - C_{\text{TХС}}^V Q_{\text{ПГС}}^{\text{ВЫХ}} \right); \\ \frac{\partial C_{\text{H}_2}^V}{\partial t} &= V_p^{-1} \left(-h_{m,\text{H}_2} S_r (C_{\text{H}_2}^V - C_{\text{H}_2}^r) + \frac{Q_{\text{H}_2}^{\text{ВХ}} P}{R_g T_{\text{ПГС}}^{\text{ВХ}}} - C_{\text{H}_2}^V Q_{\text{ПГС}}^{\text{ВЫХ}} \right); \\ \frac{\partial C_{\text{SiCl}_4}^V}{\partial t} &= V_p^{-1} \left(-h_{m,\text{SiCl}_4} S_r (C_{\text{SiCl}_4}^V - C_{\text{SiCl}_4}^r) - C_{\text{SiCl}_4}^V Q_{\text{ПГС}}^{\text{ВЫХ}} \right); \\ \frac{\partial C_{\text{HCl}}^V}{\partial t} &= V_p^{-1} \left(-h_{m,\text{HCl}} S_r (C_{\text{HCl}}^V - C_{\text{HCl}}^r) - C_{\text{HCl}}^V Q_{\text{ПГС}}^{\text{ВЫХ}} \right); \end{aligned} \quad (4)$$

где $Q_{\text{ПГС}}^{\text{ВЫХ}}$ – объемный расход ПГС на выходе из реактора, м³/с; $Q_{\text{TХС}}^{\text{ВХ}}, Q_{\text{H}_2}^{\text{ВХ}}$ – объемный расход ТХС и H_2 на входе в реактор, м³/с; P – давление ПГС в реакторе, Па;

$R_g = 8,314$ – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль К); $^{BX}T_{ПГС}$ – температура смеси ТХС и H_2 на входе в реактор, К.

Совместно с дифференциальными уравнениями, описывающими кинетику химических реакций и материальный баланс (1)–(4), решалось уравнения теплового баланса для ПГС ($T_{ПГС}$) в реакторе (5) и нестационарные уравнения теплопроводности (6) в цилиндрической системе координат для кремниевого стержня:

$$\frac{\partial T_{ПГС}}{\partial t} = \frac{1}{m_{ПГС} \cdot c_{p,ПГС}} (N_{ST} \cdot P_c^{ПГС} + ^{BX}P_{H_2} + ^{BX}P_{ТХС} - ^{ВЫХ}P_{ПГС} - P_c^W) \quad (5)$$

$$\rho_{Si} c_{p, Si} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_{Si} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{J^2}{\sigma_{Si}(T, r)}, \quad 0 \leq r \leq R_s, \quad t_i < t < t_{i+1} \quad (6)$$

$$T(t_i, r_i) = T(t_i, r_{i-1}), \quad -\lambda_{Si} S_s \frac{\partial T}{\partial r} = P_c^{ПГС} + P_r \Big|_{r=R_s}, \quad \frac{\partial T}{\partial r} = 0 \Big|_{r=0}$$

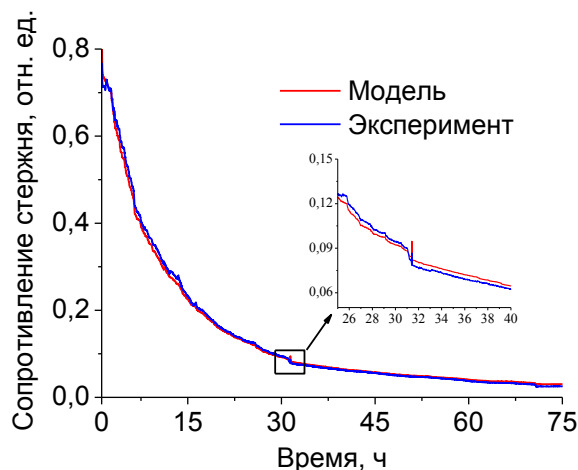
где r – радиальная координата, м; $c_{p, Si}$, λ_{Si} и σ_{Si} – удельная теплоемкость, Дж/кг·К, теплопроводность, Вт/м·К и электропроводность, 1/(Ом·м) кремния соответственно; $J = I/(\pi R_s^2)$ – плотность тока, А/м²; $T_s = T(R_s, t_i)$ – температура поверхности кремния, К; $S_s = N_{ST} 2\pi R_s L$ – площадь поверхности стрержней, м²; $S_w = 2\pi R_w L$ – площадь поверхности стенки реактора, м²; $m_{ПГС} = V_p \sum M_i C_i^V$ – масса ПГС в объеме реакторе, кг; $c_{p, ПГС} = \sum c_{p, i} M_i V_p C_i^V / m_{ПГС}$ – теплоемкость ПГС, Дж/(кг·К); $c_{p, i} = c_{p, i}(T_{ПГС})$ – теплоемкость компонент ПГС, Дж/(кг·К); $P_c^{ПГС} = S_{ST} k_c (T_s - T_{ПГС})$ – мощность теплового потока в процессе конвективного теплообмена, Вт; $P_r = S_s \sigma_{sb} \varepsilon (T_s^4 - T_w^4)$ – мощность потока теплового излучения от кремниевого стрержня, Вт; $^{BX}P_j = c_{p, j} M_j ^{BX} Q_j P / R_q$ – мощность тепловых потоков при вводе компонентами ПГС ($j = \text{ТХС}, H_2$) в реактор, Вт; $^{ВЫХ}P_{ПГС} = ^{ВЫХ}Q_{ПГС} m_{ПГС} c_{p, ПГС} T_{ПГС} / V_p$ – мощность теплового потока отходящей из реактора ПГС; $P_c^W = S_w k_c (T_{ПГС} - T_w)$ – мощность теплового потока от ПГС к стенке реактора, Вт; k_c – коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м²·К); ε – степень черноты кремния; σ_{sb} – постоянная Стефана–Больцмана, Вт/(м²·К⁴).

Коэффициент конвекции k_c определялся по следующему известному выражению [8]: $k_c = \lambda_{H_2} \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,43} / L$, где L – длина стрержня, м; λ_{H_2} – теплопроводность H_2 , Вт/(К·м); Re , Pr – числа Рейнольдса и Прандтля рассчитанные для H_2 при температуре ПГС. Функциональная зависимость скорость потока ПГС используемая для расчета числа Рейнольдса подбиралась экспериментально с целью минимизации невязки экспериментальных и расчетных данных по температуре поверхности стержня. Условно поделив стержень на n цилиндрических зон, рассчитывалась величина электрического сопротивления стержня R :

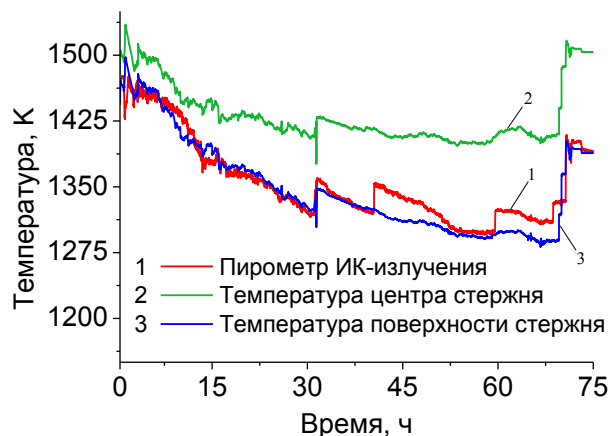
$$R = \left(\sum_{j=1}^n \left(\sigma_{Si}^{-1}(T_j) \cdot \left[L / \pi (r_j^2 - r_{j-1}^2) \right] \right)_j^{-1} \right)^{-1} \quad (7)$$

Разработанная математическая модель была реализована в пакете Matlab/Simulink. Для решения дифференциальных уравнений (1) – (5) использовался встроенный решатель «ode15s», для уравнения (6) – «prdere». Ниже, на рис. 1 представлена динамика изменения электрического сопротивления кремниевых стержней и температуры их поверхности в сравнении с данными производственной кампании.

Расхождение результатов моделирования с экспериментальными данными в интервале времени 30 – 75 часов возможно объясняется смещением оси пирометра.



а)



б)

Рис. 1. Динамика изменения: а – электросопротивление стержня, б – температура стержня в процессе осаждения кремния.

Таким образом, разработана математическая модель Siemens-реактора как объекта управления, описывающая динамические связи между основными входными переменными: расход хлорсилана, водорода, ток стержней и выходными переменными: температура поверхности и диаметр стержней, компонентный состав парогазовой смеси. Модель позволяет рассчитывать радиальное распределение температуры стержней в динамике, что будет полезным при компьютерных испытаниях системы управления реактором. Сравнение модельных значений электросопротивления и температуры поверхности стержней с экспериментальными данными позволяет сделать вывод об адекватности разработанной модели. Отсутствие пилообразного изменения выходных переменных по сравнению с ранее разработанной моделью позволит выполнить качественный синтез системы автоматического управления Siemens-реактором.

Список литературы:

1. Фалькевич Э.С., Пульнер Э.О., Червоний И.Ф. и др. Технология полупроводникового кремния. – М.: Металлургия, 1992. – 408 с.
2. Елютин А.В. и др. Тепловая модель реактора для получения поликремния водородным восстановлением SiHCl_3 . – Материалы электронной техники. №3, 2006.
3. Бровин Д.С., Ловцюс А.А., Колгатин С.Н. Одномерный подход к моделированию Siemens-процесса – Материалы электронной техники, №4, 2007.
4. G. del Coso, I. Tobiras, C. Canizo, A. Luque. Temperature homogeneity of polysilicon rods in a Siemens reactor. / Journal of Crystal Growth 299 (2007) 165–170.
5. Погорелов В.Н., Синельников В.П., Стопкевич В.В. и др. Оптимизация процесса получения поликристаллического кремния методом водородного восстановления трихлорсилана в замкнутом технологическом контуре – Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия, №3, 1999.
6. Стопкевич В.В., Погорелов В.Н. Исследование оптимальных режимов процесса водородного восстановления кремния – Цветные металлы, №12, 2007.
7. Горюнов А.Г., Козин К.А., Ливенцов С.Н. и др. Математическая модель Siemens-реактора как объекта управления // Цветные металлы. – 2009. – № 7. – С. 69–77.
8. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача – 3-е, изд., испр. и доп. – М.: изд. «Энергия», 1975. – 488 с.

М. Ю. Губин, И. А. Заикин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Институт кибернетики, кафедра оптимизации систем управления
Россия, г. Томск
i@tpu.ru

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В работе представлены результаты разработки многопользовательской системы поддержки онтологических моделей. Система основана на существующих инструментах управления версиями исходного кода, управления проектами и отслеживания ошибок. Система также содержит инструменты сравнения онтологий, слияния изменений нескольких пользователей, модуль индексирования и модуль поиска.

Ключевые слова: онтология, версия, сравнение, слияние.

Онтологией в информатике называют формальное представление знаний в виде набора понятий предметной области и отношений между ними. Онтологии используются для управления разнородной распределённой информацией в различных областях науки и техники. Стремительное развитие онтологий вызвало проблему их поддержки. Теперь онтологическое моделирование выполняется не в одиночку, а группами специалистов, а знания представляются не в виде отдельных онтологий, а в виде онтологических моделей, состоящих из связанных между собой онтологий – модулей.

Целью данной работы является разработка системы поддержки онтологических моделей с использованием существующих инструментов управления проектами, отслеживания ошибок и управления версиями исходного кода, а также собственных алгоритмов и инструментов, учитывающих следующие особенности онтологий: формат хранения онтологии не влияет на модель; порядок следования утверждений не играет роли; разные редакторы онтологий могут генерировать разные представления одной и той же онтологии даже при использовании одного формата.

В задачи, решаемые системой, входит сравнение двух вариантов онтологии; автоматическое аннотирование изменений; слияние изменений, внесённых в одну онтологию разными пользователями; сохранение истории изменений онтологической модели; поиск в истории; индексирование изменений для быстрого поиска.

Под онтологической моделью в данной работе понимается конечное неупорядоченное множество онтологий. Онтология – конечное неупорядоченное множество $\{R, S\}$, где R – множество URI элементов онтологии, обозначающих классы, свойства, индивиды, типы данных и идентификаторы онтологии; S – множество утверждений, описывающих формат онтологии, префиксы пространств имён, импорты, идентификатор онтологии, идентификатор версии, логическую составляющую онтологии (аксиомы). Следует заметить, что в онтологии могут присутствовать только те элементы, которые связаны с утверждениями. Таким образом, удаление элемента из онтологии невозможно без удаления всех ссылающихся на него утверждений. Сигатурой $\sigma(s)$ множества утверждений s будем называть конечное неупорядоченное множество всех URI элементов онтологии, упоминаемых в утверждениях s .

Пусть v_1 – исходная версия онтологии, v_2 – изменённая версия онтологии. Набором изменений между v_1 и v_2 будем называть упорядоченную пару (s_r, s_a) , где $s_r = v_1 \setminus v_2$ – множество утверждений, удалённых из онтологии; $s_a = v_2 \setminus v_1$ – множество утверждений, добавленных в

онтологию. Функцию $\delta(v_1, v_2)$, вычисляющую набор изменений между v_1 и v_2 , будем называть функцией сравнения. Функцию ε , применяющую изменения (s_r, s_a) к v_1 , так что $\varepsilon(v_1, (s_r, s_a)) = v_2$, будем называть функцией применения изменений.

При модификации исходной версии v_1 другим пользователем, получается третья версия онтологии – v_3 . Из изменений, внесённых обоими пользователями $C = \delta(v_1, v_2) \cup \delta(v_1, v_3)$, можно выделить совпадающие изменения $C_m = \delta(v_1, v_2) \cap \delta(v_1, v_3)$, конфликтующие изменения

$$C_c = \left\{ s \in \delta(v_1, v_2) \mid \exists r \in \sigma(s), r \in \sigma(\delta(v_1, v_3)) \right\} \tag{1}$$

и остальные изменения $C_o = (C \setminus C_m) \setminus C_c$.

В процессе слияния совпадающие изменения применяются автоматически без предупреждений; при применении неконфликтующих изменений требуется подтверждение пользователя, а конфликтующие изменения должны быть разрешены вручную. В случае отсутствия конфликтующих изменений, итоговый вариант онтологии можно найти по формуле $\varepsilon(v_1, \delta(v_2, v_3))$.

На рис. 1 приведена архитектура системы.

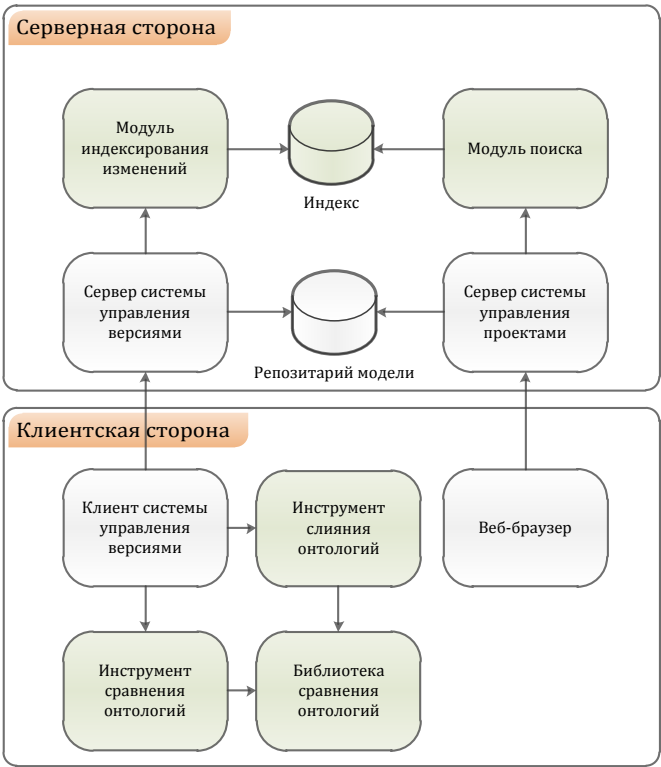


Рис. 1. Архитектура системы.

Основным назначением *инструмента сравнения онтологий* является нахождение изменений $\delta(v_1, v_2)$ между двумя версиями v_1 и v_2 . Результаты сравнения могут быть сохранены в файл. Для изменений может быть составлена аннотация – их краткое текстовое описание. Оно может содержать следующие сведения: идентификаторы добавленных, удалённых и изменённых элементов онтологии; общее количество добавленных и удалённых утверждений; изменения формата, идентификатора онтологии или идентификатора версии.

Пример аннотации результата сравнения двух онтологий:

Statements removed: 2.
 Statements added: 4.
 New individuals: Russia.

Modified classes: InterestingPizza, Pizza, owl:Thing, VegetarianPizza, FishTopping, Country, MeatTopping.

Modified object properties: hasTopping.

На вход *инструмента слияния* изменений поступают три файла: исходный файл; файл, модифицированный одним пользователем; файл, модифицированный другим пользователем. Инструмент слияния изменений находит изменения, внесённые обоими пользователями, выполняет поиск конфликтов по формуле (1) и позволяет пользователю, выполняющему слияние, разрешить конфликты, выбрав изменения, которые следует вносить в итоговую версию (рис. 2). В верхнем поле отображаются совпадающие изменения; в левом – изменения, внесённые первым пользователем; в правом – изменения, внесённые вторым пользователем; в нижнем – результирующие изменения. Следует отметить, что не всегда изменения могут быть разрешены с помощью инструмента слияния изменений: иногда требуется редактирование онтологии в редакторе.

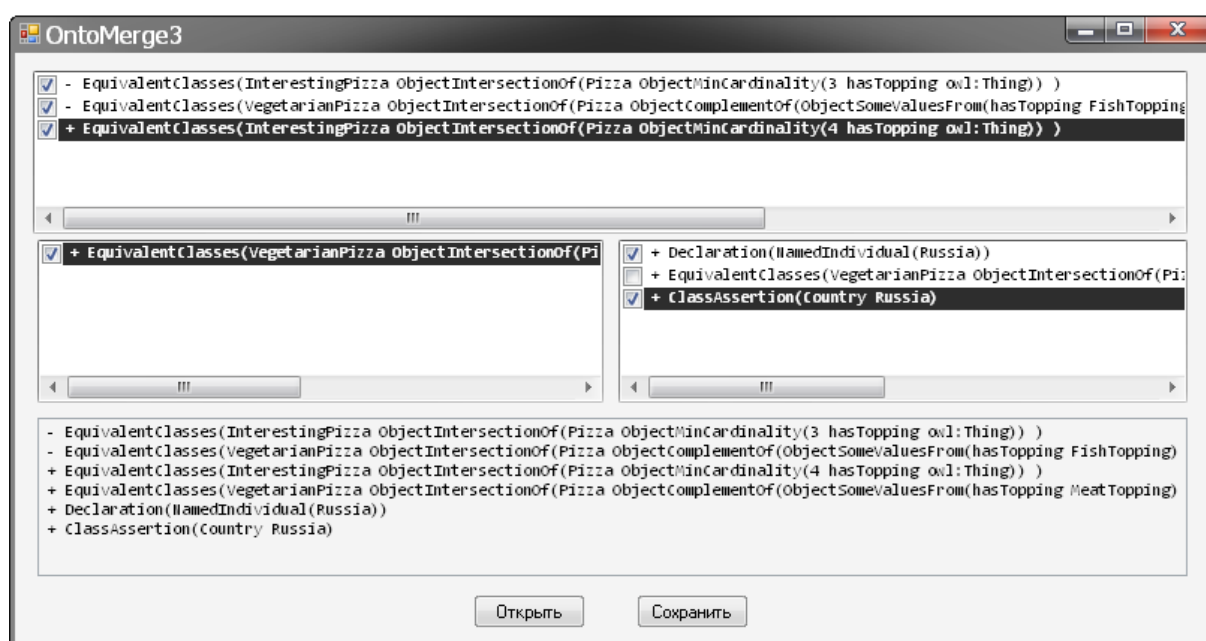


Рис. 2. Интерфейс инструмента слияния изменений.

Инструмент сравнения онтологий и инструмент слияния изменений реализованы как клиентское расширение для систем управления версиями исходного кода (Git, Mercurial, Bazaar, Subversion) с использованием библиотеки OWL API [2], построенной в соответствии со структурной спецификацией OWL 2 [3].

Модуль индексирования изменений создаёт индекс модели. Запуск индексирования возможен при каждом изменении модели или по расписанию. Индекс ставит в соответствие каждому элементу онтологии список файлов, в которых он встречается, и действие, которые было с ним выполнено в этом файле (добавлен/удалён/изменён). Ниже приведён пример индекса, составленного для изменений, показанных на рис. 2.

```
[
  [
    'Country': [ { file: 'Ontologies\pizza.owl', state: '+' } ],
    'owl:Thing': [ { file: 'Ontologies\pizza.owl', state: 'M' } ],
    'InterestingPizza': [ { file: 'Ontologies\pizza.owl', state: 'M' } ],
    'Pizza': [ { file: 'Ontologies\pizza.owl', state: 'M' } ],
    'VegetarianPizza': [ { file: 'Ontologies\pizza.owl', state: 'M' } ],
    'FishTopping': [ { file: 'Ontologies\pizza.owl', state: 'M' } ],
```

```

'MeatTopping': [ { file: 'Ontologies\pizza.owl', state: 'M' } ],
],
[
'hasTopping': [ { file: 'Ontologies\pizza.owl', state: 'M' } ],
],
[
'Russia': [ { file: 'Ontologies\pizza.owl', state: '+' } ],
]
]

```

Модуль индексирования реализован на языке Python как серверное расширение системы управления версиями исходного кода с использованием библиотеки rdflib [4].

Модуль поиска позволяет ответить на следующие вопросы: В какой версии было введён новый элемент онтологии (понятие, свойство или индивид)? В какой версии был удалён тот или иной элемент онтологии? В каких версиях были внесены изменения, связанные с данным элементом? Когда и кем были внесены изменения в данную онтологию? Для ответов на эти вопросы модуль поиска использует индекс, составленный модулем индексирования, а также информацию, предоставляемую системой управления версиями исходного кода. Модуль поиска реализован на языке Python как расширение системы управления проектами и отслеживания ошибок Trac [5]. На рис. 3 приведён интерфейс поиска элемента онтологии в истории изменений.

Вы вошли как Ivan
[Выйти](#)
[Предпочтения](#)
[Справка/Руководство](#)
[О Trac](#)
[RPC API](#)

Home

Wiki

Tickets

Code

[Посмотреть последнюю ревизию](#)
[Restore Form](#)

Поиск элемента

Country

Найти

Добавлено

Изменено

Скопировано или переименовано

Просмотр изменений

Diff		Ревизия	Связанные изменения	Давность	Автор	Сообщение журнала
		r0	New class Country Показать утверждения	2 месяца	Ivan	Initial import
		r1	Modified class Country + ClassAssertion(Country Russia) + EquivalentClasses(Country ObjectIntersectionOf(DomainConcept ObjectOneOf(America England France Germany Italy Russia)))	2 месяца	Ivan	Добавлена страна Россия



Работает на **Trac 0.12.2**

От **Edgewall Software**.

Рис. 3. Интерфейс поиска элемента онтологии.

Алгоритм сравнения онтологий был проверен на файлах размером порядка двухсот мегабайт (NCI Thesaurus [1]). На выполнение такого сравнения на компьютере с процессором 1,5 ГГц и оперативной памятью 3 Гб требуется 29 секунд.

Список литературы:

1. Directory listing of /evs/ftp1/NCI_Thesaurus. 2011. URL: http://evs.nci.nih.gov/ftp1/NCI_Thesaurus (дата обращения: 05.06.2011).
2. *Horridge M., Bechhofer S.* The OWL API: A Java API for Working with OWL 2 Ontologies // OWL Experiences and Directions: Procs. 6th Intern. Workshop. – Chantilly, 2009. – V. 529. P. 53–62.
3. *Motik B., Patel P.F., Parsia B.* OWL 2 Web Ontology Language structural specification and functional style syntax // World Wide Web Consortium. 2009. URL: <http://www.w3.org/TR/owl2-syntax/> (дата обращения: 05.03.2011).
4. rdflib – A Python library for working with RDF // Google Code. 2011. URL: <http://www.rdflib.net/> (дата обращения: 14.06.2011).
5. The Trac Project. 2011. URL: <http://trac.edgewall.org/> (дата обращения: 14.06.2011).

И. П. Дешко к.т.н., К. Г. Кряженков

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики
(технический университет)

Россия, г. Москва
dip@mirea.ru, konstantin@mirea.ru

МАСШТАБИРУЕМОСТЬ ДИНАМИЧЕСКИХ КОНФИГУРАЦИЙ В УЧЕБНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСАХ С УДАЛЕННЫМ ДОСТУПОМ

Рассматриваются вопросы масштабируемости динамических конфигураций в учебных инфокоммуникационных комплексах с дистанционным доступом. Сформулированы ограничения и математическая модель, позволяющая определить взаимосвязь между топологиями станций, числом и типом устройств, входящих в инфокоммуникационный комплекс. Приведены оценочные результаты для удаленного лабораторного практикума по программе CCNA.

Ключевые слова: удаленный практикум на инфокоммуникационном оборудовании, динамическое формирование сетевой топологии, масштабируемость динамических станций, коэффициент использования оборудования.

В сфере дистанционного обучения по информационно-коммуникационным технологиям существенное место принадлежит практикуму на реальном оборудовании. Как правило, он организуется на базе специализированных программно-аппаратных комплексов, предоставляющих пользователю доступ к учебным станциям посредством WEB-интерфейса [1]. Однако топология таких станций, определяемая схемой сетевой связности между устройствами, является фиксированной и предопределенной задачами конкретного учебного или исследовательского практикума. Для ее изменения требуется ручная перекоммутация физических линий в станции, что ограничивает возможности удаленного пользователя.

В [2] была предложена структура системы удаленного доступа к учебным телекоммуникационным комплексам с динамическим формированием сетевой связности на уровне LAN, образованным коммутируемым Ethernet 10/100/1000 Мб/с на витопарных или волоконно-оптических линиях. Для этого использованы технологии двойного тэгирования и туннелирования протоколов канального уровня, реализуемые устройством кросс-коммутации (УКК), взаимодействующего со специализированным программным модулем. При этом в качестве УКК можно применить управляемый Ethernet коммутатор, операционная система которого поддерживает технологии IEEE 802.1Q, IEEE 802.1QinQ и Layer 2 Tunneling.

Динамическое формирование сетевых топологий предоставляет принципиально новые возможности для масштабируемости и оптимизации использования ресурсов инфокоммуникационных комплексов (ИКК). Они заключаются в максимизации числа одновременно используемых устройств ИКК или станций на их основе, а также в обосновании планов развития, обеспечивающих повышение этих параметров. Другая возможность заключается в определении максимального числа одновременно используемых станций с заданными топологиями и составом входящих в них устройств.

Для оценки масштабируемости прежде всего зафиксируем систему ограничений на число подключаемых к УКК устройств:

ограничение, обусловленное предложенным принципом действия УКК. По IEEE802.1QinQ максимальное число виртуальных локальных сетей (VLAN) с двойным

тэгированием составляет 4094. Учитывая, что для «виртуального кабеля», соединяющего каждые два порта УКК, требуется один тэг, получим, что максимальное число устройств составит 8188;

ограничение, обусловленное числом портов $N_{\text{УКК}}$ на коммутаторе или стеке коммутаторов, используемых в качестве УКК. Оно определяется конкретными моделями коммутаторов;

ограничение, обусловленное имеющимся на данный момент составом устройств в ИКК (коммутаторы, маршрутизаторы, хосты, точки доступа, виртуальные хосты и т.д.).

Сформулируем следующую математическую модель. Множество D всех устройств ИКК представим в виде N непересекающихся подмножеств $D_1, D_2, \dots, D_N$ мощности которых $d_1, d_2, \dots, d_N$ представляют собой количество соответствующих устройств (коммутаторы, маршрутизаторы, хосты, точки доступа и т.д.). Каждое подмножество D_i ($i=1, \dots, N$) образуют одинаковые по функционалу устройства, отличающиеся, возможно, числом портов. Мощность D множества D есть число всех устройств, образующих ТК

$$D = \sum_{i=1}^N d_i$$

Каждое подмножество D_i представим в виде

$$D_i = \{(\delta_{i1}, p_{i1}), (\delta_{i2}, p_{i2}), \dots, (\delta_{id_i}, p_{id_i})\}$$

где

$n_i=1, 2, \dots, d_i$ – порядковый номер устройства в подмножестве D_i ;

$\delta_{in_i} = \{1, 0\}$ – булева переменная, обозначающая наличие устройства с номером n_i в

подмножестве D_i ;

p_{in_i} – число LAN портов устройства с номером n_i .

Общее число P_i LAN портов устройств подмножества D_i составит

$$P_i = \sum_{n_i=1}^{d_i} (p_{in_i} \cdot \delta_{in_i})$$

а общее число P LAN портов всех устройств во всех подмножествах

$$P = \sum_{i=1}^N P_i$$

Число всех устройств ИКК

$$D = \sum_{i=1}^N \sum_{n_i=1}^{d_i} \delta_{in_i}$$

Условие физической реализуемости, т.е. возможности подключения LAN портов всех устройств к УКК имеет вид

$$N_{\text{УКК}} \geq P \quad (1)$$

Оценим масштабируемость исследуемого решения. Верхнюю оценку числа реализуемых стендов $|\bar{S}|$ с различными топологиями можно получить, если считать, что каждое устройство подключено к УКК только одним LAN портом. В этом случае имеем сумму сочетаний без повторений

$$|\bar{S}| = \sum_{n=1}^{N_{\text{УКК}}} \frac{N_{\text{УКК}}!}{n!(N_{\text{УКК}} - n)!}$$

Т.е. если УКК имеет 12 портов ($N_{\text{УКК}}=12$), то $|\bar{S}|_{12} = 4095$.

Пусть на множестве D нужно реализовать множество стендов S мощностью K . Поскольку все стенды изолированы друг от друга, это множество можно представить в виде K непересекающихся подмножеств $S_1, S_2, \dots, S_K$ мощности которых $s_1, s_2, \dots, s_K$ представляют

собой число соответствующих стендов. Каждое подмножество образуют стенды с одинаковой топологией и составом оборудования. Тогда K будет представлять собой число различных топологий, а мощности $s_1, s_2, \dots, s_K$ – суть число стендов для каждой топологии.

Множеству S всех стендов может быть поставлена в соответствие прямоугольная матрица A размерностью $K \times N$

$$A = \{a_{ij}\} \quad 0 \leq a_{ij} \leq d_i \quad i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, K$$

где a_{ij} – число устройств типа i в стенде типа j

Поскольку множество D является конечным, то можно записать следующую систему ограничений

$$As \leq d \quad (2)$$

где

$s = \{s_1, s_2, \dots, s_K\}$ – вектор-столбец мощностей подмножеств $S_1, S_2, \dots, S_K$;

$d = \{d_1, d_2, \dots, d_N\}$ – вектор-столбец мощностей подмножеств $D_1, D_2, \dots, D_N$.

Задача нахождения числа и типа устройств в ИКК, необходимого для одновременной реализации желаемого набора стендов, может быть сформулирована различными способами. Например:

1. Найти мощности $d_1, d_2, \dots, d_N$ позволяющие одновременно реализовать все подмножества стендов с мощностями $s_1, s_2, \dots, s_K$. Для этого случая имеем

$$d_i \geq \sum_{j=1}^K a_{ij} \cdot s_j \quad (3)$$

Данный случай является предельным, дающим верхнюю оценку максимального числа устройств в ИКК. Его реализация может оказаться неприемлемой по стоимостным критериям.

2. Найти мощности $d_1, d_2, \dots, d_N$ при которых достигается максимизация числа одновременно реализуемых стендов с заданными топологиями. В этом случае наряду с (2) должны выполняться условия

$$\sum_{j=1}^K s_j \rightarrow \max, \quad s_j \geq 0 \quad (4)$$

3. Найти мощности $d_1, d_2, \dots, d_N$ при которых достигается максимизация числа одновременно реализуемых стендов при условии, что каждый j -й стенд реализуется как минимум J_j раз. В этом случае наряду с (2) должны выполняться условия

$$\sum_{j=1}^K s_j \rightarrow \max, \quad s_j \geq J_j \quad (5)$$

При $J_j=1$ для $j=1, 2, \dots, K$ в каждый момент времени будет реализовано по одному экземпляру каждого стенда, т.е. условие (5) является частным случаем условия (3)

4. Найти мощности $d_1, d_2, \dots, d_N$ при которых достигается максимизация числа одновременно используемых устройств ИКК

$$\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^N a_{ij} \cdot s_j \rightarrow \max, \quad s_j \geq 0 \quad (6)$$

Система (2) вместе с целевыми функциями (3-6) образуют задачу целочисленного линейного программирования. В ней матрица A содержит всю информацию о топологии стендов на уровне LAN, используемых для конкретной образовательной программы, а вектор-столбец d – состав оборудования, входящего в ИКК.

Решая эту задачу, можно исследовать влияние числа устройств каждого типа на количество одновременно реализуемых стендов. Тем самым становится возможным определить план развития ИКК в зависимости от поставленных приоритетов.

В качестве примера рассмотрим программу CCNA, реализуемую в академической инициативе Cisco Networking Academy [3]. Всего в ней изучается 28 различных сетевых топологий, для чего последовательно формируются соответствующие стенды.

Рекомендуемый состав оборудования, образующий учебный ИКК для данной программы, включает в себя 3 маршрутизатора ($d_1=3$), 3 коммутатора ($d_2=3$), 6 хостов ($d_3=6$) и 2 беспроводных точек доступа ($d_4=2$), т.е. всего 14 устройств.

В соответствии с оценкой (5) одновременная реализация всех стендов в одном экземпляре требует наличия в ИКК 195 устройств, что экономически довольно затруднительно.

Используя сформулированную выше математическую модель, проведем исследование с целью определения влияния числа устройств различного типа (мощности $d_1, d_2, \dots, d_4$) на количество и состав одновременно реализуемых стендов (мощности $s_1, s_2, \dots, s_{28}$). Примем трехкратный диапазон увеличения числа устройств каждого типа относительно рекомендуемого состава, т.е. общее число устройств вырастает с 14 до 42.

Целевая функция и система ограничений имеет вид

$$\sum_{j=1}^K s_j \rightarrow \max \quad (7)$$

$$s_j \geq 0, A s \leq d$$

Анализ зависимостей, полученных при решении (7), позволяет сделать следующие выводы.

1. Степень влияния на целевую функцию числа устройств существенно зависит от их типа. В принятом диапазоне варьирования оно отсутствует для беспроводных точек доступа, имеет ступенчатый характер относительно маршрутизаторов и коммутаторов и выраженный экстремум для числа хостов.

2. Рекомендуемый состав оборудования позволяет одновременно реализовать 6 стендов с двумя топологиями, всего будет задействовано 12 устройств из 14, а коэффициент использования оборудования составит 85,71%.

3. Увеличение числа маршрутизаторов с 3 до 5 не приводит к увеличению числа одновременно реализуемых стендов. При числе маршрутизаторов равном 5 наблюдается лишь изменение состава стендов, а коэффициент использования оборудования составляет 81,25%.

4. При числе маршрутизаторов равном 6 возможно одновременно реализовать 7 стендов и довести коэффициент использования до 88,24%. Дальнейшее увеличение этих параметров имеет место лишь при числе маршрутизаторов, равном 9 – число стендов составит 8, а коэффициент использования – 90%.

5. В диапазоне изменения числа коммутаторов от 3 до 5 число стендов равно 6 и реализуются две различных топологии. Максимальный коэффициент использования составляет 85,71%.

6. При числе коммутаторов равным 6 удается реализовать 7 стендов с двумя топологиями и коэффициентом использования 88,24%. Дальнейшее увеличение числа коммутаторов не приводит ни к увеличению числа стендов, ни к изменению состава топологий.

7. В диапазоне изменения числа хостов наблюдается экстремум при их числе равном 7. Здесь возможно сформировать 7 стендов с двумя топологиями и добиться 100% коэффициента использования оборудования.

Поскольку стоимость устройств различного типа может существенно (в разы) отличаться, то приведенные результаты могут служить основой для выбора экономически обоснованных планов развития учебного ИКК по программе CCNA. Подобным образом можно исследовать масштабируемость лабораторных стендов с сетевым оборудованием по практикуму других программ, реализуемому в дистанционном режиме.

Список литературы:

1. Дешко И.П. Системы удаленного доступа к учебным телекоммуникационным комплексам // Новые информационные технологии и менеджмент качества (NIT&QM'2010). Материалы международной научной конференции/ Редкол.: А.Н. Тихонов (пред.) и др.; ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика».- М.: ООО «Арт-Флэш», 2010 - С.58-60.
2. Кряженков К.Г. Динамическое формирование сетевых топологий в учебных телекоммуникационных комплексах // Новые информационные технологии и менеджмент качества (NIT&QM'2010). Материалы международной научной конференции/ Редкол.: А.Н. Тихонов (пред.) и др.; ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика».- М.: ООО «Арт-Флэш», 2010 - С.61-62.
3. CCNA Curricula Overview [Электронный ресурс]: Электрон. текстовая документация / Cisco Systems Inc., – Электрон. дан. – США, 2010 – Режим доступа: http://www.cisco.com/web/learning/netacad/course_catalog/newCCNA.html, свободный. – Загл. с экрана. — Яз. англ

О. С. Долгов к.т.н., М. А. Лякишев, Е. В. Шорина

Московский Авиационный Институт
(Государственный Технический Университет)
Россия, г. Москва
artofweb@yandex.ru, eka-shorina@yandex.ru

ФОРМИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ МОМЕНТНО-ИНЕРЦИОННОГО ОБЛИКА САМОЛЕТА НА РАННИХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В данной работе рассмотрен вопрос разработки алгоритмов автоматизации формирования моментно-инерционного облика перспективных типов летательных аппаратов на ранних этапах проектирования, с последующим созданием на основе данных алгоритмов специализированного программного комплекса. Разработка алгоритмов базируется на созданных моментно-инерционных моделях, позволяющих определить моментно-инерционные характеристики на ранних этапах проектирования с достаточной точностью.

Ключевые слова: моменты инерции, компоновка, программный комплекс, моментно-инерционные модели, алгоритм, автоматизация.

Введение

Определение моментно-инерционных характеристик самолета – сложный многоитерационный процесс, требующий значительных ресурсов времени на сбор необходимых данных, проведение исследований и анализ результатов. Поэтому ранее, как правило, сходимость результатов определялась либо гением конструктора, либо длительным итерационным процессом доводки, который приводил к положительным результатам как правило только на этапе летных испытаний.

С целью уменьшения времени на разработку, снижения стоимости и повышения качества проектно-конструкторских работ на этапе согласования облика системы управления с моментно-инерционной компоновкой самолета авторы данной работы ведут в настоящий момент разработку программного комплекса «М.И.Ф.» (Моментно-Инерционный Фактор).

В задачи данного программного продукта входит: выявление моментно-инерционного облика (собственные и переносные осевые моменты инерции, плоскостные моменты инерции для различных агрегатов ЛА, моменты инерции для всего самолета в целом), для различных типов ЛА (гражданских, грузовых, военных, спортивных) на ранних этапах проектирования, в систему заложены модели которые в зависимости от полноты представленных данных обеспечивают расчет с различными точности (до 20%, до 10% и до 5%).

1. Моментно-инерционные модели

Определение моментов инерции даже для существующих современных самолетов в большинстве случаев приходится выполнять расчетным путем (рис. 1.). Экспериментальный метод, не только очень громоздок, но и зачастую не осуществим из-за большой размерности самолетов.

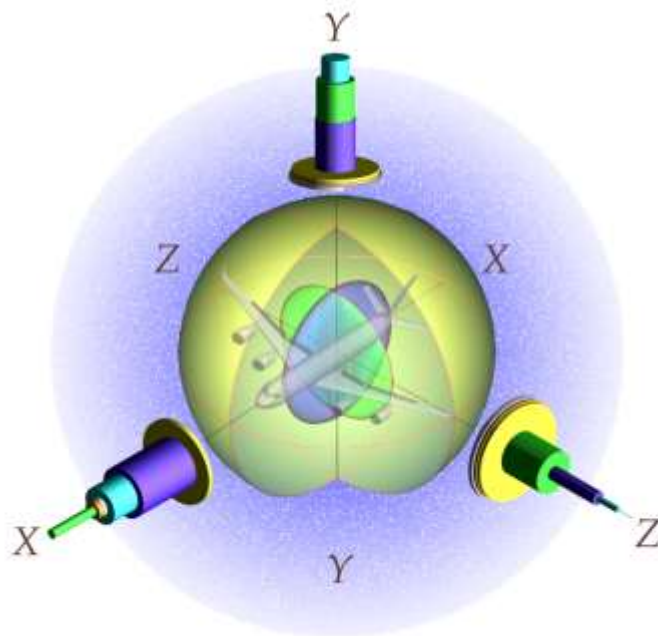


Рис. 1- Моментно-инерционная модель

2. Моментно-инерционные модели, на основе расчетных коэффициентов распределения массы

Проведенный анализ существующих методик [3], а также существующих формул [1],[2],[3] для определения моментов инерции самолетов показывает, что они либо совсем, либо частично не учитывают особенностей компоновки самолета.

Рассмотрев магистральные самолеты нормальной аэродинамической схемы, с учетом сложившихся диапазонов расположения агрегатов имеющих наибольшее влияние на моменты инерции самолета: агрегатов конструкции планера, топлива, двигателей, целевой нагрузки, снаряжения, предлагается проводить расчет моментов инерции самолета, в первом приближении по следующей формуле (пример для оси ОХ):

$$I_{xo} = \left(0,331 \left(\frac{m_o}{m_{n.cn}} - 1 \right) + 0,453 \frac{m_{m.kp.}}{m_{n.cn}} \bar{i}_m^2 + 0,64 \sum \frac{m_{dv}}{m_{n.cn}} \bar{i}_{dv}^2 \right)^2 \frac{L^2 m_o}{12}$$

где:

m_o - взлетная масса самолета;

$m_{n.cn}$ - масса пустого снаряженного самолета;

m_{dv} - масса двигателя;

$m_{m.kp.}$ - масса топлива расположенного в крыле;

L - размах крыла;

$\bar{i}_m$ - относительный радиус инерции топлива в крыле;

$\bar{i}_{dv}$ - относительные радиусы инерции двигателей.

По результатам проведенных исследований было выявлено, что для разных законов распределения массы характерны различные диапазоны значений, что в итоге дает достаточно большой разброс моментов инерции. Это приводит к снижению точности вычислений. Однако на этапах предварительного проектирования, в условиях большой степени неопределенности, точность определения моментов инерции в пределах $\pm 5\%$, в рамках решаемой задачи, позволяют принять решение, это связано с тем, что альтернативные варианты моментно-инерционной компоновки могут отличаться от базового варианта в 1.5 – 2.0 раза.

Первый предлагаемый пользователю вариант определения моментно-инерционного облика – расчет осевых моментов инерции самолета по эмпирических формулам, учитывающим массовые и габаритные характеристики данного типа ЛА (взлетный вес, вес конструкции, топлива, а так же, размах крыла и длину фюзеляжа). Этот вид расчета позволяет определить моментно-инерционные характеристики выбранного типа самолета с точностью до 20%. Далее – пользователю предлагается уточнить полученные результаты в окнах расчета осевых моментов инерции агрегатов ЛА, и их позиционирования в компоновочном пространстве (Рис.3). После определения моментно-инерционных характеристик агрегатов ЛА точность результатов повышается до 10%.

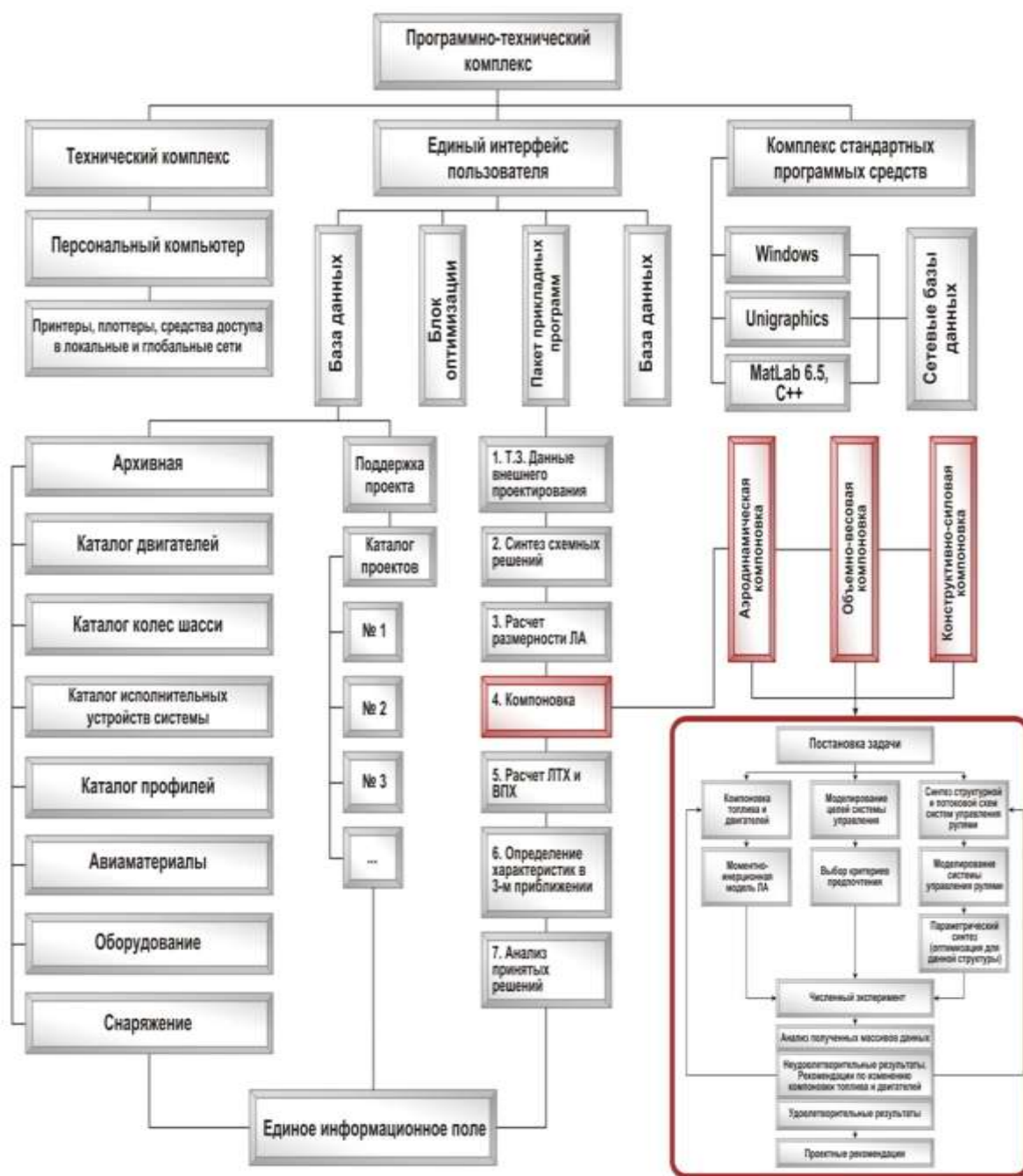


Рис. 2- Место и состав задач в системе автоматизированного проектирования.

Задача повышения точности моментно-инерционных показателей до 5% решается в подпрограмме, определяющей плоскостные моменты инерции каждого агрегата и использующую формально-эвристические модели всех систем.

Программный комплекс «М.И.Ф.» создается в среде Delphi, что обеспечивает его модульность и возможность как присоединять к себе различные приложения, так и входить в состав более крупных комплексов.

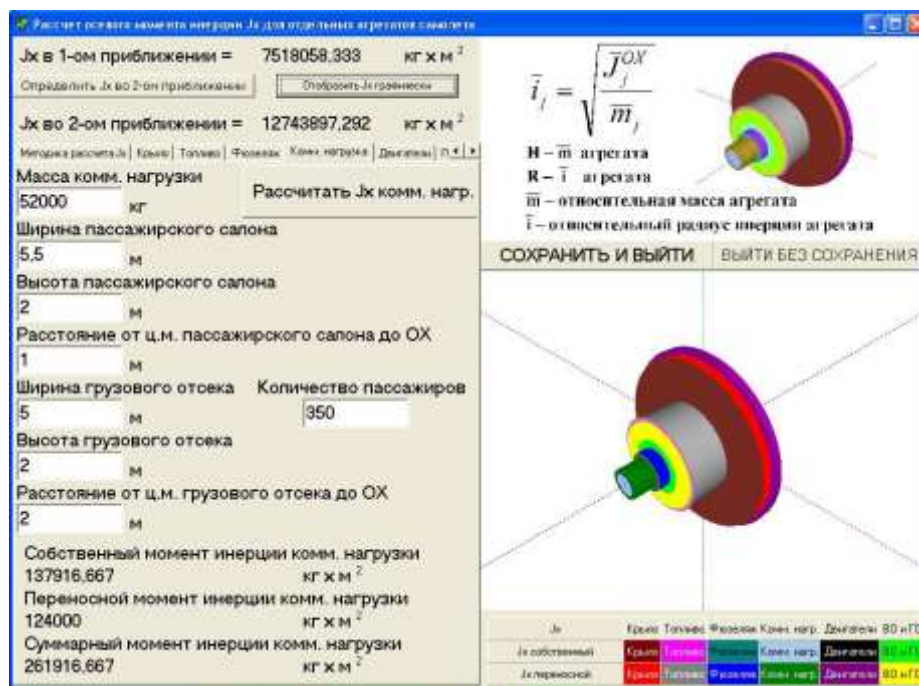


Рис. 3- Определение моментно-инерционных характеристик с точностью до 10%.

В процессе создания данного программного комплекса:

- выявлены типы летательных аппаратов, для которых является актуальным анализ моментно-инерционного облика: самолеты вертикального взлета и посадки, гидросамолеты, дальнемагистральные самолеты большой пассажировместимости;
- произведен анализ геометрической компоновки зон расположения двигателей, топлива и коммерческой нагрузки;
- разработан итерационный ряд методик определения моментов инерции всего самолета и отдельных агрегатов с диапазонами точности 20%, 10%, 5%;
- сформирован набор алгоритмов для определения моментно-инерционных характеристик дальнемагистральных самолетов большой пассажировместимости на базе разработанного итерационного ряда соответствующих методик.

Применение моделей и алгоритмов использованных в при разработке системы автоматизации «М.И.Ф.» позволит качественно повысить точность определения моментно-инерционных характеристик перспективных самолетов уже на этапе предварительного проектирования, что в дальнейшем обеспечит сокращение затрат на разработку ЛА.

Список литературы:

1. Егер С.М., Лисейцев Н.К., и др. Проектирование самолетов - М.: Машиностроение, 1983г. - 616с. 34
2. Хорафас Д., Легг С. Конструкторские базы данных. - М.: Машиностроение, 1990г. - 224с. 103
3. Шейнин В.М., Козловский В.И. Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. Т. 1,2. - М.: Машиностроение, 1977г. - 208с. 104

О. Н. Долинина к.т.н.

Саратовский государственный технический университет
международный факультет прикладных информационных технологий
кафедра прикладных информационных технологий
Россия, г. Саратов
olga@sstu.ru

О МЕТОДЕ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

В работе описан метод сравнительного влияния параметров для формирования базы знаний на основе модифицированной системы продукций, учитывающих взаимное влияние фактов, на примере экспертной системы неотложной кардиологии KORDEX.

Ключевые слова: экспертная система, продукции, взаимное влияние фактов.

Экспертные системы (ЭС) как разновидность систем искусственного интеллекта сегодня имеют большое значение, позволяя формализовать человеческие знания и использовать их для принятия решения.

Среди используемых форм представления знаний чаще всего используются продукционные системы. Это объясняется их универсальностью, т.е. любая формальная система, оперирующая символами, может быть реализована в виде одной из продукционных систем Поста [1], а также удобством представления знаний.

Продукционная база знаний (ПБЗ) определяется совокупностью:

$$P=(F, R, G, C, I), \quad (1)$$

где F – конечное множество фактов о решаемой проблеме. Каждый факт может быть установленным или не установленным, совокупность установленных фактов задает некоторую ситуацию в предметной области.

R – множество продукций или правил, включающее правила вида

$$r_m: \text{ЕСЛИ } f_i \text{ И } f_j \dots \text{ И } f_n \text{ ТО } f_k, \quad (2)$$

где r_m – имя правила, $r_m \in R$; $f_i, f_j, \dots, f_n$ – условия выполнения правила; f_k – следствие правила, $f_i, f_j, \dots, f_n, f_k \in F$; G – множество целей или терминальных фактов ЭС; I – интерпретатор правил, реализующий процесс вывода. C является множеством разрешенных комбинаций фактов. В множество C не входят, например, комбинации, в которых установлены одновременно какие-либо два факта, взаимно исключающие друг друга. База правил R и множество целей G образуют базу знаний.

Однако, на практике достаточно часто встречаются случаи, когда в чистом виде для формирования базы знаний продукции вида (2) применить не удастся. Примером может служить медицина, в частности в области прогноза развития неотложных состояний в таких областях как кардиология, как наиболее часто встречающихся в практике и определяющих значительные потери трудоспособности и летальность.

Во многих медицинских диагностических алгоритмах связь "признак - болезнь" или "признак - прогноз" не отражает существа дела. Во-первых, наличие одних и тех же симптомов при большом числе заболеваний и большого количества комбинаций различных симптомов при одном заболевании приведет к существенному увеличению числа продукций в ПБЗ.

Во-вторых, признак (симптом) является непосредственным проявлением состояния органа или системы, а не самого заболевания или прогноза его развития. Например, в кардиологии наличие у больного такого признака, как рецидивирующая, плохо поддающаяся

лечению за грудиной боль в покое является проявлением не пессимистического прогноза развития нестабильной стенокардии (НС), а вероятнее всего, наступающего тромбоза коронарной артерии и ишемии миокарда. Более приемлема ассоциация "признак – влияние на синдром - заболевание (прогноз заболевания)", где под синдромом понимается совокупность признаков, характеризующих состояние органа или системы.

Метод сравнительной оценки влияния параметров

Для случаев, когда продукции вида (2) не удастся применить, для формализации знаний предлагается метод сравнительной оценки влияния параметров. Человеческому мышлению свойственно оперировать понятиями, связанными между собой линейными зависимостями. Эту закономерность представляется целесообразным использовать для построения модели предметной области. Кроме того, информация, которой располагает эксперт, всегда избыточна, и в процессе принятия решения он как бы взвешивает все имеющиеся аргументы и определяет силу влияния признака (факта) на развитие синдрома (промежуточного или конечного факта).

Таким образом, предлагается использовать продукции вида

$$r_m: \text{ЕСЛИ } f_i \text{ ТО ВЛИЯЕТ } \text{inf} \text{ НА } f_k, \quad (3)$$

где inf означает силу влияния факта f_i на f_k и принимает значения из лингвистического множества D , которые в свою очередь преобразуются в числовые значения.

$D = \{\text{высокий (сильный), умеренный, низкий (слабый), практически не имеется}\}$. Влияние может быть как отрицательным (уменьшающим возможность возникновения факта f_k), так и положительным (усиливающим возможность возникновения факта f_k).

Хорошо себя зарекомендовала модель знаний, состоящая из трех уровней (входного, промежуточного, выходного). Качественно модель представления знаний (рис. 1) напоминает трехслойный персептрон, где в качестве промежуточного слоя выступают промежуточные факты, образуемые аддитивным влиянием входных фактов или синдрома (в медицине).

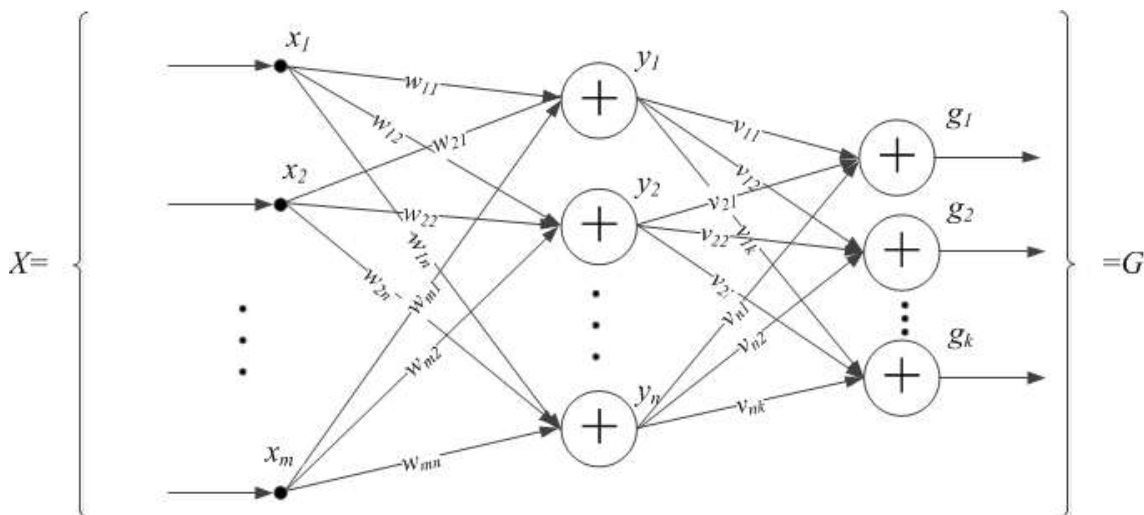


Рис.1 - Структура ПБЗ, сформированной по методу сравнительной оценки влияния параметров.

В структуре ПБЗ, представленной на рис.1 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ - множество входных фактов, $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ - множество промежуточных фактов (синдромов), $G = (g_1, g_2, \dots, g_k)$ - множество конечных целей ЭС.

Математически это означает, что каждый промежуточный и выходной факты определяются как суммы соответствующих весовых коэффициентов(w_{ij}, v_{ij}):

$$y_j = \sum_{i=1}^m w_{ij} ; g_r = \sum_{i=1}^n v_{ir} \tag{4}$$

Если суммарное значение y_j и g_r превысит некоторое предельное значение $l1j, l2j$ соответственно, то вывод можно считать сделанным. Предельные значения также определяются экспертным способом.

Для случая построения ЭС в области неотложной кардиологии в процессе построения ПБЗ эксперт отвечает на вопрос о качественном определении влияния каждого из симптомов заболевания на прогноз его развития: "Какой вклад вносит определенный признак (значение признака, отсутствие признака) в выраженность определенного синдрома?" т.е., должен субъективно (качественно) установить нагрузку признака на фактор. Причем один и тот же признак вносит различные по величине и знаку "вклады" в различные синдромы (промежуточные факты), которые в свою очередь влияют на величину целевых значений. Для удобства рекомендуется при построении базы знаний формировать таблицу. Например, наличие стабильной боли за грудиной при малейшей нагрузке сильно влияет на выраженность стеноза коронарных артерий, практически не влияет на выраженность спазма, слабо влияет на развитие тромбоза, умеренно отрицательно влияет на адаптированность миокарда к ишемии.

Таблица - Пример заполнения матриц весовых коэффициентов для определения влияния входных фактов на промежуточные

.	y_1	y_2	y_i	y_n
x_1	Сильно увеличивает	Умеренно увеличивает	Не влияет	Умеренно увеличивает
x_2	Умеренно уменьшает	Сильно увеличивает	Слабо уменьшает	Сильно увеличивает
...				
x_m	Слабо увеличивает ₁	Не влияет	Сильно уменьшает	Умеренно уменьшает

В общем случае модель знаний может иметь Z уровней, однако, наиболее эффективно метод работает для одного промежуточного слоя. Применение данного метода для формирования продукционной базы знаний экспертных систем позволяет существенно сократить размерность по сравнению с традиционным способом, а также время отладки [2].

Применение метода сравнительной оценки влияния параметров

Метод сравнительной оценки влияния параметров был успешно применен при создании ЭС KORDEX [2], выполняющей прогноз развития нестабильной стенокардии и определяющей риск развития осложнений от проведения антиаритмической терапии, выделено 196 входных фактов, 6 промежуточных фактов (синдромов), определяющих течение нестабильной стенокардии и прогноз риска инфаркта миокарда, а также лечебную тактику (элементы множества G): степень атеросклеротического сужения коронарных артерий, вероятность тромбоза коронарных артерий, адаптация миокарда к ишемии, потребность миокарда в кислороде, склонность коронарных артерий к спазму, скорость нарастания стеноза коронарных артерий.

Качественными примерами продукций, относящихся к области непосредственно прогноза и назначения лечения являются:

r_{150} : ЕСЛИ СПАЗМ КОРОНАРНЫХ СОСУДОВ высокий, ТО это умеренно повышает РИСК РАЗВИТИЯ ИНФАРКТА, сильно повышает НЕОБХОДИМОСТЬ НАЗНАЧЕНИЯ

АНТАГОНИСТОВ КАЛЬЦИЯ, умеренно понижает НЕОБХОДИМОСТЬ НАЗНАЧЕНИЯ В-БЛОКАТОРОВ;

r_{168} : ЕСЛИ АКТИВНОСТЬ СИМПАТО-АДРЕНАЛОВОЙ СИСТЕМЫ высокая, ТО это сильно уменьшает ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРАПИИ.

Описанный подход к формированию продукции в БЗ за счет качественного выделения основных фактов (синдромов), влияющих на течение заболевания и назначение лечения, позволил сократить размерность БЗ до 416 продукции вида (3). В случае построения БЗ KORDEX в виде классической продукционной системы вида (2) количество правил составило 4600 [2].

Метод также был применен для построения базы знаний экспертной системы InfoSafety для прогнозирования угрозы информационной опасности предприятия [2, 3] в том числе с учетом социального инжиниринга и определения мероприятий по предотвращению данной угрозы. Общий объем продукции вида (3) составил 152. Отметим, что метод сравнительного влияния параметров успешно применяется в случае, когда эксперт имеет опыт формализации знаний, владеет методами обработки многомерных данных, применяемых для выделения наиболее информативных признаков и описания их влияния на другие признаки.

Список литературы:

1. Post E.L. Formal Reductions of the General Combinatorial Decision Problem / E.L. Post // American Journal of Mathematics V.65, 1943, p. 197–215.
2. Долинина О.Н. Информационные технологии в управлении современной организацией: мон. / О.Н. Долинина. Саратов: Сарат. Гос. техн. ун-т, 2006. 160с.
3. Долинина О.Н. Социальный инжиниринг и формирование политики управления предприятием / О.Н. Долинина // Соц. – гум. знания. 2005. №6. С.209-220.

С. А. Егоров, А. В. Жданов к.т.н., Е. А. Новикова к.т.н.

Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых
кафедра ТМС
Россия, г. Владимир
montag-electro@list.ru

**ОЦЕНКА ПЛАВНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МОНОБЛОЧНОГО
ПРИВОДА МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ.**

Целью работы является создание методов расчета и проектирования моноблочных электромеханических приводов с высокой плавностью выходного перемещения. Научная новизна представлена математической моделью моноблочного электромеханического привода поступательного перемещения, ее динамическими характеристиками, а также зависимостью плавности работы от различных параметров. Полученные результаты использовались при разработке ряда электромеханических приводов, в частности, приводов биомеханических тренажеров.

Ключевые слова: биомеханический тренажер, моноблочный электромеханический привод, плавность привода, механизм подачи.

В ряде приводов медицинской техники успешно используются моноблочные конструкции, представляющие собой устройство на базе вентильного двигателя постоянного тока, в полый ротор которого встраивается планетарный редуктор поступательного или вращательного движения. По сравнению с другими схемами приводов моноблочные устройства имеют меньшую массу и габариты, короткую кинематическую цепь, лучшие характеристики по надежности и долговечности. Одним из наиболее важных вопросов применительно к медицинской техники является оценка плавности перемещений моноблочного привода [1].

Оценка плавности перемещения моноблочного привода с роликовинтовым механизмом (РВМ) может быть проведена на базе двухмассовой математической модели [2]: первая масса (входное звено РВМ) встроена в полый ротор двигателя и вращается вместе с ним, вторая масса (выходное звено РВМ) поступательно перемещает нагрузку. В модели учитываются нелинейности люфт f_L , «сухое трение» f_T и следующие возмущения: возмущение по напряжению ΔU , вызванное помехами датчиков обратной связи, пульсациями управляющего напряжения или момента двигателя; возмущение $0'1$: кинематической погрешности Δ_K , обусловленное технологическими погрешностями изготовления или деформациями звеньев РВМ при эксплуатации; возмущение от нагрузки ΔF , вызванное колебаниями нагрузки или действием внешней среды на выходное звено. Тогда

$$\begin{cases} \dot{\phi}_1 = \Omega_1 \\ \mu J_{\text{рот}} \dot{\Omega}_1 = k_M (U + \Delta U - k_X x_2 - k_V v_2 - k_a \dot{v}_2) - \frac{S_X}{\eta_{\text{РВМ}}} F_{12} - \frac{1}{k_\omega} \Omega_1 \\ \dot{x}_2 = v_2 \\ m_2 \dot{v}_2 = F_{12} + \Delta F - k_P x_2 - k_S v_2 - f_T(v_2, F_{12} - k_P x_2 - k_S v_2), \end{cases} \quad (1)$$

где $F_{12} = c f_L (S_X \Phi_1 - x_2 + \Delta_K) + b \dot{f}_L (S_X \Phi_1 - x_2 + \Delta_K)$.

Передаточные функции для каждого возмущения имеют вид:

- передаточная функция по напряжению:

$$W_U(p) = \frac{x_2(p)}{U(p)} = \frac{q_L k_M}{S_\eta k_P + k_M k_X} \frac{T_b p + 1}{A p^4 + B p^3 + C p^2 + D p + E}; \quad (2)$$

- передаточная функция по возмущению от кинематической погрешности:

$$W_\Delta(p) = \frac{x_2(p)}{\Delta_K(p)} = q_L \frac{T_Q p (T_\mu p + 1) (T_b p + 1)}{A p^4 + B p^3 + C p^2 + D p + E}; \quad (3)$$

- передаточная функция по возмущению от нагрузки:

$$W_F(p) = \frac{x_2(p)}{\Delta F(p)} = \frac{S_\eta + k_M k_a / m_2}{S_\eta k_P + k_M k_X} \frac{T_{12} p (T_\mu p + 1) + q_L (T_b p + 1)}{A p^4 + B p^3 + C p^2 + D p + E}. \quad (4)$$

Показатели плавности при гармонических возмущениях имеют вид:

$$I_1 = \frac{2}{\pi} \frac{|i \omega_k W_k(i \omega_k)|}{v_0} \frac{\omega_k H}{v_0}, \quad I_2 = \frac{2}{\pi} \frac{|i \omega_k W_k(i \omega_k)|}{v_0} \left(\frac{\omega_k H}{v_0} \right)^2, \quad (5)$$

где k – номер возмущения; W_k – передаточная функция k -го возмущения.

Системе уравнений (1) соответствует структурная схема рис.1.

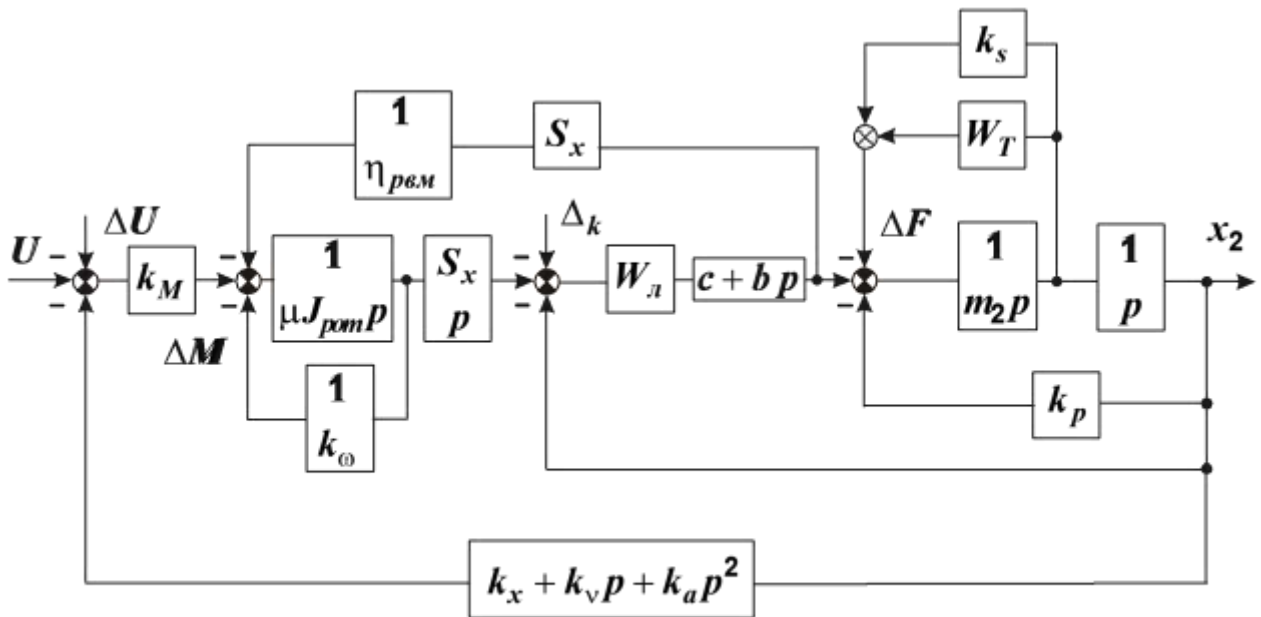


Рис.1. Структурная схема привода.

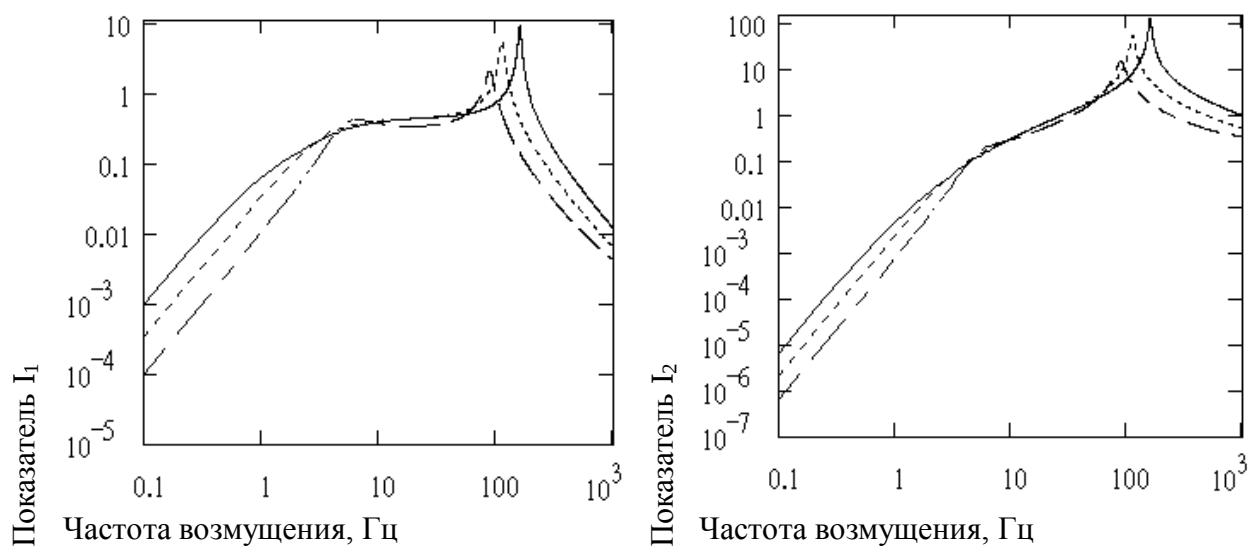


Рис.2. Возмущение по напряжению.

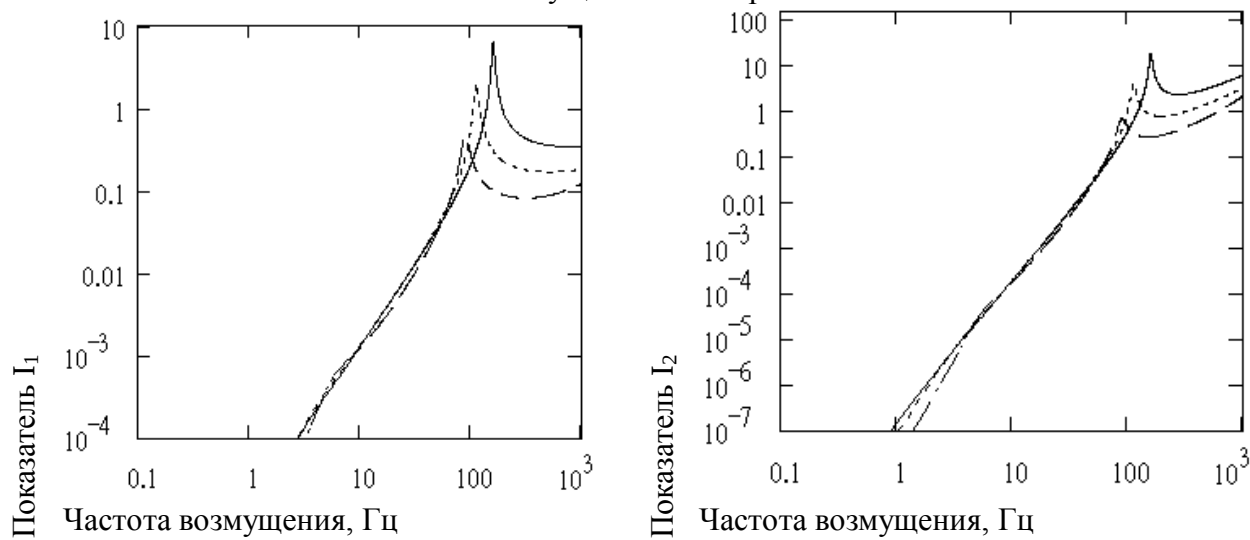


Рис.3. Возмущение от кинематической погрешности.

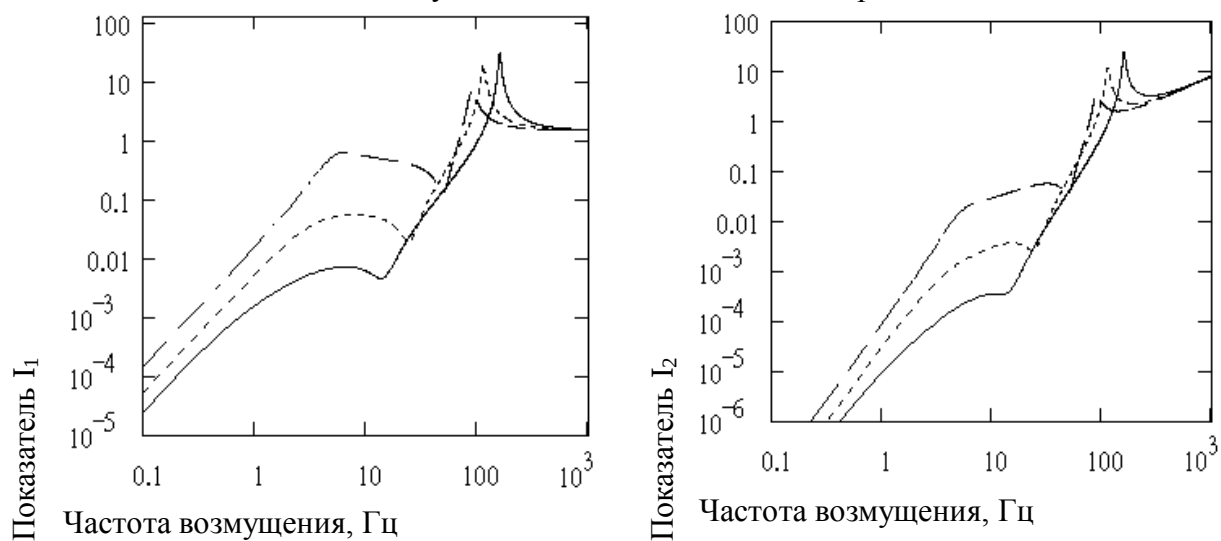


Рис.4. Возмущение от нагрузки.

По формулам (5) определено влияние параметров системы на плавность привода при действии гармонических возмущений. В качестве примера (см. рис.2–4) даны зависимости показателей от кинематической передаточной функции (КПФ) (— $S_X = 1$ мм/об; - - - $S_X = 3$ мм/об; - - - $S_X = 10$ мм/об), вида и частоты возмущения. Одной из причин не плавности движения является зазор в передаче. В следящем приводе зазоры уменьшают точность слежения, могут являться источником не плавности движения и автоколебаний (АК). При исследовании динамики люфт моделируется «зоной нечувствительности». Гармоническая линеаризация позволяет получить аналитические условия возникновения АК и определить частоту и амплитуду АК. Например, при $k_P = k_S = b = 0$ $\omega_{AK} = 1/\sqrt{T_Q(T_M - \delta T_\mu)}$, $q_L(A_{AK}) = T_2^2 / \delta T_Q(T_M - \delta T_\mu)$. Условие автоколебаний в этом случае примет вид: $\delta T_Q(T_M - \delta T_\mu) - T_2^2 \geq 0$. Численное решение не линеаризованной системы (1) показало, что в следящей системе с люфтом (при $b = 0$) возникают пилообразные АК рис.5. Так, амплитуда АК зависит от Δ_L и b , а частота АК уменьшается с ростом μ , m_2 , k_a , k_ω и с уменьшением k_X и k_V . Плавность выходного перемещения при наличии АК определяется их частотой и амплитудой: $I_1 \sim A_{AK} \omega_{AK}$, $I_2 \sim A_{AK} \omega_{AK}^2$. В работе дан численный анализ влияния параметров привода на плавность системы. При исследовании плавности работы привода необходимо рассмотреть режимы работы на низких скоростях, где не плавность движения может быть значительной. Неплавное движение на низких скоростях связано с фрикционными автоколебаниями (ФА), возникающими в приводе. Проведем анализ динамики разомкнутого по положению привода с «сухим трением» на выходном звене. Принимаем экспоненциальную модель кинетической характеристики трения: $F_T(v) = F_A - (F_A - F_B) \exp(-v_T / |v|)$.

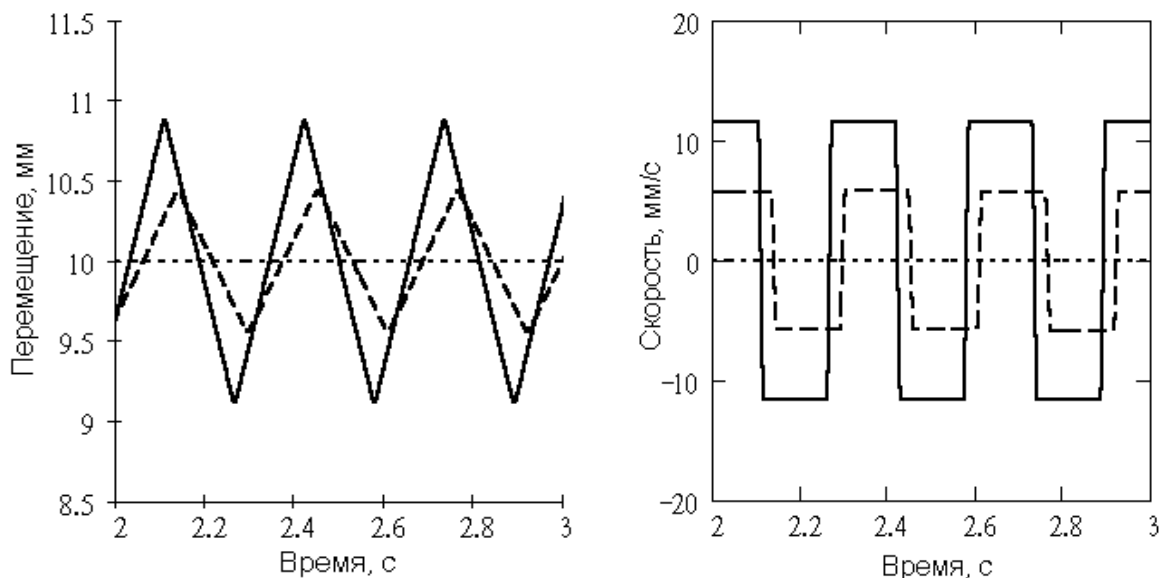


Рис.5. Вид автоколебаний в зависимости от величины зазора
— $\Delta_L = 0$ мм; — — $\Delta_L = 0,4$ мм; - - - $\Delta_L = 0,8$ мм.

После линеаризации $F_T(v)$ и при допущении малости колебаний (колебания нагрузки не отражаются на вращении ведущего звена) аналитически получено условие возникновения ФА:

$$\frac{F_A - F_B}{v_0} \frac{v_T}{v_0} \exp\left(-\frac{v_T}{v_0}\right) > b, \tag{6}$$

позволяющее определить критическую скорость $v_{кр}$ возникновения ФА. Частота ФА линеаризованной системы определяется как

$$\omega_{\Phi A} = \sqrt{c/m_2 - \left[b - (F_A - F_B) \frac{v_T}{v_0^2} \exp\left(-\frac{v_T}{v_0}\right) \right]^2 / 4m_2^2}$$

При численном исследовании нелинеаризованной системы были выявлены следующие качественно различные режимы рис.6. При $v_0 > v_{кр}$ (режим * *) автоколебаний в системе нет и выходное звено движется с постоянной скоростью v_0 . Если $v_{рел} < v_0 < v_{кр}$ (—), то в системе устанавливаются гармонические ФА (без остановок). Начиная с некоторого значения скорости скольжения $v_0 \approx v_{рел}$ (- - -), колебания

становятся релаксационными (с остановками). При дальнейшем уменьшении $v_0 < v_{рел}$ растет время стоянки выходного звена за цикл. В работе проведен численный анализ плавности выходного перемещения при наличии ФА в зависимости от параметров привода. На рис.7 в качестве примера представлена зависимость плавности от скорости скольжения. Показатели имеют максимум при переходе от релаксационных ФА к гармоническим, т.к. при $v_0 = v_{рел}$ амплитуда ФА максимальна. При изменении параметров в области гармонических колебаний показатели убывают при уменьшении скачка силы трения, увеличении КПФ, скорости скольжения, массы нагрузки, жесткости и демпфирования. Для проверки адекватности математической модели проведено экспериментальное определение динамических характеристик моноблочного электромеханического привода. В качестве экспериментального образца выбран

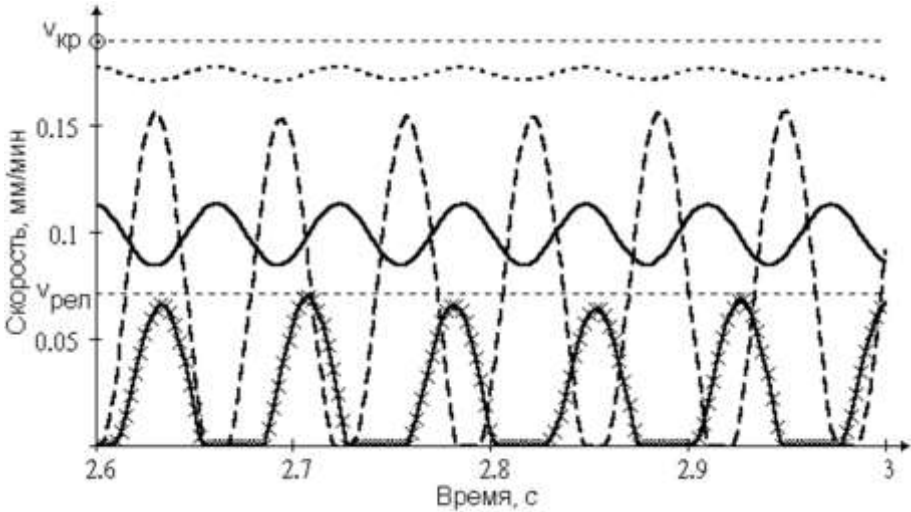


Рис.6. Автоколебательные режимы в системе.

моноблочный привод системы управления стабилизатором. В ходе измерений определялись АФЧХ замкнутого по положению привода при подаче постоянного и синусоидального

управляющего сигнала с позиционной нагрузкой $k_p = 100$ Н/мм и без нагрузки. Расхождение между опытными и теоретическими АФЧХ не превышало 0,4 мм (без нагрузки) и 0,9 мм (с нагрузкой) для АЧХ и 5° (без нагрузки) и 7° (с нагрузкой) для ФЧХ, что лежит в пределах ошибки измерений.

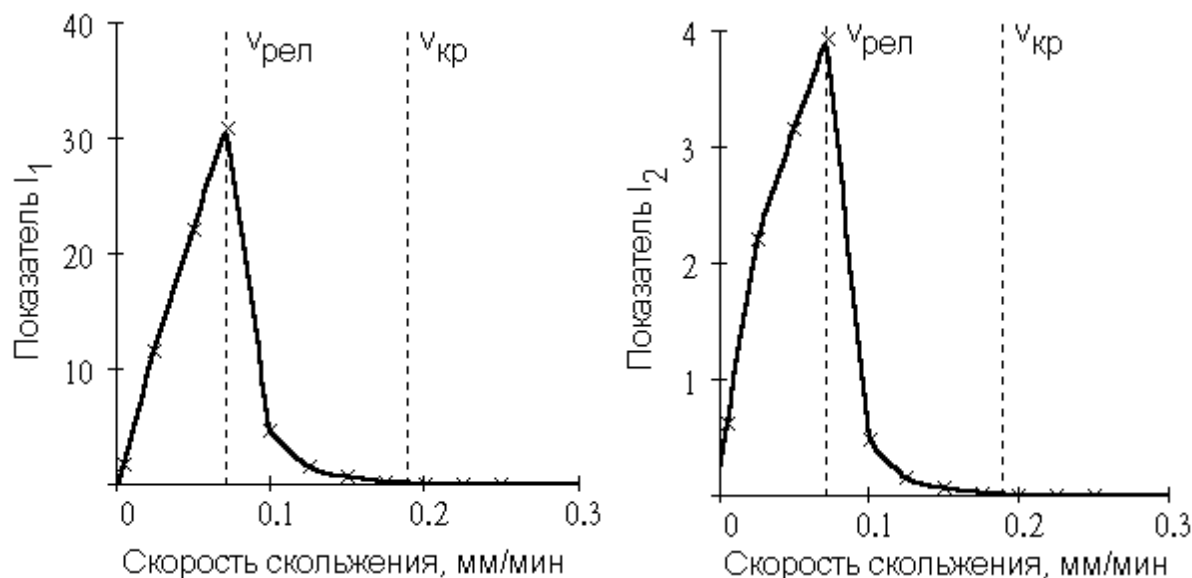


Рис.7. Зависимость показателей плавности от скорости скольжения.

Список литературы:

1. Биотехнические тренажеры на базе мехатронных модулей для разработки посттравматических контрактур / В.В. Морозов, А.В. Жданов, А.Б. Костерин // Мехатроника, автоматизация, управление / М.: Новые технологии, 2008. - № 3. - С. 43-46. - ISSN 1584-6427

2. Плавность динамических звеньев электромеханических приводов (монография) / В.В. Морозов, А.Б. Костерин, Е.А. Новикова / под ред. проф. Морозова В.В. / Изд-во Владимирского государственного университета, Владимир, 1999, 158 с. ISBN 5-89368-145-2

А. Ю. Ерёменко к.т.н.

Старооскольский технологический институт(филиал)
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»
кафедра автоматизированных и информационных систем управления
Россия, г. Старый Оскол
al_eremenko@mail.ru

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ
НЕЗАКРЕПЛЁННЫХ ДЕТАЛЕЙ В СИЛОВОМ ПОЛЕ АБРАЗИВНО-
ЖИДКОСТНОЙ СРЕДЫ ГЕНЕРИРУЕМОМ СТРУЙНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ
С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ КАМЕРЫ**

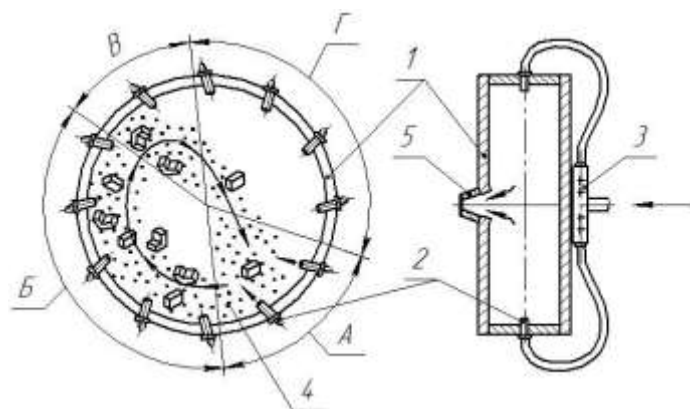
В последние десятилетия, в связи возрастающими требованиями к качеству деталей робототехники, точного машиностроения, оптики и электроники неуклонно возрастают требования к процессам финишной обработки мелких деталей сложной конфигурации. Математические модели и графические материалы, представленные в статье, позволяют с высокой степенью точности описать технологический процесс отделочной обработки мелких незакреплённых деталей в абразивной среде.

Ключевые слова: финишная обработка, абразивно-жидкостная среда, незакреплённые детали.

В современном машиностроении и особенно в приборостроении, радиотехнической и оптико-механической промышленности возрастает доля зачистных, шлифовальных, полировальных и других окончательных отделочно-зачистных операций, в общей трудоемкости изготовления изделий, поэтому исследование устройств, реализующих высокопроизводительные способы обработки деталей является одной из актуальных задач машиностроения.

Одним из устройств, обеспечивающих интенсификацию процесса отделочно-зачистной обработки деталей является установка роторной струйной гидроабразивной обработки деталей в камере с горизонтальной осью вращения[1].

На рисунке 1 представлены принципиальная схема и фотография действующей экспериментальной установки роторной струйной гидроабразивной обработки незакреплённых деталей с горизонтальной осью вращения камеры.



а



б

Рис. 1 Принципиальная схема(а) и действующая экспериментальная установка (б) роторной струйной гидроабразивной обработки незакреплённых деталей с горизонтальной осью вращения камеры
1-рабочая камера, 2-воздушные сопла,
3-коллектор-распределитель сжатого воздуха,
4-технологическая загрузка, 5-окно выпуска воздуха
А – рабочая зона (обработки деталей), Б – зона стабилизации и разгона (затопленных сопел), В – зона ускорения деталей, Г – зона холостого хода.

Предлагаемый способ основан на падении, с дополнительно инициированным ускорением, обрабатываемых деталей в составе жидкостно-абразивного потока, движущегося в смешанном циклически-водопадном режиме [2] во вращающемся вокруг горизонтальной оси барабане, на направленную ему навстречу струю сжатого воздуха с эжектированными в него частицами абразивного материала. Рассматривая механизм обработки деталей в установке предложенного типа, необходимо отметить, что процесс удаления металла с поверхности детали ведётся в результате воздействия на неё сформированного в зоне максимальной скорости движения деталей кратковременно существующего турбулентного силового поля, несущего абразивные зерна, значительно усиленного кавитационным воздействием, возникающим в результате подачи в жидкостно-абразивный поток струи сжатого воздуха.

В качестве функций отклика в ходе исследования процесса обработки были приняты значения величины металлосъёма за единицу времени, и качество поверхности, полученной в процессе обработки. В ходе предварительного теоретического изучения процесса были приняты следующие значимые факторы и диапазоны их варьирования:

- давление в энергосистеме установки $P(X_1)$, от 0,1 до 0,3 мПа
 - зернистость абразивного микропорошка $b(X_2)$, от 8 до 40 мкм
 - диаметр сопла $d_o(X_3)$, от 1 до 2 мм
 - диаметр дроссельной шайбы в соплах зоны ускорения $d_v(X_4)$, от 4 до 8 мм,
- Линейные уравнения регрессии после вычисления коэффициентов, проверки адекватности и оценки значимости коэффициентов, имеют вид:

для металлосъёма

$$Y_1 = 29,8 + 11,7X_1 + 10,1X_2 + 21,9X_3 + 8,7X_2X_3 + 8,7X_1X_3$$

для шероховатости

$$Y_2 = 0,306 + 0,103X_1 + 0,08X_2 + 0,127X_3$$

Заменяя кодированные факторы на их фактические значения, получим окончательно для стали 45:

$$M_{cm45} = 3,65 - 2,69P - 5,74d - 1,88b + 0,99d_1 + 1,08db + 1,08Pb$$

$$Ra = -0,306 + 0,206P + 0,001b + 0,064d_y$$

Важным для процесса металлосъёма является обрабатываемость материала, из которого изготовлен образец (деталь), а также его твёрдость, поэтому для проведения сравнительной оценки интенсивности процесса построим математические модели при обработке деталей из различных материалов.

Уравнения регрессии для инструментальной быстрорежущей стали P6M5 ГОСТ 19265-73, с твёрдостью HRC 61:

$$Y_{P6M5} = 7,31 + 2,77X_1 + 2,74X_2 + 5,42X_3 + 2,35X_2X_3 + 1,96X_1X_3$$

- образцов из латуни ЛС 59-1 ГОСТ 15527-70

$$Y_{ЛС} = 39,4 + 15,9X_1 + 13,5X_2 + 29,3X_3 + 11,6X_2X_3 + 12X_1X_3$$

- образцов из алюминия, Д16, ГОСТ 4784-74

$$Y_{Al} = 15,2 + 6,15X_1 + 5,83X_2 + 11,46X_3 + 5,21X_2X_3 + 4,84X_1X_3$$

- образцов из меди МЗ, ГОСТ 859-2001

$$Y_{Cu} = 34,94 + 14,32X_1 + 11,99X_2 + 24,81X_3 + 9,26X_2X_3 + 9,83X_1X_3$$

После проверки адекватности уравнений и значимости коэффициентов при переменных, а так же перехода к натуральным значениям факторов, уравнения примут вид:

$$M_{P6M5} = 0,45 - 0,33P - 1,58d - 0,47b + 0,27d_1 + 0,295db + 0,245Pb$$

$$M_{ЛС} = 5,05 - 4,19P - 7,72d - 2,59b + 1,38d_1 + 0,15db + 0,15Pb$$

$$M_{Al} = 3,97 - 2,21P - 3,99d - 1168b + 0,55d_1 + 651,56db + 604,69Pb$$

$$M_{Cu} = -3,43 - 0,86P - 3,78d - 2028,5b + 1,35d_1 + 1157db + 1228,9Pb$$

На рисунке 2 представлена поверхность отклика, характеризующая интенсивность удаления металла с поверхности детали, от крупности абразивного зерна и давления в пневмосети установки, при максимальных значениях диаметров сопел (2 мм), обеспечивающих максимальное значение энергоносителя в зоне ускорения. На поверхности отклика пунктирными линиями нанесены соответствующие значения шероховатости Ra поверхности обработанных деталей. Наличие возрастающего гребня в области соответствующей давлению $P=0,2$ МПа при $b=40$ мкм позволяет определить данную область как оптимальную. Экстремум в точке М позволяет прогнозировать возрастание интенсивности металлосъёма при заданном давлении с возрастанием крупности абразивного микропорошка с понижением качества поверхности деталей.

Снижение интенсивности удаления металла при возрастании давления в пневмосети до 0,3 мПа позволяет предположить, что это связано со снижением стабильности движения деталей в водопадном режиме.

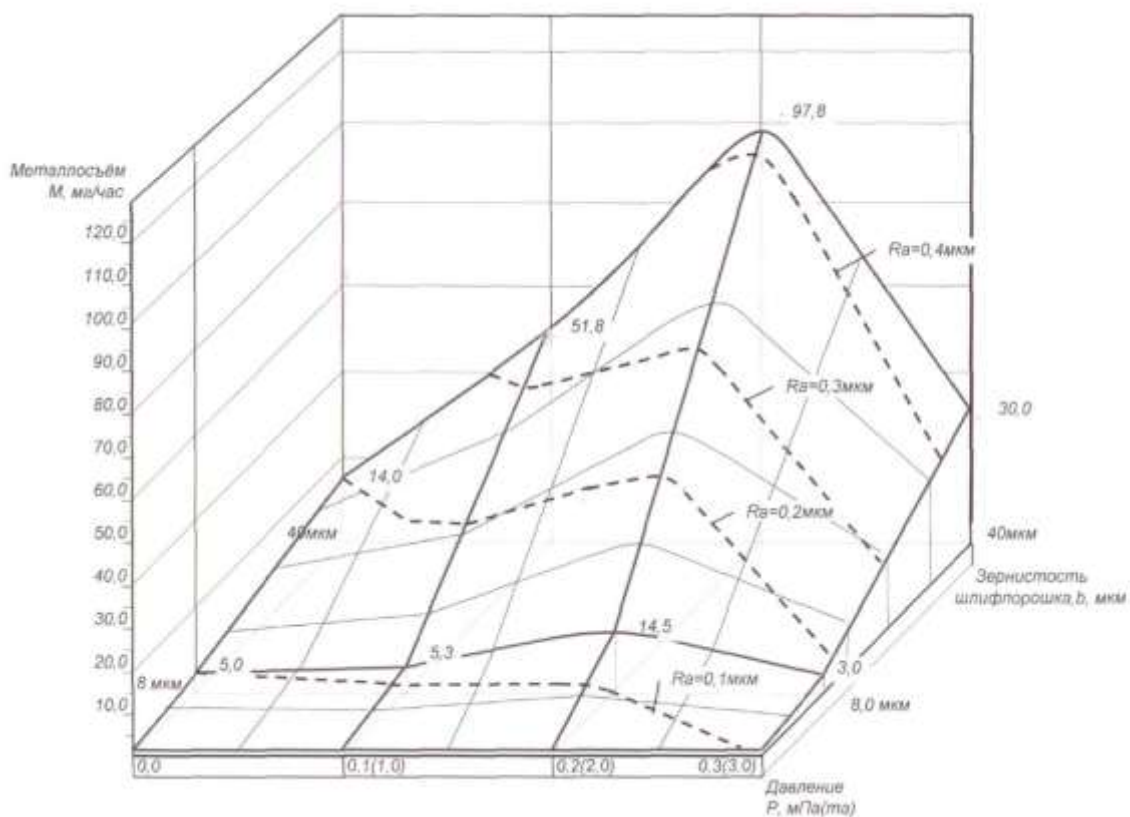


Рис. 2 Зависимость интенсивности металlosъема M , мг и качества поверхности обработанных деталей Ra , мкм от давления энергоносителя в пневмосистеме для различных значений зернистости микрошлифпорошка, b , мм.

Для удобства использования поверхность на диаграмме рисунка 1 была трансформирована в номограмму (рис 3.) которая наряду с математическим описанием процесса может быть использована для выбора режимов обработки как на вновь проектируемых установках такого типа, так и для поиска оптимальных значений обработки для уже существующих.

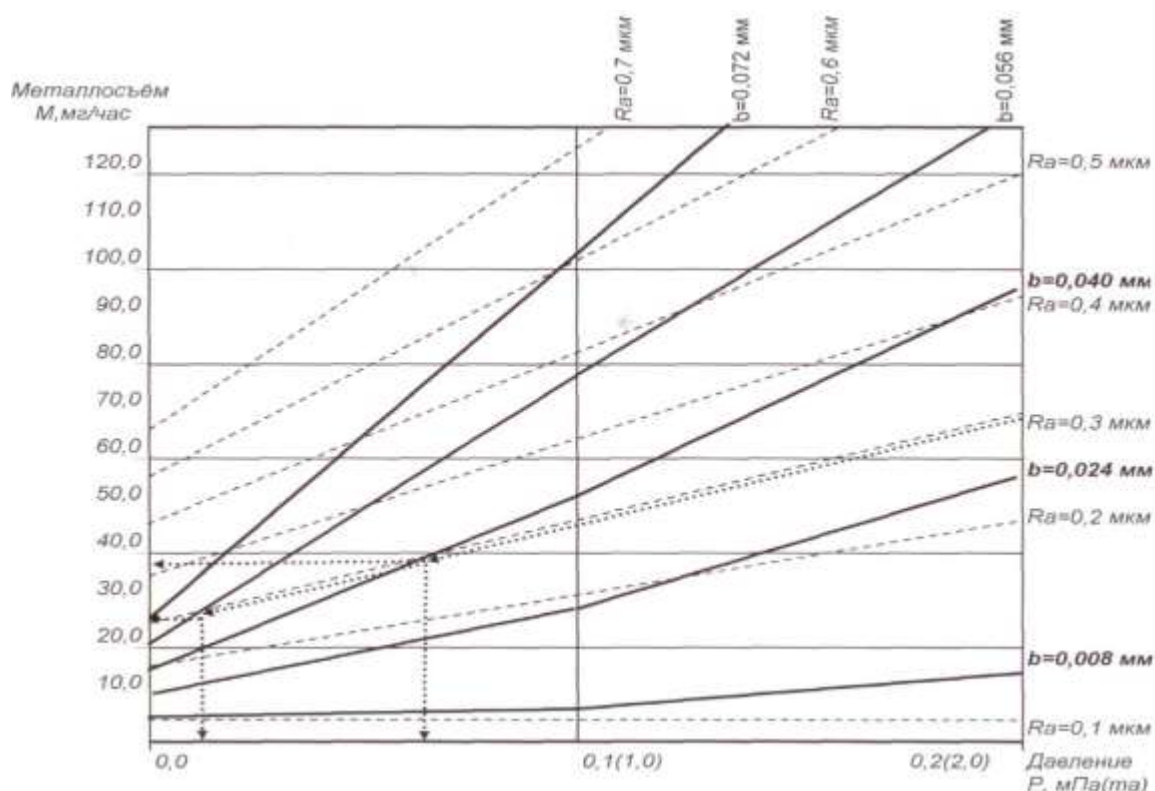


Рис. 3 Номограмма зависимости металлоудала M , мг и качества поверхности обработанных деталей Ra , мкм от давления энергоносителя P МПа для различных значений крупности микрошлифпорошка b , мм.

Вывод: Предложенные в статье математические модели и номограмма описывают процесс обработки незакрепленных деталей в установке роторной струйной гидроабразивной обработки с горизонтальной осью вращения камеры и позволяют как оптимизировать существующие устройства подобного типа, так и осуществлять проектирование новых.

Список литературы:

1. Ерёменко А.Ю. Сергеев А.П. Гидроротационная струйно-абразивная обработка мелких деталей в камере с горизонтальной осью вращения. Известия орловского государственного технического университета. январь 2004г. Машиностроение-приборостроение С.22-25
2. Ерёменко А.Ю. Оптимизация технологических и конструктивных параметров струйной жидкостно-абразивной обработки в машинах с горизонтальной осью вращения камеры. Автореферат диссертации. Белгород БГТУ им. Шухова 2007г. С/ 4-5
3. Целиков А.М. и др. «Машины и агрегаты металлургических заводов» т.1. М Металлургия 1988г. т1 348с.

А. С. Жив¹ д.т.н., Б. Р. Исакулов² к.т.н., А. М. Сарсенов² д.т.н.

¹Владимирский государственный университет
им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Россия, г. Владимир

²Актюбинский университет им. С. Баишева
Казахстан, г. Актобе
mr.baizak@mail

УЛУЧШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ ПУТЕМ ПРОПИТКИ СЕРОЙ-ОТХОДОМ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАЗАХСТАНА

В работе использован принцип повышения физико-механических свойств легких бетонов путем пропитки серой-отходом нефтегазовой промышленности Западного Казахстана.

Ключевые слова: отходы, бетон, сера, арболит

Опыт многолетней эксплуатации капитальных сооружений в различных климатических зонах Средней Азии и Казахстана показывает, что одной из причин снижения долговечности всех типов инженерных сооружений, возведенных из безобжиговых строительных материалов и изделий, является низкое качество анти-фильтрационной и изоляционной защиты. Многие из гидроизоляционных материалов, применяемых в строительстве для защиты капитальных сооружений, возведенных в суровых климатических условиях, не соответствуют требованиям как с точки зрения производства изоляционных работ, так и долговечности покрытия. В условиях резкоконтинентального климата, большинство традиционных способов изоляции трудновыполнимо или вообще неприемлемо. Специфические свойства высоковязких гидроизоляционных веществ (размягчение и текучесть при высоких температурах, жесткость и растрескивание при низких и, главное, необходимость нагрева перед созданием изоляционного экрана) затрудняют механизацию производства работ, что приводит к неоправданному увеличению затрат материалов и ручного труда. Несмотря на большие успехи, достигнутые в области создания химически стойких цементов и морозостойких бетонов, в ряде случаев радикальным средством защиты от коррозии следует признать гидроизоляцию, выполняемую в виде водонепроницаемого экрана.

Отечественный и зарубежный опыт строительства и исследования показывает, что для гидроизоляции строительных конструкций, используемых для районов с суровыми климатическими и повышенными эксплуатационными условиями, наиболее эффективно применение пропиточной изоляции. В настоящее время существует более десятка различных способов пропитки структуры цементного камня, однако поиски все новых приемов и различных методов создания антифильтрационных экранов указывают на то, что существующие способы по тем или иным причинам полностью не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям. Наличие значительного числа работ по затронутому вопросу указывает также на то, что область исследования пропитки очень сложна и разнообразна.

Пропитка строительных изделий, изготовленных из материалов как органического, так и неорганического происхождения, водонепроницаемыми составами является одним из

наиболее надежных способов защиты строительных элементов от агрессивного воздействия внешней среды.

К. Вернер [2] рекомендует довольно интересный метод насыщения песка смолой, серой или каким-либо другим термопластичным веществом с последующим прессованием его при температуре смолообразования пропиточных материалов. По убеждению авторов, такие изделия могут быть применены для изготовления различных водонепроницаемых облицовок, в качестве несъемной опалубки и т. д.

В отечественной и зарубежной практике сложились относительно правильные взгляды на гидроизоляцию строительных конструкций из бетона способом поверхностной пропитки. Согласно современным требованиям [5, 6, 7, 9] исходные вещества, используемые для обеспечения антифильтрационной защиты строительных изделий, должны отвечать следующим условиям:

- быть не менее коррозионностойкими, чем основное изолируемое изделие;
- обладать соответствующей текучестью для более эффективного заполнения структуры бетонной матрицы.

Мы использовали в качестве пропиточного материала серу, являющуюся отходом газонефтедобывающих производств Республики Казахстана. Используемая нами сера медножелтого цвета, плотностью $1,96 \text{ г/см}^3$ и температурой плавления около 120°C проявляет стабильную устойчивость при комнатной температуре и в интервале температур от $95,6$ до $119,3^\circ \text{C}$ не размягчается. Используя ее для пропитки, можно получать легкие бетоны в виде арболита с высокой механической прочностью.

Наши исследования совместно с лабораторией строительных материалов Владимирского государственного университета и исследования ученых [6, 8, 3] показали, что использование серы для заполнения порового пространства бетонов весьма эффективно для повышения эксплуатационных характеристик этого строительного материала.

По данным О. В. Кунцевича и Н. А. Джаши [4], наибольший прирост прочности дают мелкозернистые бетоны состава 1:7,3 при $V/C=0,8$. При этом авторы констатируют, что прирост прочности у арболитобетонных образцов происходит исключительно за счет кольматации пор и пустот серой.

Для изучения физико-механических свойств арболита, пропитанного серой, нами были использованы три состава вяжущего арболитовой смеси:

А — гипсошламового арболита с составами вяжущих, % по массе (гипс : хромошлам : пиритной огарок); (табл.1)

Б — шлакощелочного арболита с составами вяжущих, % по массе (цемент : зола : ЭТФшлак : жидкое стекло : содосульфатная смесь); (табл.2)

В — цементнозолошламового арболита с составами вяжущих, % по массе (цемент : зола : шлам); (табл.3)

Марочная прочность контрольных образцов, пропитанных в расплавленной сере, составляла для составов А, Б и В соответственно:

- для гипсошламового арболита 1,8; 1,9; 2,1 МПа;
- для шлакощелочного арболита 1,7; 1,8; 1,83 МПа;
- для цементнозолошламового арболита 3,1; 3,1; 3,25 МПа.

Таблица 1.

Изменение свойства гипсошламового арболита после пропитки серой

Состав вяжущего, % по массе (гипс, хромошлам, пиритной огарок)	Продолжительность пропитки	Привес серы, %	Прочность контрольных образцов, $R_{сж}$, Мпа	Прочность пропитанных образцов, $R_{сж}$, Мпа	Коэфф-т упрочнения $R_{сж}$, пропитанных/ $R_{сж}$, контрольных образцов
60 : 40 : 0	2	3,1	1,8	3,6	2,0
60 : 40 : 0	5	3,5	1,8	4,5	2,5
60 : 40 : 0	10	6,7	1,8	6,1	3,39
60 : 40 : 0	24	7,7	1,8	8,6	4,8
60 : 30 : 10	2	2,9	1,9	3,9	2,1
60 : 30 : 10	5	3,4	1,9	4,7	2,6
60 : 30 : 10	10	6,5	1,9	6,2	3,4
60 : 30 : 10	24	7,2	1,9	8,7	4,6
60 : 25 : 15	2	2,95	2,1	4,3	2,05
60 : 25 : 15	5	3,4	2,1	5,7	2,7
60 : 25 : 15	10	6,5	2,1	6,5	3,1
60 : 25 : 15	24	6,9	2,1	9,2	4,3

Таблица 2.

Изменение свойства шлакощелочного арболита после пропитки серой

Состав вяжущего, % по массе (цемент : зола : ЭТФшлак : жидкое стекло : содосульфатная смесь)	Продолжительность пропитки	Привес серы, %	Прочность контрольных образцов, $R_{сж}$, Мпа	Прочность пропитанных образцов, $R_{сж}$, Мпа	Коэфф-т упрочнения $R_{сж}$, пропитанных/ $R_{сж}$, контрольных образцов
14 : - : 43 : 30 : 13	2	3,1	1,7	3,5	2,1
14 : - : 43 : 30 : 13	5	3,8	1,7	4,6	2,7
14 : - : 43 : 30 : 13	10	5,9	1,7	7,9	3,7
14 : - : 43 : 30 : 13	24	6,9	1,7	8,2	4,8
18 : 39 : - : 31 : 12	2	2,9	1,8	3,7	2,2
18 : 39 : - : 31 : 12	5	3,8	1,8	4,7	2,6
18 : 39 : - : 31 : 12	10	6,0	1,8	8,3	4,6
18 : 39 : - : 31 : 12	24	6,8	1,8	8,5	4,7
14 : 39 : 17 : 30 : -	2	3,2	1,83	3,6	1,97
14 : 39 : 17 : 30 : -	5	3,9	1,83	4,7	2,6
14 : 39 : 17 : 30 : -	10	6,0	1,83	7,9	4,3
14 : 39 : 17 : 30 : -	24	6,95	1,83	8,6	4,7

Таблица 3.

Изменение свойства цементозольношламового арболита после пропитки серой

Состав вяжущего, % по массе (цемент: зола : шлам)	Продолжитель ность пропитки	Привес серы, %	Прочность контрольных образцов, R _{сж} , Мпа	Прочность пропитанных образцов, R _{сж} , Мпа	Коэфф-т упрочнения R _{сж} , пропитанн ых/ R _{сж} , контрольн ых образцов
60 : 40 : 0	2	2,8	3,1	6,3	2,03
60 : 40 : 0	5	3,9	3,1	7,2	2,3
60 : 40 : 0	10	6,75	3,1	8,9	2,88
60 : 40 : 0	24	7,1	3,1	10,2	3,3
60 : 35 : 5	2	2,8	3,1	6,3	2,03
60 : 35 : 5	5	3,85	3,1	7,3	2,4
60 : 35 : 5	10	6,7	3,1	9,1	2,9
60 : 35 : 5	24	7,2	3,1	10,5	3,4
60 : 30 : 10	2	2,7	3,25	6,5	2,0
60 : 30 : 10	5	3,8	3,25	7,5	2,3
60 : 30 : 10	10	6,9	3,25	9,4	2,9
60 : 30 : 10	24	7,2	3,25	11,2	3,5

По результатам этих испытаний установлено, что с увеличением содержания золы, шлака и шлама в арболите, привес серы в образцах распределялся следующим образом: после 24 - часовой пропитки при нормальном атмосферном давлении образцы состава А увеличили массу на 7,7, 7,2 и 6,9% (табл.1), состава Б — на 6,9, 6,8 и 9,5% (табл.2) и состава В — на 7,1, 7,2 и 7,2% (табл.3).

После 5-часовой пропитки вакуумированием эти величины возросли до 9,1% для составов А, до 10,2% для состава Б и до 8,1% для состава В. После 5-часовой пропитки с предварительным вакуумированием образцов эти величины достигли соответственно 10,4; 10,5 и 9,7%. Привес массы у образцов в зависимости от содержания золы, шлаков и шламов в арболите можно объяснить изменением структурной пористости пропитанного серой арболитобетона. На эту величину существенное влияние оказывает способ и продолжительность пропитки (табл. 1, 2 и 3). Здесь уместно отметить, что присутствие серы во всех случаях приводит к увеличению механических свойств у образцов. Испытание пропитанных серой арболитовых образцов на сжатие показало, что все без исключения составы значительно повысили свою механическую прочность от 2,0 до 4,8 раза.

По нашим данным, глубина проникновения серы в капиллярно-пористое изделие увеличивается в 2 раза и более, если пропитываемый образец высушен до постоянной массы. В зависимости от того, какое количество остаточной влаги находится в подготовленном для пропитки образцов, изменяются и механические свойства пропитанного арболита. Из выше приведенных таблиц видно, что с увеличением продолжительности пропитки (до суток) идет интенсивный рост механической прочности у пропитанного серой арболита. Дальнейшая выдержка образцов в расплавленной сере существенного влияния на прочностные характеристики бетона не оказывает. Кинетика роста предела прочности арболита в процессе пропитки его серой показала, что наибольшее относительное увеличение предела прочности на сжатие наблюдалось у образцов арболитов с цементнозолошламовым содержанием (цемент (60%) : зола (30%) : шлам (10%)) составов. Однако эта разность ощущается весьма

слабо и после 2—3-часовой пропитки практически выравнивается. При этом величина коэффициента упрочнения для составов А и Б равна 4,8, для состава В — 3,5.

Согласно теорий Ю. М. Баженова [1] явление увеличения прочности объясняется несколькими причинами:

1. наличием трехмерного каркаса, создаваемого мономером в порах арболитовой матрицы;

2. увеличенной плотностью контактной зоны заполнителей с цементным камнем благодаря совместному адгезионному воздействию цементного геля и мономера;

3. объемным заполнением пор, трещин и других технологических дефектов низковязкими мономерами, способствующим упрочнению контактной зоны цементного камня;

4. поглощением и релаксацией энергии в процессе деформирования композиционной системы;

С нашей точки зрения, в случае использования серы, наиболее значительными являются причины под номерами 1, 2 и 3.

Выводы

1. В работе показана возможность повышения прочностных характеристик арболита путем пропитки сера отходами нефтегазовой промышленности Казахстана и применение его в производстве строительных материалов.

2. Проведенные эксперименты подтверждают перспективы получения легкого бетона с улучшенными физико – механическими свойствами из изученных в данной работе промышленных отходов.

Список литературы:

1. Баженов Ю. М. Некоторые особенности структуры, свойств и технологии бетонополимеров. — В кн.: Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве. М., Стройиздат, 1976.

2. Вернер К. Патент СССР № 12571, 1930.

3. Касымов И.К., Федотов Е.Д. Пропитка цементного камня органическими вяжущими. Л., Стройиздат, 1981.

4. Кунцевич О. В., Джаши Н. А. Использование серы для повышения физико-механических свойств мелкозернистых бетонов. — В кн.: Повышение долговечности промышленных зданий и сооружений за счет применения полимербетонов. — М., ЦНИИС, 1978.

5. Москвин В. М., Эркенов М. М. Пропитка свай битумными материалами с применением поверхностно-активных веществ.- Бетон и железобетон, 1976, № 6.

6. Патуроев В. В. и др. Разработка режимов пропитки золобетонов расплавах серы. — Архитектура и строительство Узбекистана, 1978. № 11.

7. Покровский Н. С. Пропиточная гидроизоляция бетона. М., Энергия, 1964.

8. Патуроев В. В., Волгушев А. А. Основные характеристики бетонов, пропитанных серой. М., ЦНИИС, 1978.

9. Рыбьев И. А. Технология гидроизоляционных материалов. М., Высшая школа, 1964.

А. А. Захаров д.т.н., Е. Р. Кожанова, И. М. Ткаченко

Саратовский государственный технический университет
факультет электронной техники и приборостроения
кафедра электронные приборы и устройства
Россия, г. Саратов
zaharov@sstu.ru

Работа выполнена в рамках НИОКР по теме № 8758p/13975 от 14.01.2011 г.

РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВЕЙВЛЕТ – ФУНКЦИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ

В статье рассматривается разработка интерфейса программного продукта и его составляющих с помощью диаграмм переходов фокуса управления.

Ключевые слова: программный продукт, головной модуль, программный модуль, диаграмма переходов, фокус управления, интерфейс, преобразование Фурье, ряды Фурье, вейвлет – функция, вейвлет - преобразование.

Разработка программного продукта по вейвлет – анализу с основами классического спектрального анализа для проведения лабораторного практикума по изучению различных сигналов поможет преподавателям в обучении студентов специальностей, занимающихся обработкой сигналов, а также для самостоятельной работы студентов.

Разрабатываемый программный продукт основывается на представлении о том, что вейвлет – анализ не является совершенно новым направлением, а является модернизацией оконного преобразования Фурье (ОПФ), где фиксированная оконная функция заменяется солитоноподобной функцией (вейвлет – функцией), которая способна к сдвигу и масштабированию. Поэтому программный продукт должен состоять из нескольких последовательных работ (блоков, модулей), при выполнении которых у обучающегося должен сформироваться не только знания о спектральном классическом анализе (ряды Фурье, преобразование Фурье, оконное преобразование Фурье), но и о вейвлет – анализе и их взаимосвязи.

Начальным этапом разработки программного продукта по использованию вейвлет – функций для анализа сигналов различного вида является разработка структуры и состава разрабатываемого программного продукта, а также разработка тенденций общего интерфейса и меню.

Выбор модульной структуры разрабатываемого программного продукта позволяет адаптировать его под конечного пользователя и обеспечивает удобство разработки, программирования, отладки и внесения изменений в программу со стороны разработчиков.

Структура данного программного продукта показана на рис. 1.

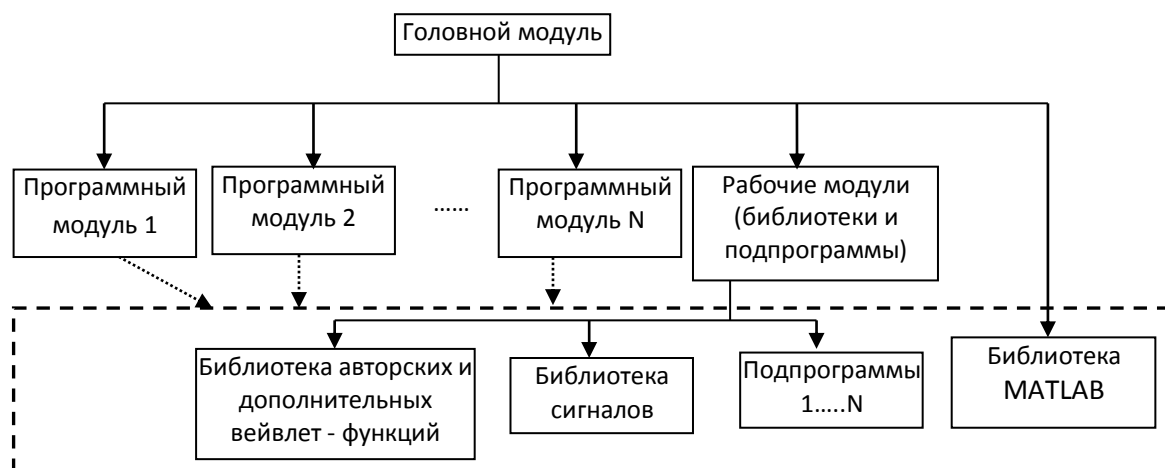


Рис. 1. - Структура программного продукта.

Все программные модули расположены в одной папке с головным модулем. Головной модуль вызывает необходимый программный модуль с помощью выделения его из перечня, который включает список лабораторных работ (левая область рис. 2а) и нажатием кнопки *Run* (сплошная линия на рис. 3). Обратный переход происходит при нажатии кнопки *Заккрыть* (штриховая линия на рис. 3).

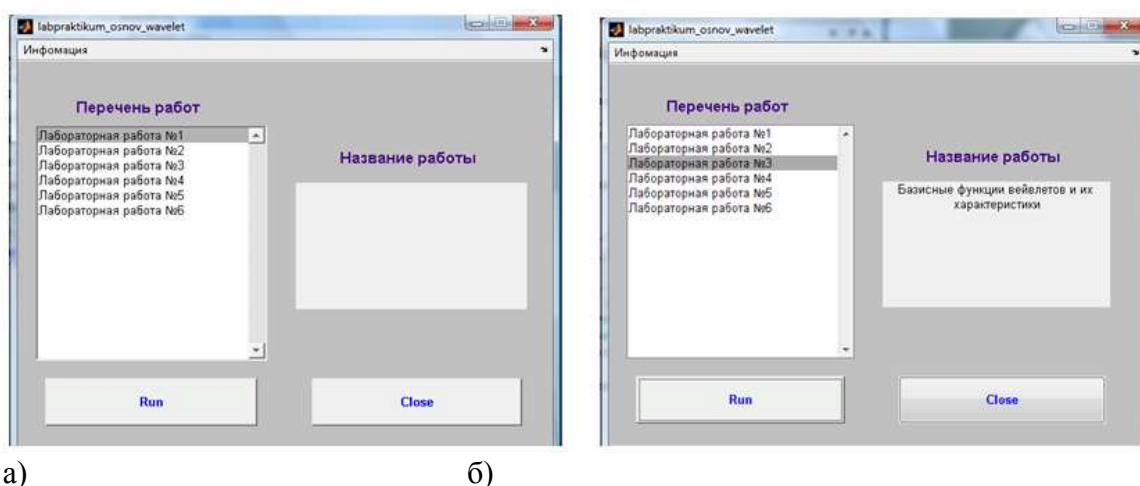


Рис. 2. - Вид диалогового окна (головной модуль) (а) и выбор программного модуля (б).

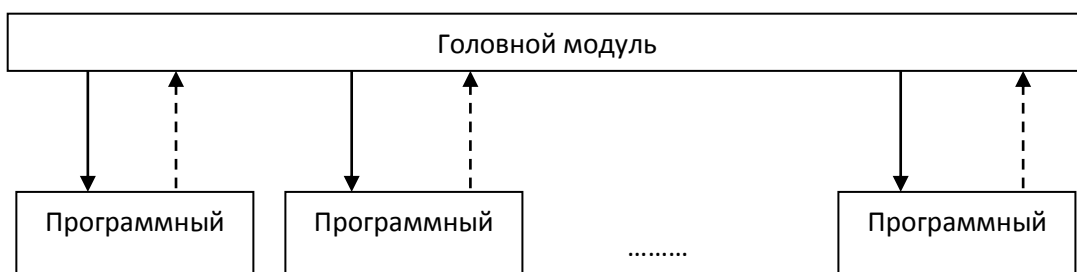


Рис. 3. - Диаграмма переходов между головным и программными модулями: сплошная линия – переход с помощью кнопки *Run*; штриховая линия – переход с помощью кнопки *Заккрыть*.

Предлагаемый вариант программного продукта представляет собой комплекс программ "labpraktikum_osnov_wavelet" для изучения основ вейвлет – анализа [2] и состоит из:

I) *Головного модуля* (рис. 2а) – программа, которая имеет список всех программных модулей, при выборе их пользователем и нажатием кнопки *Run* запускает выбранный программный модуль и выдает информацию о названии работы (область справа на рис. 2б);

II) *Программных модулей* – программы, которые выполняют определенную задачу (их перечень будет указан ниже);

III) *Рабочих модулей* – программы, выполняющие функции библиотек и подпрограмм. В нашем случае, две разрабатываемых библиотеки: *библиотека сигналов* и *библиотека авторских и дополнительных вейвлет – функций*, расширяющих перечень вейвлет – функций библиотеки MATLAB;

IV) *библиотек MATLAB.*

При первом приближении разрабатываемый программный продукт состоит из головного модуля (рис.2а) и 6 программных модулей [2]. Каждый из 6 программных модулей является отдельной лабораторной работой. Ниже приведены их краткое описание.

1) *Построение аппроксимирующего ряда Фурье для выбранного сигнала* (рис. 5а). Интерфейс программного модуля описан с помощью диаграммы переходов (рис. 4) и использует в своей работе подключение к библиотеке сигналов (База сигналов).

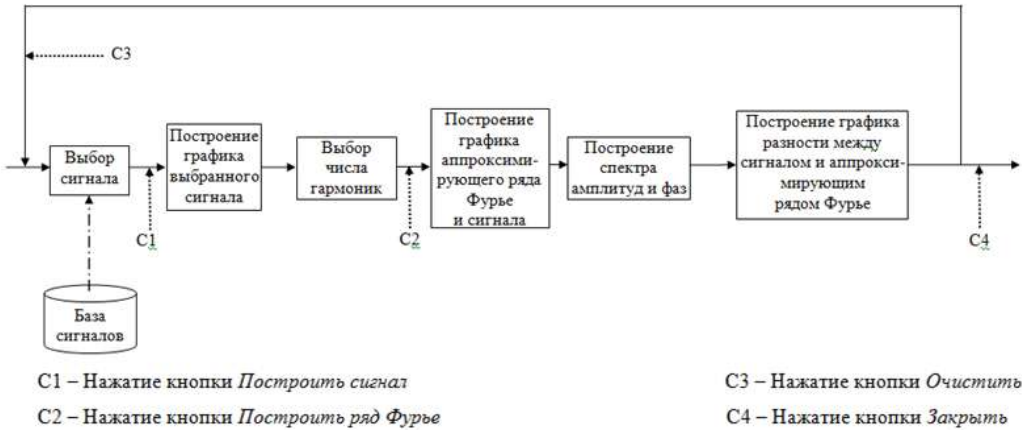


Рис. 4. - Диаграмма переходов фокуса управления интерфейса в lab01.

2) *Построение спектрограммы и периодограммы сигнала* (рис. 5б).

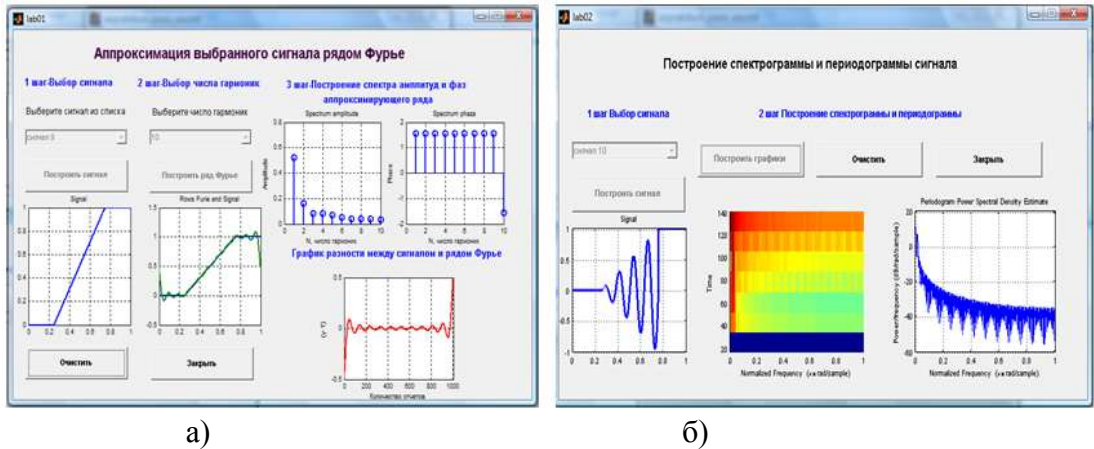
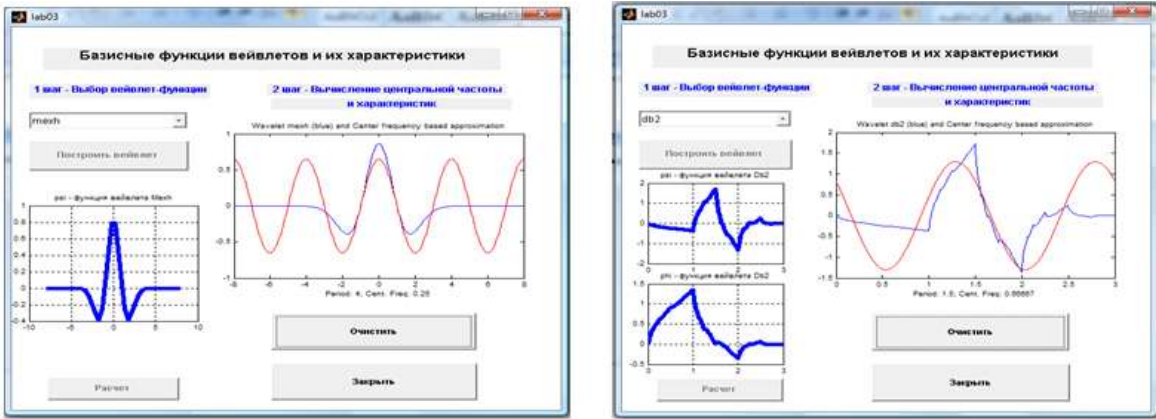


Рис. 5.- Примеры работы программ lab01 (а) и lab02 (б).

3) *Базисные функции вейвлетов и их характеристики.* Выполняет построение ψ_i - или φ_i – функций в зависимости от типа выбранного вейвлета, поэтому при разработке интерфейса в области выбора вейвлет – функции появляется условие (рис. 7), которое

относит выбранный пользователем вейвлет к определенному типу, и исходя из этого строит один (ψ – функцию вейвлета) (рис. 6а) или два (ψ – и ϕ – функции вейвлета) (рис. 6б) графика; в отличие от предыдущей диаграммы перехода фокуса управления интерфейса используется библиотека вейвлет – функций (рис. 7).



а) б)
Рис. 6. - Пример работы программы lab03.

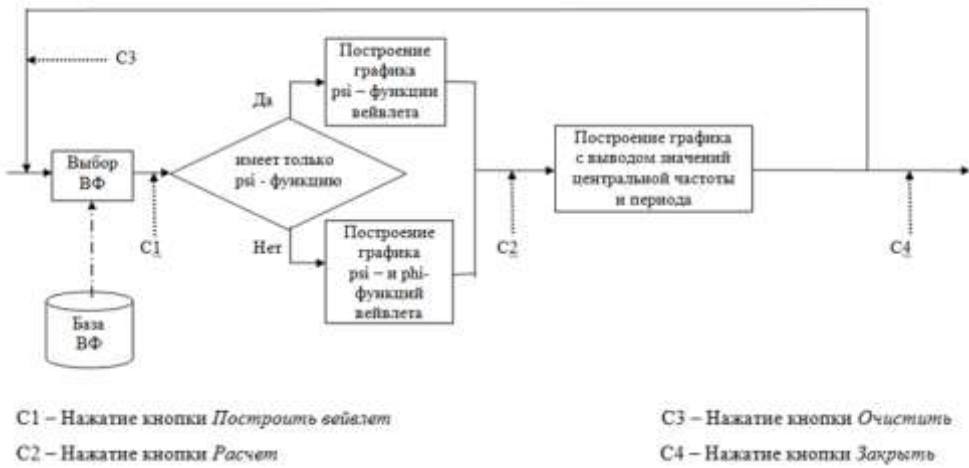


Рис. 7. - Диаграмма переходов фокуса управления интерфейса в lab03.

4) *Непрерывное вейвлет – преобразование. Различные виды визуализации.* При непрерывном вейвлет – преобразовании (НВП) сигнала получается матрица вейвлет – коэффициентов. Наиболее распространенными видами визуализации является поверхность вейвлет – коэффициентов, четыре вида визуализации вейвлет – спектрограмм и контурный график поверхности вейвлет – коэффициентов (рис. 8).

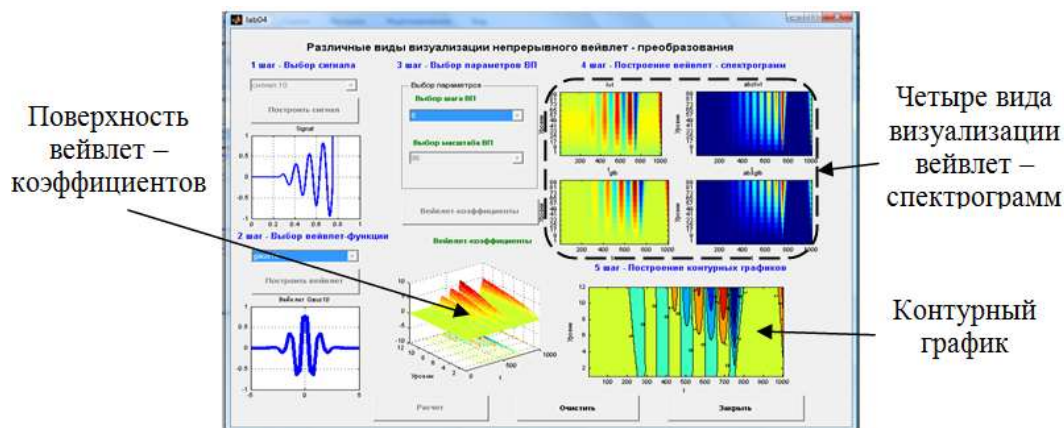


Рис. 8. - Пример работы программы lab04.

5) Значение вейвлет - коэффициентов при масштабах 1 и 9 при различных шагах вейвлет - преобразования (рис. 9). Схема на рис. 9а показывает совпадение полученных уровней при различных шагах НВП [3], например, совпадают будут уровни, которые соответствуют масштабам 1 и 9, а на рис. 9б – вейвлет – спектрограммы при различных шагах НВП и их графики сечений при масштабах 1 и 9.

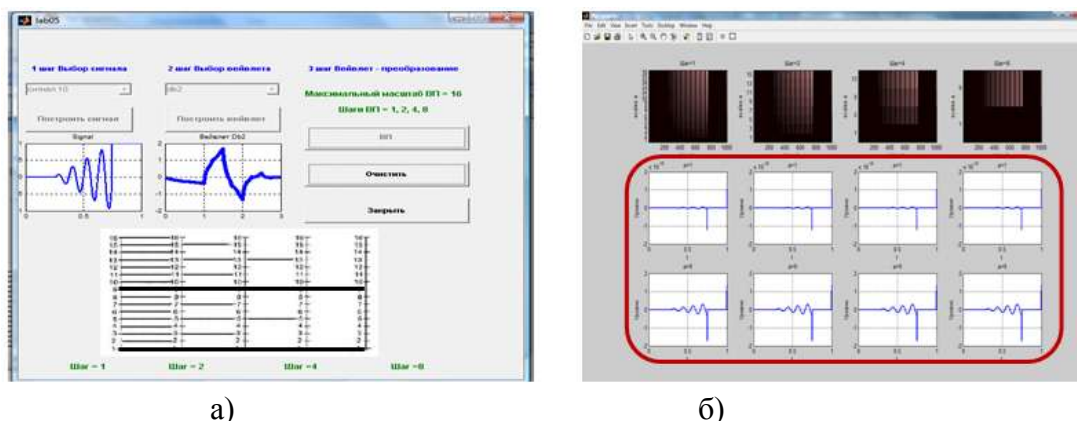


Рис. 9. - Пример работы программы lab05 (а) и результат работы (б).

6) Сравнение преобразования Фурье и непрерывного вейвлет – преобразования для различных сигналов. Последняя программа является модернизацией программы "Schemasrav_1" [1], написанной ранее программы, которая отличается выводом изучаемых функций в отдельные m – файлы и отсутствием меню (рис. 10а). В результате работы программы строятся две фигуры – первая, показывает вейвлет – спектрограммы выбранного сигнала и аппроксимирующего ряда Фурье с различным числом гармоник (рис. 10б) и вторая – коэффициенты корреляции соответствующих уровней различных вейвлет – спектрограмм и их t – критерии значимости (рис. 10в). Данный программный модуль является примером подключения двух библиотек – библиотек сигналов и вейвлет – функций (рис. 11), кроме этого при нажатии кнопки *ВП и расчет* – открываются два графических окна с результатами вычислений.

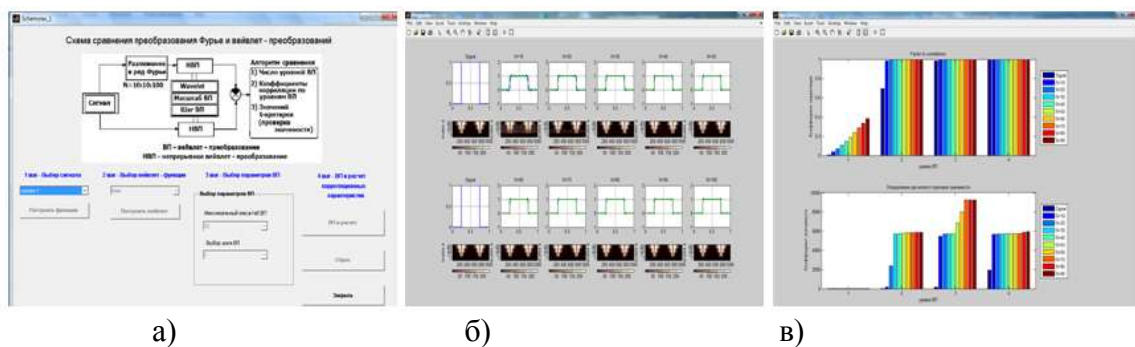


Рис. 10. - Окно программы "Schemasrav_1" (а) и результаты работы программы (б, в).

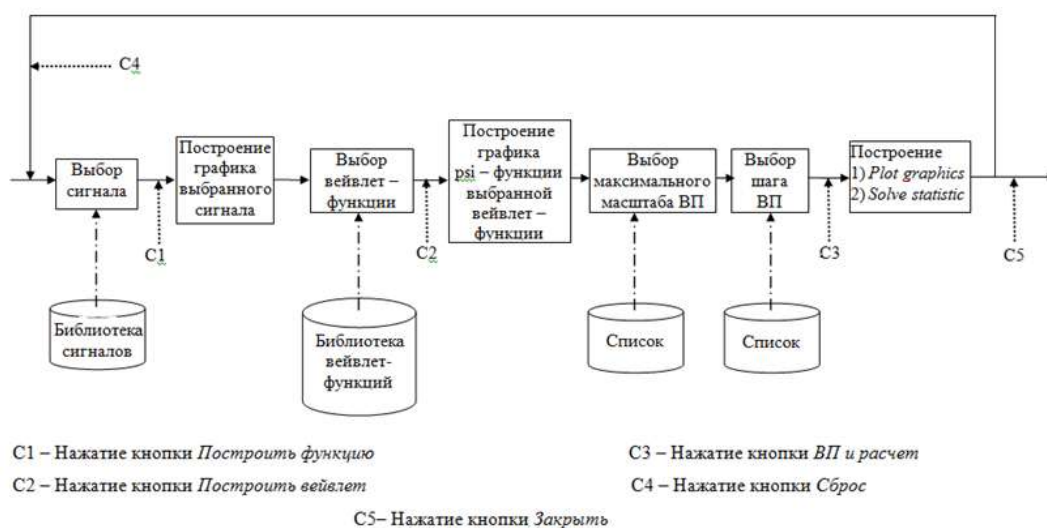


Рис. 11. - Диаграмма переходов фокуса управления интерфейса в lab06.

Для управления ходом выполнения всех рассмотренных программ интерфейс был организован следующим образом: в начале работы все области недоступны, кроме списка выбора функции и кнопки *Закреть*; выполнение программы последовательно активирует элементы, при этом деактивирует только что использованные, что формирует понятный и дружелюбный интерфейс. Результаты вычислений сохраняются в xls – файлы, что позволяет использовать полученные значения для дальнейшей статистической обработки.

В статье рассмотрена разработка интерфейса программных модулей разрабатываемого программного продукта с применением диаграмм переходов фокусов управления, которые наглядно показывают последовательный переход фокуса управления от одного элемента управления к другому, а также обращения и подключения к разрабатываемым библиотекам сигналов и вейвлет – функций. Приведен интерфейс взаимодействия головного модуля и программных модулей.

В дальнейшем планируется расширить перечень и содержание программных модулей.

Список литературы:

1. *Кожанова Е.Р.* Интерфейс программы "Schemasrav_1" / Е. Р. Кожанова, А. А. Захаров, И. М. Ткаченко // Инновации и актуальные проблемы техники и технологий : материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, г. Саратов, 26-29 окт. 2010 г.: в 2 т. / СГТУ. Саратов, 2010. Т. 1. С. 188-190.
2. *Кожанова Е.Р.* Комплекс программ "labpraktikum_osnov_wavelet" для изучения основ вейвлет - анализа / Е.Р. Кожанова, А.А.Захаров, И.М. Ткаченко // Информационные технологии, системы автоматизированного проектирования и автоматизация : сб. науч. тр. II всерос. науч.-техн. конф, посвящ. 80-летию Сарат. гос. техн. ун-та / СГТУ. Саратов, 2010. С. 300-304.
3. *Кожанова Е.Р.* Линейное масштабирование при непрерывном вейвлет - преобразовании в среде MATLAB // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2009): материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием (12-13 ноября 2009г.) – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2009. – Ч.2. – С. 218-220.

А. С. Згурский, Е. В. Корбаинова

Санкт-петербургский государственный университет
информационных технологий, механики и оптики
Россия, г. Санкт-Петербург
elena.v.korbainova@gmail.com, zgurskiy@me.com

МЕТОД СОХРАНЕНИЯ ИДЕНТИФИЦИРУЮЩЕЙ УГРОЗУ ИНФОРМАЦИИ В ДЕТЕКТОРНУЮ ПАМЯТЬ

В статье обсуждается метод сохранения идентифицирующей угрозу информации в детекторную память. Совместное использование генетического и иммунного подхода в реализации данного метода позволяет минимизировать количество ложных сигналов об опасности и обеспечивает, легковесность компонента защиты.

Ключевые слова: алгоритм отрицательного отбора, генетический алгоритм, детектирующий агент, детектирующий набор.

Введение

Особенностью современного мира является его тотальная компьютеризация. Почти все повседневные вещи человек может делать с помощью различных электронных средств. Зачастую ценность компьютера в жизни человека превышает ценность других дорогих вещей, так как он содержит важную информацию, необходимую для жизни и для работы, и поэтому вопрос защиты персональной машины пользователя не теряет своей актуальности. Существует множество различных средств, разработанных специально для защиты вычислительных средств, цель которых, как можно быстрее определить потенциального нарушителя. Предложенный в данной статье метод позволяет уменьшить количество ложных сигналов об опасности, а также в случае необходимости собрать классификационные данные о нарушителе.

Краткое описание системы, реализующей иммунный подход

Проблема предупреждения неизвестных угроз и минимизации ситуации ложных вызовов тесно связано с вопросом обучения детектирующих систем защиты. Ученые давно обратили свое внимание на алгоритмы действия, реализуемые в человеческом организме: нервная система, генетика. С точки зрения защиты информации особый интерес представляет иммунная система, так как ее основные цели и понятийный аппарат во многом совпадают с целями и определениями, устанавливаемыми в области защиты информации. Кроме того, благодаря своим механизмам она эффективно справляется с обнаружением новых угроз, быстрым реагированием на уже встречавшиеся. В предыдущих работах авторов уже подробно описывались основные свойства и механизмы иммунной системы человека, которые можно реализовать при построении КСЗИ для успешного предупреждения атак [2]. При этом выделяются два основных алгоритма, используемых иммунной системой: алгоритм отрицательного отбора и алгоритм подтверждения сигнала об опасности [2,3].

Для исследования вопроса реализации иммунного подхода в КСЗИ был разработан программный продукт, состоящий из пяти компонент: подсистемы записи, подсистемы обработки информации, подсистемы формирования детектирующих агентов, подсистемы проверки, подсистемы «детекторной памяти».

Подсистема записи сохраняет подающуюся на вход информацию в виде списка, хранящегося в файле либо в базе данных. Подсистема обработки информации играет роль связующего звена и подсистемы реагирования. На начальном этапе запуска приложения она

передает данные программному компоненту, генерирующему детектирующие наборы. Формирование наборов происходит на основе алгоритма отрицательного отбора [2,3]. И после обучения, занимаемого несколько циклов, на выходе получается поколение, все элементы которого ни в одной позиции не соответствуют собственным данным. Такой метод обеспечивает состояние постоянной готовности системы к распознаванию новых атак. Готовые детекторы отправляются в подсистему проверки, где участвуют в процессе анализа вводимых данных.

Метод добавления информации в детекторную память

Особую роль в процессе распознавания угрозы играет «детекторная» память. После того как компонент программы, проводящий проверку, сигнализировал о возникновении опасной ситуации, детектирующие наборы, которые участвовали в процессе анализа данных сохраняются в памяти. Это необходимо для того, чтобы в дальнейшем минимизировать время реагирования на часто встречающиеся угрозы, так как параллельно с постоянно обновляемыми детектирующими агентами свою проверку данных проводят агенты, хранящиеся в памяти. То же самое делают и антивирусные программы, когда сохраняют сигнатуры обнаруженных вирусов. Отличие описываемого в данной статье метода состоит в том, что в память записываются не параметры угрозы, а параметры распознавшей попытку атаки агента. Более того, перед добавлением в память (запись в файл, базу данных) распознавшие угрозу детекторы обучаются, чтобы на выходе получились экземпляры, наборы признаков которых, при сравнении с параметрами обнаруженной угрозы, выдали максимальный результат соответствия состоянию опасности. Благодаря этому при дальнейшей повторной попытке атаки процесс идентификации угрозы будет более надежным и позволяет классифицировать злоумышленника.

Для создания набора с оптимальными характеристиками для обнаружения известных угроз применяется схема обучения, совмещающая иммунный и генетический подход. Обучающее поколение формируется на основе алгоритма отрицательного отбора. Детектирующий набор, распознавший угрозу, клонируется несколько раз в ходе цикла размерностью, равной числу размера поколений. Затем все элементы поколения проходят через процесс мутации с целью присвоения их параметрам новых значений. При этом постоянно проводится проверка на комплиментарность заново проинициализированного элемента собственным данным, то есть, сигнализирует ли детектор об опасности, если ему на вход подать любую строку из списка собственных параметров. Если элемент не проходит проверку, ему присваивается новое значение.

Для создания множества выбора элементов было предложено ввести размерность поколения, равную:

$$N = Na * Td / Tr$$

Где Na – количество детектирующих наборов одного поколения; Td – время обнаружения угрозы; Tr – время обновления системы. Однако в таком случае на выходе получалось слишком большое поколение (более 1000), которое могло не успеть обучиться до окончания действия программы. Поэтому был введен дополнительный коэффициент, зависящий от количества совпадающих при обнаружении элементов.

$$N = Na * (Td / Td) * (\sum Un / No)$$

Где $\sum Un$ – сумма обнаруженных совпадений; No – длина очереди. Таким образом, размер поколения на выходе составил приблизительно 500 экземпляров. Все клонированные детекторы, начиная со второго в списке, заново инициализируются. Значение первого элемента оставляется прежним, это необходимо для последующего определения «рентабельности» элементов. Инициализация параметров «молодых» детектирующих агентов происходит согласно разработанному математическому алгоритму. При этом новые значения должны быть близки к исходным.

Новые значения для максимальных и минимальных показателей параметров вычисляются по следующей формуле:

$$V_{max} = T_{kmax} + (\Delta av) - Fr(|\Delta av|)$$

$$V_{min} = T_{kmin} + (\Delta av) + Fr(|\Delta av|)$$

$$\Delta a = T_{kmax} - T_{kmin}$$

Где Fr – функция получения псевдослучайного значения; T_{kmax} – максимальное значение k -го параметра сета с детектирующего агента; T_{kmin} – минимальное значение k -го параметра сета с детектирующего агента.

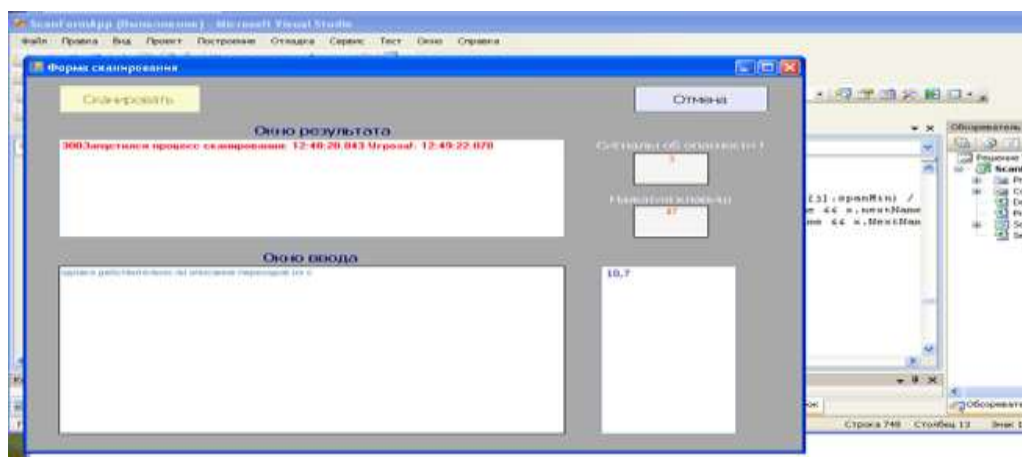


Рис.1 – Результат проверки вводимых данных детектирующим агентом.

После того как поколение было сформировано, с помощью генетического алгоритма проводится его обучение. Детектирующие агенты согласно установленной математической схеме обмениваются своими параметрами, в результате на выходе получают рекомбинированные наборы. Для каждого детектора с рекомбинированным набором параметров вычисляется выходное значение состояния, получаемое при передаче входных данных угрозы ему на вход. Если это значение больше предыдущего (то есть новый детектор более специфичен к угрозе), то он остается в списке, в противном случае – удаляется. Процесс повторяется определенное количество раз, указанное как оптимальное для обучения.

Схема рекомбинации параметров детектирующих агентов может быть разная, например:

$$f(x) = ag_i[i] \leftrightarrow ag_{j-1}[i] \text{ and } ag_j[i+1] \leftrightarrow ag_{j+1}[i+1], n_{pi} \bmod = 0$$

$$f(x) = ag_i[i] \leftrightarrow ag_{j-1}[i] \text{ and } ag_j[i+1] \leftrightarrow ag_{j+1}[i+1], n_{pi} \bmod = 1$$

$$\bmod = Nag \% 2$$

Где n – размер обучаемого поколения детектирующих агентов, $ag_i[i]$ – i -й сет параметров j -го элемента обучающего поколения.

Обученное поколение заново анализируется на выявление самого эффективного детектирующего агента с помощью сравнения их выходных состояний. В итоге остается один элемент, который сохраняется в память, все остальные удаляются.

Заключение

В ходе исследования был разработан метод, использующий совместно генетический и иммунный подходы для сохранения детектирующих наборов, распознавших угрозу, в детекторную память. Применение данного метода в системах защиты информации позволяет минимизировать количество ложных вызовов, а также снизить объем затрачиваемых под хранение данных ресурсов, так как сохраняются не признаки самой угрозы, а данные детектирующего агента, распознавшего ее. В дальнейшем планируется

провести исследования по оптимизации алгоритма обучения и добавления метода классификации угроз.

Список литературы:

1. Джеймс Л. Фишинг. Техника компьютерных преступлений. — М.: НТ Пресс, 2008. — 320с.
2. Корбаинова Е.В. К вопросу о реализации иммунного подхода в системах защиты // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. — 2010. — №5. — С.38-40.
3. Abraham A. Evolutionary Design of Intrusion Detection Programs / Abraham A., Grosan C., Martin-Vide C. //International Journal of Network Security. — 2007. — Vol.4, № 3. — С.328-339.
4. Esponda F. Protecting data privacy through hard-to-reverse negative databases/ Esponda F., Ackley E. S., Helman P., Forrest S. // International Journal of Information Security. — 2007. — Vol.6, № 6. — P.403-416.
5. Timmis J. On Artificial Immune Systems and Swarm Intelligence / Timmis J., Andrews P., Hart E. // Swarm Intelligence. — 2010. — №4(4) . — P.247-273.

Б. Р. Исакулов к.т.н.

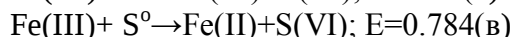
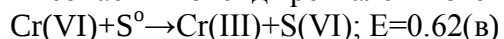
Актюбинский университет им. С. Баишева
Казахстан, г. Актобе
mr.baizak@mail

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ КАЗАХСТАНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

В работе использован принцип взаимной нейтрализации токсичных компонентов используемых отходов Западного Казахстана путем их механохимической обработки при невысокой температуре.

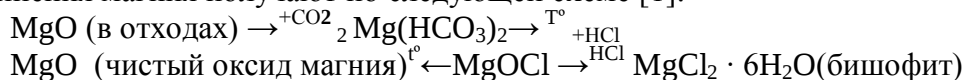
Ключевые слова: отходы, бетон, очистка вод, арболит

Вязущими компонентами в выбранных нами легких бетонах является сера, цемент, магниальное вяжущее и, частично, компоненты хромсодержащего шлама [1-13]. Пиритный огарок ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) и сера восстанавливают токсичные соединения хрома (VI) CrO_3 в неопасный оксид трехвалентного хрома Cr_2O_3 :



Положительное значение э.д.с. реакций (E) свидетельствует о возможности протекания реакции в данном направлении, при обычной температуре (298°K).

Практически неограниченным источником оксида и оксихлорида магния являются серпентиниты – вмещающая порода Актюбинских хромитовых руд, из отходов которых соединения магния получают по следующей схеме [1]:



Отходы природной целлюлозы, после мерсеризации [4,13] могут эффективно и необратимо, путем адсорбции, очищать воду от соединений хрома (III;VI), бора, ряда токсичных тяжелых металлов.

Весьма ценным с экологической, экономической и технологической точек зрения является утилизация и использование целлюлозных сорбентов после отработки их ресурса, в качестве компонентов сырьевых смесей для получения легких бетонов (арболитов), обладающих рядом положительных свойств: легкостью, нетоксичностью, малой звуко- и теплопроводностью и дешевизной при достаточной прочности. К арболитам относятся разновидности легких бетонов, состоящие из минерального вяжущего вещества и органического заполнителя в виде древесных и растительных отходов (дробленая древесина, тростник камыша, стебли хлопчатника, рисовая солома, косточки ореха и т.п. в дробленном виде).

Компоненты исходного неорганического сырья при механохимическом измельчении в шаровой мельнице реагируют друг с другом.

Для того, чтобы в системах из кристаллических или некристаллических твердых тел могли протекать химические реакции, необходимо, чтобы атомы в этих твердых телах могли перемещаться.

Если атомы переходят из нормальных узлов решетки в междоузлия, то они далее легко перемещаются по кристаллу из одного междоузлия в другое. Один из вариантов последнего механизма является так называемый “эстафетный” механизм, при котором атом, находившийся в междоузлии, переходит в нормальный узел, выталкивая ранее

находившийся там атом в новые междоузлия. Этот тип перемещения атомов может наблюдаться тогда, когда прямое перемещение атома из одного междоузлия в другое энергетически не выгодно. Возможны также перемещения “дырок” и дефектов самой решетки. Рассмотренные механизмы перемещения атомов по решетке могут иметь место, но какой из них реализуется в каждом конкретном случае, зависит от величины энергии, необходимой для протекания данного процесса. Общий энергетический эффект определяется величиной ΔH реакций.

В настоящее время прямыми опытами доказано[8], что при нагревании смесей двух твердых веществ при температурах, значительно ниже температуры при появлении жидкой фазы, образуются новые вещества. В нашем случае, при t° менее 100°C , жидкой фазой является пленка воды на поверхности твердой фазы. По-видимому, необходимость легкого увлажнения реакционной смеси, которое мы установили в наших экспериментах, вызвана положительной ролью жидкой фазы воды, ускоряющей механохимическую реакцию в твердой фазе.

К факторам, влияющим на ход твердофазных реакций, относятся следующие:

1. Температура и время.
2. Тонкость измельчения исходных компонентов реакции.
3. Уплотнение смеси, (создается большее число контактов частиц смеси).
4. Природа исходных сырьевых материалов: окислительно-восстановительные свойства, степень дефектности их строения, увеличивающая скорость диффузии через слой продукта реакции. Аморфные разновидности реагируют значительно быстрее кристаллических (в нашем случае это сера).

5. Перемешивание. Если технологические условия таковы, что процесс приходится проводить в порошкообразном состоянии, то перемешивание играет важную роль, т.к. при перемешивании все время удаляется реакционный слой и облегчается соприкосновение еще непрореагировавших частиц.

При проведении экспериментов мы учитывали влияние на конечный результат всех пяти факторов.

В качестве объектов данного исследования взяты, пиритный огарок Алгинского химического комбината Актюбинской области и сера отходы Атырауского нефтеперегонного завода (Западный Казахстан). В работе применялся также портландцемент марки 400 Чимкентского цементного завода Южно-Казахстанской области.

Испытание проводили в соответствии с ГОСТом 310.1-76, 310.2-76, 310.3-76, 310.4-76. Для получения цемента, клинкер (97%) и гипс (3%) загружали в мельницу, размалывали до тонкости, характеризующейся 8 – 10% остатка на сите № 008. Помол пиритного огарка и серы производили отдельно. Подготовленные компоненты пиритного огарка и серы взвешивали в соотношениях 200:100, 250:100, 250:150 и перемешивали в лабораторной шаровой мельнице в течение 20 мин.

Количество добавок брали 25, 30 и 35 % от массы вяжущего. Предварительный помол клинкера с гипсом и последующее введение добавки обеспечивали тонкое измельчение частиц гипса и его равномерное распределение среди клинкерных зерен. Оптимальная дозировка активных минеральных добавок составляет 25-35% по массе вяжущего (табл.). При этом прочность портландцемента с серосодержащими смешанными добавками возрастает до 30МПа. С увеличением дозировки добавок, активность портландцемента снижается. Цементный камень без добавки характеризуется, как правило, более плавным нарастанием прочности.

При оптимальной дозировке смешанных добавок прочность цементного камня интенсивно возрастает, особенно в начальные сроки твердения. В дальнейшем также наблюдается повышение прочности цементного камня, хотя и в меньшей степени. На начальной стадии твердения портландцемента с активными минеральными добавками упрочнение структуры происходит вследствие гидратации и гидролиза клинкерных

минералов. Из таблицы видно что увеличение состава активированных добавок в составе вяжущего не снижает прочности бетона в раннем возрасте, и со временем, прочность серосодержащих вяжущих повышается. Оптимальным составом активированных добавок является соотношение 67:20:13(%).

Экспериментальные данные (таблица) позволяют сделать вывод, что применение добавок, полученных путем механохимической активации серосодержащего вяжущего, не оказывает существенного отрицательного влияния на прочность образцов и этот материал можно применять в производстве легких бетонов.

Таблица

Свойства серосодержащих вяжущих

№ п/п	Состав	% по массе (цемент: пирит: сера)	количество добавки, % от массы вяжущего	Количество теста, %	Прочность образцов после пропарки, МПа	Прочность образцов после твердения в естественных условиях, суток, Мпа		
						3	7	28
1	Без добавки	-	-	27	40	26	38	50
2	Добавки состоящие из серы и пиритного огарка	74:18:8	26	25,0	41	30	39	59
		70:18:12	30	24,8	42	35	47	65
		67:20:13	33	25,2	43	37	48	67

Полученные методом активации и детоксикации серосодержащие вяжущие (цементы) позволяют получать и применять, в производстве легких бетонов в качестве стенового материала для малоэтажного строительства.

Выводы:

1. В работе показана возможность совместной механохимической активации и детоксикации промышленных отходов и некондиционного сырья Западного Казахстана для получения легких бетонов (арболитов).

2. Рекогносцировочные эксперименты подтверждают перспективы получения вяжущих веществ с улучшенными физико – механическими свойствами из изученных в данной работе промышленных отходов.

Список литературы:

1. Каскин К.К., Сарсенов А.М. "Комплексное использование сырья и отходов при переработке хромитовых руд." Аналитический обзор (брошюра), Актюбинский центр научно – технической информации, - Актюбе, 2003-20с.
2. Базарбаева С.М. Комплексная переработка и утилизация промышленных отходов Западного Казахстана (на примере основных производств Актюбинской и Атырауской областей). Автореферат докторской диссертаций, РК ЮКГУ, Шымкент, 2010-37с.
3. Краткая химическая энциклопедия. Том I-V., Советская энциклопедия, М., 1988.
4. Саренов А. Экологическая безопасность и ресурсосбережение при переработке хромитовых и боратовых руд Западного Казахстана. Изд. ВШ РК, Алматы -343с (монография).
5. Оптовые цены на химреактивы и препараты (прейскурант №05-11045.). Прейскурант издат, М., 1984-517с.
6. Агеев В.Г., Михин Я.Я. Металлургические расчеты. Изд. Металлургия, Москва , 1982-207с.
7. Патент Российской Федераций RU2276119 "Сырьевая смесь для изготовления строительных конструкции и изделий" с приоритетом от 16.01.2004.
8. Мень А.Н., Воробьев Ю.П., Чуфаров Г.И. Физико – химические свойства нестехиометрических оксидов. Изд. "химия", 1973-224с.
9. Федоров Н.Ф., Туник Т.А., Лабораторный практикум по физической химии силикатов – Ленинград : Изд-во Ленинградского университета, 1987-188с.
10. Павлов Н.Н. Неорганическая химия .-М.: Высшая школа. 1986-336с.
11. Юбельт Р., Шрайтер П. Определитель горных пород (перевод с немецкого Фельдман Л.Г.) Изд. "Мир" Москва, 1987-237с.
12. Грушко Я.М. Вредные неорганические соединения в промышленных сточных водах: Справочник. - Л. : Химия, 1979-169с.
13. Вольф Л.А. и др. Волокна с особыми свойствами – М.: Химия, 1980-240с.

В. А. Лысов¹, О. В. Шевченко², А. В. Щёголев³

¹Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)
Оренбургский государственный университет
механико-технологический факультет
Россия, г. Орск
lysov.vladimir-orisk@yandex.ru

²ОАО «Орскнефтеоргсинтез»
Россия, г. Орск
oksanaavsh@yandex.ru

³ОАО «Механический завод»
Россия, г. Орск
andrej-shhegolev@yandex.ru

ОТОБРАЖЕНИЕ ПЛОСКИХ ГРАФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ ЭЛЕКТРОННО-АНАЛИТИЧЕСКИМИ ФОРМАМИ

В работе рассматривается метод автоматического отображения плоских графических образов квадратичными формами. Обосновывается производственная необходимость метода. Приводятся теоретическое обоснование, прикладной математический аппарат. Описываются алгоритм построения гладкой кривой, образованной дугами парабол, интерфейс пользователя, визуализация процесса. Определяется состав исходных и результирующих данных. Анализируется научно-производственный опыт авторов разработки, внедрения и эксплуатации на предприятии машиностроительного профиля.

Ключевые слова: отображение, криволинейный контур, графический образ, гладкая кривая, осевое сечение, технологический процесс, глубокая вытяжка, инструмент, матрица и пуансон, электронно-аналитическая форма, парабола, квадратичная форма.

Постановка задачи. Производственная необходимость

В настоящей работе рассматривается метод автоматического отображения плоских графических образов электронно-аналитическими (квадратичными) формами, с помощью которого на ОАО «Механический завод» (г.Орск, Оренбургская область) авторами решены следующие задачи.

1. «Оперативная оценка станкоёмкости производственной программы изготовления технологического инструмента на основании эскизов». Создана основа своевременного планирования деятельности цехов и участков инструментального производства независимо от готовности КД и ТД [2].

2. «Графоаналитическая модель динамики механических свойств металлов». Выполнен перевод эмпирических данных с бумажных носителей в электронный формат.

3. «Оперативная оценка геометрических параметров (объём, площадь внешней и внутренней поверхности, площадь осевого сечения) изделия и его полуфабрикатов». Получена возможность предварительного расчёта материалоёмкости, в частности, металлоёмкости изделия.

Отмеченные задачи являются одними из основных составляющих «Системы автоматизированного оперативного проектирования технологических процессов изготовления цилиндрических осесимметричных деталей с плоской и рельефной донной

частью методом глубокой вытяжки». Результаты используются для оперативного принятия решений о целесообразности изготовления новых моделей изделий, а также ранее производимых на уровне *эскизов*, независимо от готовности КД и ТД.

Теоретическая основа

Совокупность функциональных зависимостей

$$F(x)=P_i x^2+Q_i x+R_i \quad (i=1,2,...,n)$$

называется электронно-аналитической формой криволинейного контура, если имеет место гладкая кривая, образованная дугами парабол, которая отображает данный контур с определённой точностью и представлена в электронном формате.

Другими словами, имеет место *гладкое* параболическое отображение, наиболее приемлемое для результативного исследования численными и прикладными методами дифференциального и интегрального исчисления.

Утверждение.

Пусть $M_1,M_2,...,M_n$ – последовательность точек, определяющая некоторый плоский криволинейный контур ($n>3$). Существует плоская гладкая кривая, образованная дугами парабол, последовательно проходящая через точки $M_1,M_2,...,M_n$ (Рис. 1).

Обоснование.

Точки $M_1,M_2,...,M_n$ заданы в декартовой системе координат. Координаты $(x_i;y_i)$ определяют системы линейных алгебраических уравнений третьего порядка, решением которых являются значения коэффициентов P_j,Q_i,R_i квадратичных форм (парабол).

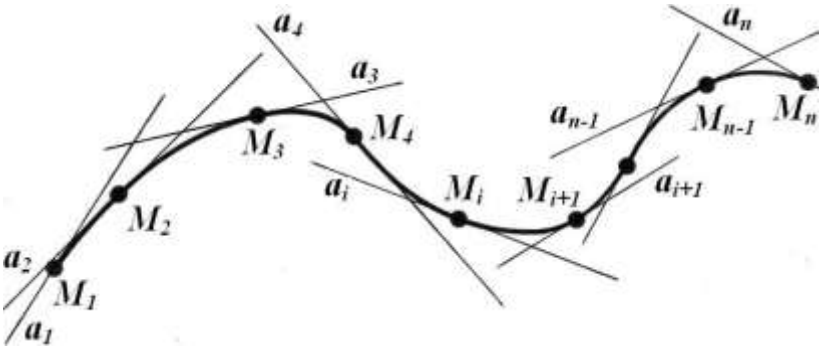


Рис. 1 – Гладкая кривая, образованная дугами парабол.

Для первого фрагмента $M_1M_2M_3$ квадратичная форма (парабола) однозначно определяется тремя точками. Далее, рекуррентно для последующих фрагментов M_iM_{i+1} квадратичная форма (парабола) однозначно определена двумя точками M_i, M_{i+1} и значением производной первого порядка (угловым коэффициентом касательной параболы) в точке M_i . Значения P_j,Q_i,R_i вычисляются решением системы уравнений в матричной форме [1]:

$$X_i=A_i^{-1}B_i$$

$$A_1=\begin{pmatrix}x_0^2&x_0&1\\x_1^2&x_1&1\\x_2^2&x_2&1\end{pmatrix} \quad A_i=\begin{pmatrix}x_i^2&x_i&1\\x_{i+1}^2&x_{i+1}&1\\2x_i&1&0\end{pmatrix} \quad B_1=\begin{pmatrix}y_1\\y_2\\y_3\end{pmatrix} \quad B_i=\begin{pmatrix}y_i\\y_{i+1}\\2P_{i-1}x_i+Q_{i-1}\end{pmatrix} \quad X_i=\begin{pmatrix}P_i\\Q_i\\R_i\end{pmatrix}$$

Существование и единственность решения обосновывает данное утверждение.

Алгоритм отображения

1. Выбор криволинейного контура, регламентирующего исследуемый плоский графический образ. Например, внешняя линия осевого сечения. Контур сканируется в формат .jpg или .bmp. Контур может быть разрывным, иметь нечёткое изображение (Рис. 2).
2. Размещение исходного криволинейного контура в системе координат. Разбиение контура на фрагменты нанесением точек (Рис. 2). Моделирование по фрагментам функциональной зависимости одной независимой переменной (квадратичной).

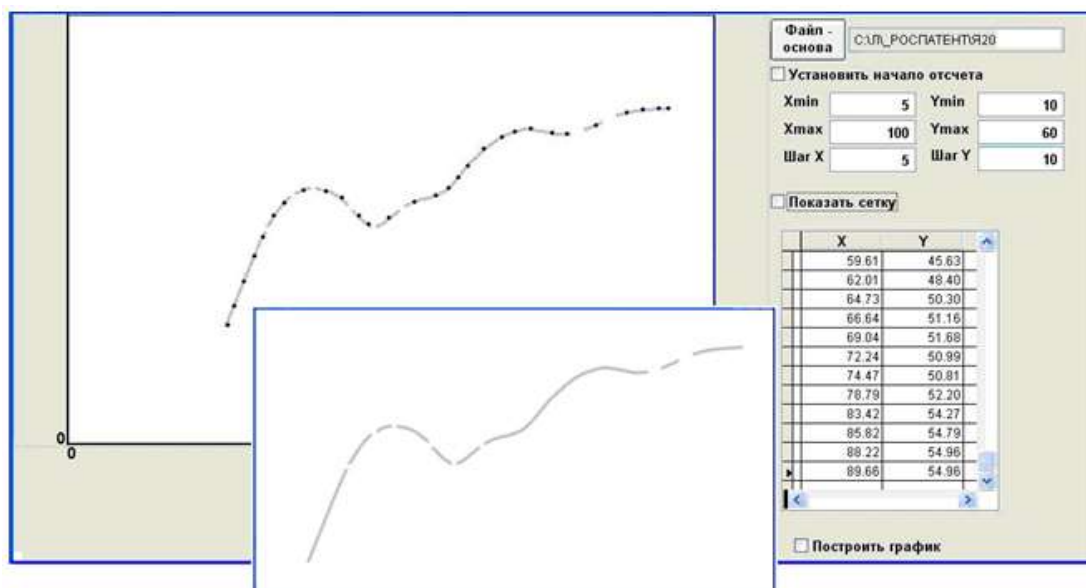


Рис. 2 – Подготовка исходных данных графических и в координатах.

3. Предварительное отображение криволинейного контура (Рис. 3).

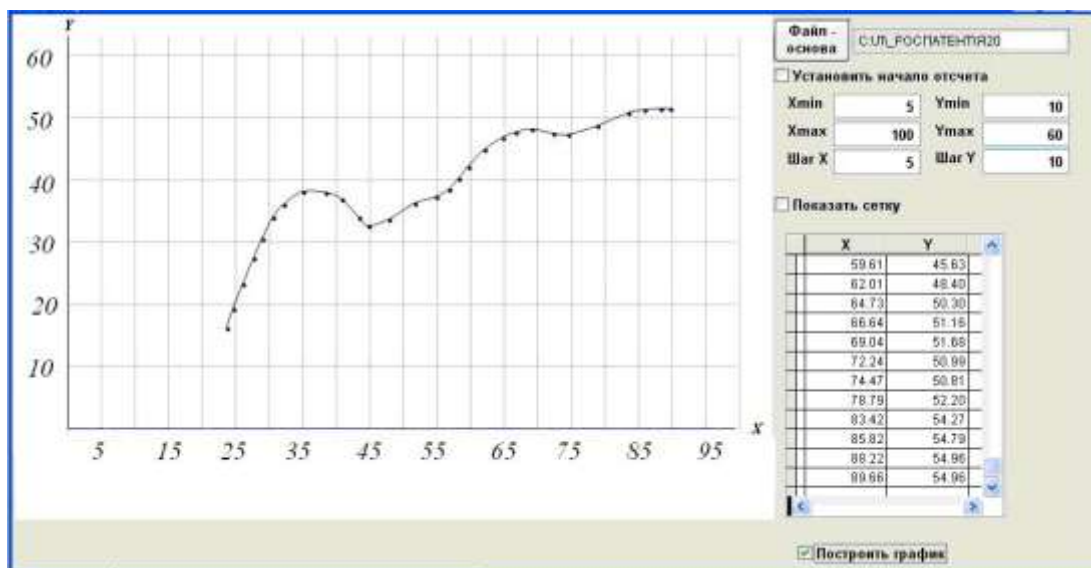


Рис. 3 – Интерфейс внесения изменений графический и в координатах.

4. Визуальный контроль наложением предварительного отображения на сканированный исходный криволинейный контур (Рис. 4). Если результат не удовлетворяет, то необходимо вернуться к пункту 2 и уменьшить шаг разбиения.

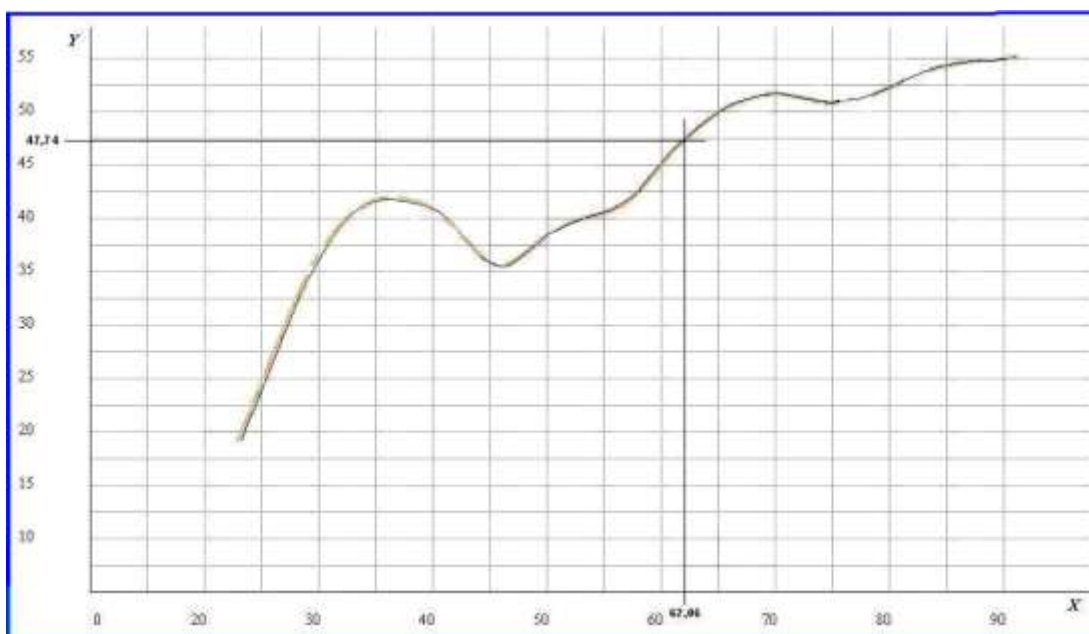


Рис. 4 – Визуальный контроль. Графический интерфейс.

5. Окончательное отображение криволинейного контура. Привязка к конкретному значению смещением по осям координат (Рис. 5).

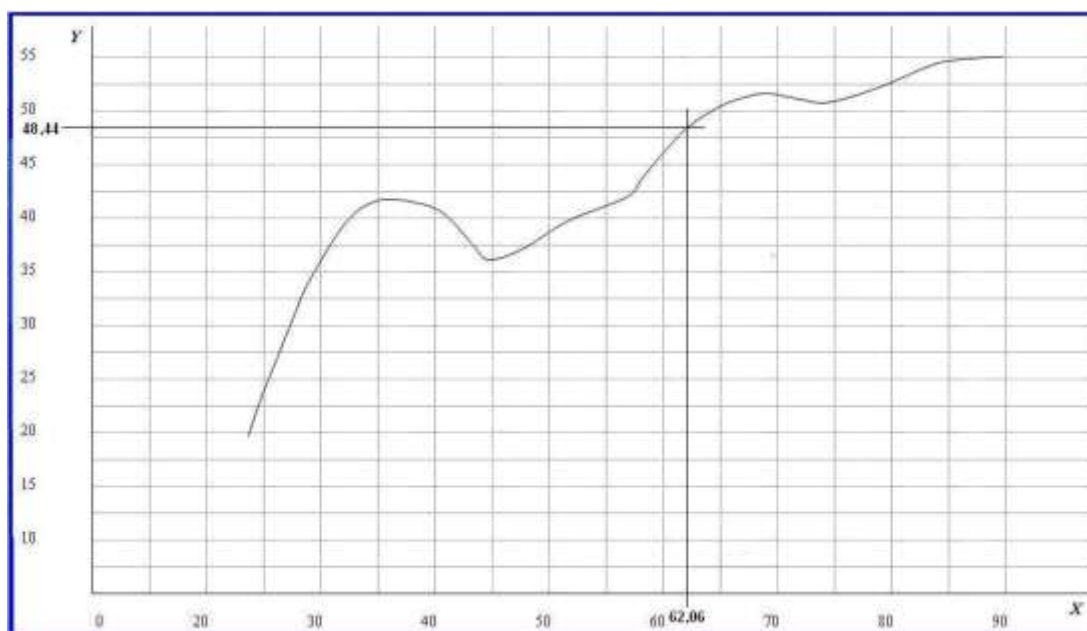


Рис. 5 – Окончательное отображение. Привязка. Графический интерфейс.

Программное обеспечение

Для создания программного обеспечения выбран объектно-ориентированный процедурный язык программирования Visual FoxPro. Используются возможности интерфейса прикладного программирования Gdi+ для создания графических образов. Применена виртуальная машина для тестирования программного обеспечения в различных операционных системах.

Практические результаты

Таблица – Расчёт коэффициентов квадратичных форм электронно-аналитического отображения плоского криволинейного контура

Фрагмент	Индекс i	Координаты точки M_i		Матрица системы A_i . Столбец свободных членов B_i				Коэффициенты P_j, Q_i, R_i	Угл.коэфф. k_i , угол α_i в град касательной a_i	
		x_i	y_i						k_i	α_i
1	0	23,65	19,70	559,3225	23,65	1,0	19,70	-0,1982	3,4299	73,36
	1	24,61	22,81	605,6521	24,61	1,0	22,81	12,8050	3,0493	71,47
	2	26,05	26,79	678,6025	26,05	1,0	26,79	-172,2773	2,4785	67,68
2	2	26,05	26,79	678,6025	26,05	1,0	26,79	0,0720	2,4785	67,68
	3	27,65	30,94	764,5225	27,65	1,0	30,94	-1,2753	2,7090	69,38
				52,1000	1,00	0,0	2,48	11,1182		
3	3	27,65	30,94	764,5225	27,65	1,0	30,94	-0,2182	2,7090	69,38
	4	28,93	34,05	836,9449	28,93	1,0	34,05	14,7774	2,1503	64,72
				55,3000	1,00	0,0	2,71	-210,8099		
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
24	24	85,82	54,79	7365,0724	85,82	1,0	54,79	-0,2086	0,5716	29,60
	25	88,22	54,96	7782,7684	88,22	1,0	54,96	36,3815	-0,4299	-23,14
				171,6400	1,00	0,0	0,57	-1530,8668		
25	25	88,22	54,96	7782,7684	88,22	1,0	54,96	0,3082	-0,4299	-23,14
	26	89,66	54,98	8038,9156	89,66	1,0	54,98	-54,8050	0,4577	24,47
				176,4400	1,00	0,0	-0,43	2491,3698		

Вычисляются значения:

$$k_i = 2P_i x_i + Q_i \quad \alpha_i = \arctg(k_i)$$

Контроль вычислительного процесса осуществляется проверкой:

$$y_i = P_i x_i^2 + Q_i x_i + R_i$$

Контроль гладкости – равенством угловых коэффициентов касательных (значений производных первого порядка) в конечной точке текущего фрагмента и в начальной точке последующего.

Выводы

1. Метод, представленный в работе, создаёт основу нетрадиционного подхода оперативной оценки параметров нового изделия или производимого ранее на основании эскизов, независимо от готовности КД и ТД, с целью принятия решений о целесообразности изготовления.

2. Метод определяет теоретическую и практическую основу построения графоаналитических моделей преобразованием дискретных графических данных в формат непрерывных функциональных зависимостей. Имеет место гладкое электронно-аналитическое (параболическое) отображение плоских графических образов.

3. Универсальность метода позволяет широко применять его в решении задач оперативной оценки параметров технологических процессов.

4. Метод экономичен, приемлем по временным характеристикам, совместим с прикладным математическим аппаратом.

5. Приведенные факторы объективно определяют необходимость совершенствования рассмотренного в работе метода отображения плоских графических образов электронно-аналитическими формами.

Список литературы:

1. Амосов, А.А. Вычислительные методы для инженеров: Учебное пособие - 2-е изд., доп. [Текст] / А.А. Амосов, Ю.А. Дубинский, Н.В. Копчёнова – М.: Издательство МЭИ, 2003.- 569 с., ил.

2. Лысов, В.А. Математическая модель расчёта станкоёмкости производственной программы изготовления технологического инструмента [Текст] / В.А. Лысов, С.В. Кириленко // Инновационная деятельность предприятий по исследованию, обработке и получению современных конструкционных материалов и сплавов: сборник докладов международной научной конференции. - М., Машиностроение, 2009. – С. 38-60.

Е. Н. Минаев д.т.н.

Саратовский государственный технический университет
Физико-технический факультет, кафедра общей физики
Россия, г. Саратов
emin@sstu.ru

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДОВ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ КОРРОЗИИ ГАЛЬВАНОПАР

Представлен метод расчета тока на аноде гальванопары. Расчет проведен на основе решения стационарного дифференциального уравнения в частных производных для потенциала. Рассмотрен электрохимический метод, позволяющий выделить из суммарной плотности тока на аноде плотность тока растворения. Показана необходимость совместного применения этих методов.

Ключевые слова: гальванопары, электрическое поле, расчет, анодное растворение, поляризационное сопротивление.

Наиболее разрушительные виды коррозии (свищи, язвы, трещины), которые являются непосредственной причиной выхода оборудования из строя, происходят по механизму образования гальванопар и многоэлектродных систем при контакте металла с раствором (морская, речная, грунтовые воды, рабочие водные среды в теплоэнергетике и т.д.). Причиной образования таких электрохимических систем является либо контакт разнородных металлов, либо другие физико-химические неоднородности: неравномерные нагрев, обтекание, аэрация, механические напряжения, вызывающие электрохимическую гетерогенность на границе металл-раствор. При этом в растворе и на границе возникает стационарное электрическое поле, анализируя которое можно получить плотность электрического тока анода j . Именно ускоренное разрушение анода приводит к образованию свищей и язв. Так например, если поверхность металла с трещиной находится под действием механических напряжений, то концентратор напряжений (трещина) является анодом, подвергается усиленной коррозии, ещё больше растёт, создавая ещё большие концентрации напряжений, что приводит к коррозионно-механическому растрескиванию или усталости.

Прогнозирование коррозии в этих случаях осуществляется на основе решения стационарного дифференциального уравнения в частных производных для потенциала, как правило, с граничными условиями третьего рода, условиями третьего рода с переменным коэффициентом поляризации или нелинейными условиями на границе [1]. Автором был разработан метод расчёта электрического поля на границе для многоэлектродных электрохимических полосовых систем [2].

В данной работе этот общий метод использован для прогнозирования коррозии сварного стыкового соединения, исходя из его двухэлектродной модели. Примем следующие обозначения: ϕ_1 – разность электрохимических потенциалов сварного шва и основного металла при отсутствии внешнего поля, α_1 – удельная поляризуемость сварного шва, α_2 – удельная поляризуемость основного металла, λ – удельная электропроводность раствора, X_1 – половина ширины шва. В результате решения и его последующего анализа, получили значения плотности тока на аноде (на сварном шве) j

$$j = (f_1 - \varphi_1) / (\alpha_1 - \alpha_2), \quad (1)$$

где неизвестная f_1 находится из уравнения

$$f_1 = \varphi_1 + \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)}{x_1} L_{11} f_1, \quad (2)$$

а коэффициент L_{11} определяется по формуле

$$L_{11} = \frac{1}{\pi} \left[ci(x^*) \cos(x^*) + si(x^*) \sin(x^*) - \ln(x^*) - 0.572 \right], \quad (3)$$

величина x^* равна $2x_1 / (\alpha_2 \lambda)$, $ci(x^*)$ – интегральный косинус, $si(x^*)$ – интегральный синус

$$ci(x^*) = \int_0^{x^*} \frac{\cos(\tau)}{\tau} d\tau, \quad si(x^*) = \int_0^{x^*} \frac{\sin(\tau)}{\tau} d\tau, \quad (4)$$

которые берутся из таблиц специальных функций[3].

Данная расчётная схема использовалась при прогнозировании коррозии сварных стыковых соединений низкоуглеродистой стали и нержавеющей стали 12Х18Н10Т в 3% растворе NaCl. Исходные данные расчета взяты из литературы [1,4]. Исходные данные и результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 — Плотности тока на аноде и катоде в стыковом сварном соединении из низкоуглеродистой стали в 3% растворе NaCl

Исходные данные	Шов (анод) $\varphi_1 = -172 мВ$ $\alpha_1 = 0.03 Ом \cdot м^2$		Основной металл (катод) $\varphi_1 = -152 мВ$ $\alpha_1 = 0.3 Ом \cdot м^2$		
Координата $x, см$	0	2	2	5	10
Плотность тока $j(x), А/м^2$	0.430	0.432	-0.0135	-0.0124	-0.0113

Таблица 2— Плотности тока на аноде и катоде в стыковом сварном соединении стали 12Х18Н10Т 3% растворе NaCl

Исходные данные	Шов (анод) $\varphi_1 = 108 мВ$ $\alpha_1 = 0.4 Ом \cdot м^2$		Основной металл (катод) $\varphi_1 = 137 мВ$ $\alpha_1 = 2 Ом \cdot м^2$		
Координата $x, см$	0	1	1	10	20
Плотность тока $j(x), А/м^2$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$-5 \cdot 10^{-4}$	$-2.4 \cdot 10^{-4}$	$-1.8 \cdot 10^{-4}$

Таким образом, плотность тока на аноде в первом и во втором случаях равна соответственно $j = 0.43 А/м^2$ и $j = 0.03 А/м^2$. Но этот результат еще не является окончательным, так как указанные значения представляют собой разность плотностей тока анодного растворения металла j_a (истинная скорость коррозии) и катодного восстановления деполяризатора j_k

$$j = j_a - |j_k|. \quad (5)$$

Автором разработан электрохимический метод, позволяющий выделить j_a из j , представленный ниже. Рассмотрим электрод, на поверхности которого протекают две реакции: анодного растворения металла и катодного восстановления деполяризатора. Предполагая, что поляризующий потенциал находится на достаточном удалении как от равновесного потенциала анодного растворения, так и от равновесного потенциала катодного восстановления и, следовательно, пренебрегая полуреакциями восстановления металла и окисления гидроксильных ионов или атомов водорода, используя тафелевские зависимости для j_a и j_k , запишем плотность суммарного тока j

$$j = j_1 \exp\left\{\frac{\varphi - \varphi_1}{b_1}\right\} - j_2 \exp\left\{\frac{\varphi_2 - \varphi}{b_2}\right\}, \quad (6)$$

где b_1, b_2 — анодная и катодная константы, j_1, j_2 — плотности токов обмена, φ_1, φ_2 — равновесные потенциалы. Продифференцировав выражение (6) по потенциалу и учитывая, что производная от плотности внешнего тока является обратной удельной поляризуемостью α (удельным поляризационным сопротивлением), получим

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{j_1}{b_1} \exp\left\{\frac{\varphi - \varphi_1}{b_1}\right\} + \frac{j_2}{b_2} \exp\left\{\frac{\varphi_2 - \varphi}{b_2}\right\}. \quad (7)$$

Выражая плотность токов обмена через парциальные анодную и катодную плотности токов j_a, j_k и экспоненты, подставляя полученные выражения в (7), определим

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{j_a}{b_1} + \frac{|j_k|}{b_2}, \quad (8)$$

используя далее баланс плотностей токов на аноде (5), преобразуем (8) к виду

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{j_a}{b_1} + \frac{j_a - j}{b_2}. \quad (9)$$

Производя далее ряд простых алгебраических преобразований и учитывая, что, $b_a = 2.3b_1, b_k = 2.3b_2$, где b_a, b_k — константы Тафеля, окончательно получим

$$j_a = \frac{b_a b_k}{2.3(b_a + b_k)} \cdot \frac{1}{\alpha} + \frac{b_a}{b_a + b_k} j. \quad (10)$$

Таким образом, зная плотность внешнего поляризующего тока j и определив удельную поляризуемость α при этой плотности тока, можно рассчитать скорость коррозии на аноде. При катодной поляризации получим выражение аналогичное (10)

$$j_a = \frac{b_a b_k}{2.3(b_a + b_k)} \cdot \frac{1}{\alpha} - \frac{b_a}{b_a + b_k} |j|. \quad (11)$$

Отметим, что широко известное выражение Штерна-Гири, лежащее в основе метода поляризационного сопротивления, получается из (10), как частный случай при $j \rightarrow 0$.

Используя данные таблиц 1 и 2, а также значения $b_a = 0.059$ В, $b_k = 0.118$ В [5], находим для низкоуглеродистой стали $j_a = 0.71$, которая отличается от плотности суммарного тока анода j на 65%. Для нержавеющей стали 12Х18Н10Т эта величина составляет $j_a = 0.0525$, то есть отличается от плотности суммарного тока анода j на 75%. Представленные расчеты, во-первых, убедительно свидетельствуют о необходимости учета плотности тока катодной реакции при прогнозировании коррозии на аноде в случае малого

смещения потенциала, а во-вторых, подтверждают данные о усиленной коррозии сварного шва по сравнению с основным металлом [6].

Список литературы:

1. *Иоссель Ю.Я.* Расчёт и моделирование контактной коррозии судовых конструкций/ Ю.Я. Иоссель, Г.Э. Клёнов, Р.А. Павловский.-Л.: Судостроение, 1979.- 297 с.
2. *Минаев Е.Н.* Расчет многоэлектродных поляризующихся систем в электрохимических технологиях// Математические методы в технике и технологиях(ММТТ-21):сб.трудов 21 Междунар.науч.конф.(Саратов,27-30мая 2008г.), Т.3.- Саратов, , 2008.- С.133-136.
3. *Эмде Ф.* Специальные функции. Формулы, графики, таблицы/ Е. Янке, Ф. Эмде, Ф. Леш.- М.: Наука, 1977.- 341 с.
4. *Стеклов О.И.* Прочность сварных конструкций в агрессивных средах -, М.: Машиностроение, 1976.- 198 с.
5. *Скорчеллетти В.В.* Теоретические основы коррозии металлов -Л.: Химия, 1973.- 264с.
6. *Богород И.Я.* Коррозия и защита морских судов/ И.Я. Богород, Е.В. Искра, В.А. Климов, Ю.Л. Кузьмин.- Л.: Судостроение, 1973. -341 с.

Р. Д. Прошина

Пензенская государственная технологическая академия
факультет ИПТ, кафедра «Автоматизация и управление»
Россия, г. Пенза
proshin@pgta.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В НОРМАЛЬНОЙ ФОРМЕ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ

Приведена систематизация методов математического моделирования систем управления в нормальной форме пространства состояний. В качестве примера проведено математическое моделирование следящего электропривода постоянного тока.

Ключевые слова: математическое моделирование, пространство состояний, математическая модель, управление.

Анализ и синтез систем управления различных технических объектов с использованием математического моделирования на компьютерах наиболее эффективно проводить на базе методов математического моделирования в форме пространства состояний (ПС).

Отсутствие единой системы математического моделирования объектов в ПС ограничивает возможности исследования объектов управления. В существующих подходах переменные состояния вводятся последовательно, начиная с младшей производной. При этом за выходную координату системы принимают первую компоненту вектора состояния. Такие модели имеют обратный порядок следования координат состояния с выхода на вход и не соответствуют основному принципу прямой причинно-следственной связи, противоречат моделям “Вход – выход”. Предлагается система математических методов моделирования в нормальной форме пространства состояний (НФПС) с прямой причинно-следственной связью, обеспечивающая единство и полное соответствие моделей “Вход – выход” и “Вход – состояние – выход”.

Среди возможных методов построения математических моделей систем в НФПС на базе принципов, как прямой, так и обратной причинно-следственной связи выделим два метода формирования уравнений состояния: введением переменных состояния в функции производных выходной переменной (вложенная структура модели с обратными связями по переменным состояния); введением переменных состояния методом понижения порядка (вложенная структура модели с местными обратными связями по выходу) и два метода формирования выходной координаты системы: пропорционально одной из координат системы и в виде взвешенной суммы координат состояния (рис. 1).

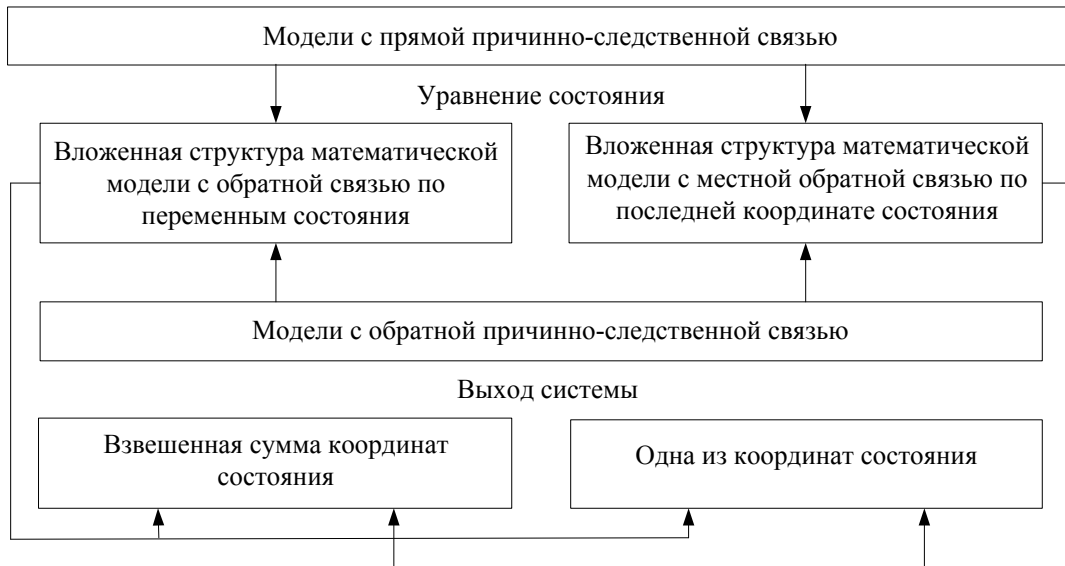


Рис. 1– Методы формирования моделей систем управления в нормальной форме пространства состояний.

Предложенная систематизация методов моделирования систем управления в НФПС объединяет в систему восемь модификаций математических моделей в нормальной форме ПС – четыре с прямой причинно-следственной связью и четыре – с обратной причинно-следственной связью.

Суть предлагаемых методов математического описания системы n –го порядка

$$\sum_{i=0}^n a_i x^{(i)}(t) = \sum_{j=0}^m b_j y^{(j)}(t)$$

с выходной x и входной y координатами, коэффициентами характеристического полинома a_i и оператора входного воздействия b_j в нормальной форме пространства состояний с прямой причинно-следственной связью первой модификации, состоит в том, что переменные состояния v_v в моделях ПС

$$\bar{V}^{(1)}(t) = A\bar{V}(t) + By(t); \quad x(t) = C\bar{V}(t) + dy(t) \quad (1)$$

вводят, начиная с n –й фазовой переменной в соответствии с выражением

$$v_v(t) = \begin{cases} x^{(n-v)}(t), & v \in (m, n]; \\ x^{(n-v)}(t) - \sum_{i=0}^{m-v} \lambda_{v+i} y^{(i)}(t), & v \in (0, m]; \\ x^{(n)}(t) + \lambda_0 y(t), & v = 0, \end{cases}$$

значения коэффициентов λ_i вычисляют по рекуррентным формулам

$$\lambda_i = \begin{cases} b_i^*, & i = m; \\ b_i^* - \sum_{j=i+1}^m \lambda_j a_{n+i-j}^*, & i = \overline{m-1, 0}, \end{cases}$$

а матрицы A , B , C и коэффициент d задают в виде

$$A = \begin{bmatrix} -a_{n-1}^* & -a_{n-2}^* & \dots & -a_2^* & -a_1^* & -a_0^* \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} \lambda_0 \\ \lambda_1 \\ \dots \\ \lambda_{m-1} \\ \lambda_m \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}; C = [0 \ 0 \ \dots \ 1]; d = \begin{cases} \lambda_m, & \text{при } m = n; \\ 0, & \text{при } m < n. \end{cases}$$

Здесь $a_i^* = a_i/a_n$, $i = \overline{0, n}$; $b_j^* = b_j/a_n$, $j = \overline{0, m}$.

В общем случае для объектов исследования, передаточные функции которых содержат n полюсов и m нулей

$$W(s) = \frac{b_m^* s^m + b_{m-1}^* s^{m-1} + \dots + b_1^* s + b_0^*}{s^n + a_{n-1}^* s^{n-1} + \dots + a_1^* s + a_0^*},$$

математические модели НФПС с прямой причинно-следственной связью могут быть представлены в виде следующих четырёх модификаций [1, 2].

$$\begin{bmatrix} v_1^{(1)} \\ v_2^{(1)} \\ \dots \\ v_m^{(1)} \\ v_{m+1}^{(1)} \\ \dots \\ v_n^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_{n-1}^* & -a_{n-2}^* & \dots & -a_{n-m+1}^* & -a_{n-m}^* & \dots & -a_1^* & -a_0^* \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_{m-1} \\ v_m \\ \dots \\ v_{n-1} \\ v_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \lambda_0 \\ \lambda_1 \\ \dots \\ \lambda_{m-1} \\ \lambda_m \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} y(t);$$

$$x(t) = [0 \ 0 \ \dots \ 1] \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_n \end{bmatrix} + \lambda_n y. \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} v_1^{(1)} \\ v_2^{(1)} \\ v_3^{(1)} \\ \dots \\ v_{n-1}^{(1)} \\ v_n^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_{n-1}^* & -a_{n-2}^* & -a_{n-3}^* & \dots & -a_1^* & -a_0^* \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \dots \\ v_{n-1} \\ v_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} y(t);$$

$$x = [C_{n-1} \ C_{n-2} \ \dots \ C_0] \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_n \end{bmatrix} + C_n y. \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} v_1^{(1)} \\ v_2^{(1)} \\ v_3^{(1)} \\ \dots \\ v_{n-1}^{(1)} \\ v_n^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -a_0^* \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & -a_1^* \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & -a_2^* \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & -a_{n-1}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \dots \\ v_{n-1} \\ v_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_{n-2} \\ C_{n-1} \end{bmatrix} y; \quad x = [0 \ 0 \ \dots \ 1] \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_n \end{bmatrix} + C_n y. \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} v_1^{(1)} \\ v_2^{(1)} \\ v_3^{(1)} \\ \dots \\ v_{n-1}^{(1)} \\ v_n^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -a_0^* \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & -a_1^* \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & -a_2^* \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & -a_{n-1}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \dots \\ v_{n-1} \\ v_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} y; \quad x = [\lambda_{n-1} \ \lambda_{n-2} \ \dots \ \lambda_0] \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_n \end{bmatrix} + \lambda_n y. \quad (5)$$

Коэффициенты в предлагаемых математических моделях (2) – (5) определяются следующими выражениями:

$$\lambda_i = b_i^* - \sum_{j=i+1}^n \lambda_j a_{n+i-j}^*, \quad i = \overline{1, n}; \quad C_n = b_n^*, \quad C_i = b_i^* - b_n^* a_i^*, \quad i = \overline{0, n-1}.$$

Для моделей с обратной причинно-следственной связью

$$\overline{V}_*^{(1)} = A_* \overline{V}_* + B_* y; \quad x = C_* \overline{V}_* + dy$$

система (1) является сопряжённой

$$\overline{V}_*^{(1)} = A^T \overline{V}_* + C^T y; \quad x = B^T \overline{V}_* + dy.$$

Поэтому матрицы в этих моделях задаются формулами

$$A_* = A^T \quad B_* = C^T \quad C_* = B^T.$$

В качестве примера приведём математическую модель замкнутой системы следящего электропривода постоянного тока, матрицы которой имеют следующую структуру

$$A = \begin{bmatrix} -a_2^k - a_1^k - a_0^k & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C_2 & C_1 & C_0 & -a_2 & -a_1 & -a_0 - C_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ C_3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad C = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1].$$

Первые три строчки матрицы системы задают структуру и параметры регулятора, а последние три строчки – структуру и параметры объекта управления (машины постоянного тока с вентильным преобразователем). При этом первая часть матрицы A представлена в форме модели второй, а вторая – первой модификации ПС. Такое построение математической модели позволяет с одной стороны эффективно исследовать структуру формирования управляющего сигнала (рис. 3,а), а с другой – определять характер изменения угла поворота, скорости и ускорения в системе (рис. 3,б).

Результаты исследования следящего электропривода с двигателем постоянного тока типа 2ПН90ЛУХЛ4 мощностью 1.3 кВт в среде Mathcad (рис. 3,а) отражают соотношения между составляющими управляющего сигнала, пропорциональными ошибке и её производным. Наименьшее значение имеют составляющие, пропорциональные третьей и второй производным. При $C_3=0$ перерегулирование увеличивается незначительно с $\sigma=4.981\%$ до $\sigma=5.006\%$, при $C_2=0$ возрастает до $\sigma=5.081\%$, при $C_2=C_3=0$ повышается до значения $\sigma=5.107\%$. Изменение настроек регулятора по первой производной и по ошибке системы существенно изменяет характер переходных процессов. При $C_1=C_2=C_3=0$ перерегулирование следящего электропривода увеличивается до 13.951%.

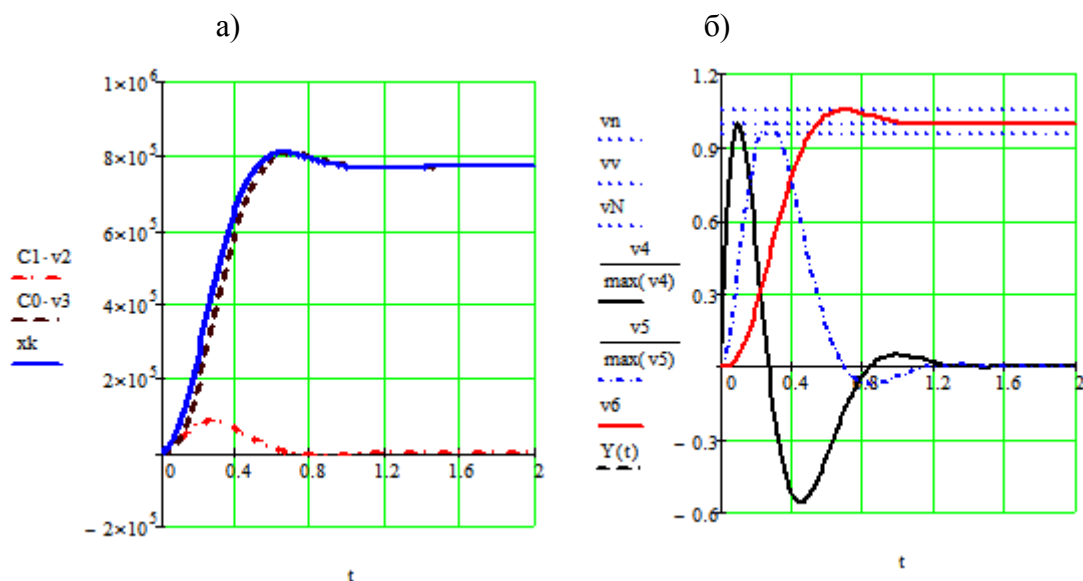


Рис. 3– Характер изменения переменных состояния в модели электропривода.

Координаты состояния V_4, V_5, V_6 в рассматриваемой модели отражают соответственно характер изменения ускорения, скорости и перемещения электропривода (рис. 3, б), что позволяет результативно исследовать свойства замкнутой следящей системы без дополнительных расчётов.

Таким образом, предложенная система методов математического моделирования обеспечивает высокую эффективность исследования разнородных технических объектов. Отличительная особенность предлагаемой системы математических моделей в нормальной форме пространства состояний с прямой причинно-следственной связью состоит в том, что каждая последующая координата состояний формируется на основании предыдущей, что обеспечивает единство методологических принципов и повышение эффективности при исследовании, анализе и синтезе систем управления по моделям «Вход – выход» и «Вход – состояние – выход».

Список литературы:

1. Прошин И. А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Математическое описание систем управления в нормальной форме пространства состояний // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – Курск. – 2009. – № 2. – С. 141–143.
2. Прошин И. А., Выбор фазовых координат модели системы управления в нормальной форме пространства состояний // Проблемы технического управления в региональной энергетике: Сборник статей по материалам научно-технической конференции. – Пенза, 2001. – С. 23–27.

В. П. Славненко д.т.н., М. И. Филатов

Кумертауский филиал
Оренбургского государственного университета
Россия, г. Кумертау
vladimirogu@yandex.ru

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРЕННЫХ ОПОР БЛОКА ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ-740

Задача выбора способа восстановления деталей состоит в системном анализе информационных и энергетических процессов, происходящих на поверхности предмета восстановления как при технологическом воздействии, так и при эксплуатации. Наиболее оптимальное решение – математическое их описание.

Ключевые слова: метод восстановления, критерии оценки, энергия, пластическая деформация.

Конструкционные материалы, из которых изготовлены блоки цилиндров двигателей КАМАЗ работают в условиях сложного силового воздействия. Особенности геометрических форм отливок блоков цилиндров способствуют концентрации напряжений в них. При циклической работе двигателя в локальных зонах концентраторов возникают напряжения, которые могут стать и нередко становятся причиной деформации блока цилиндров из-за неспособности серого чугуна к пластическому деформированию [1, 3]. Поэтому вопросами средне- и малоцикловой усталости деталей машин и энергетических установок занимались и занимаются многие авторы [5-9].

Автор [7] на основе анализа исследований [5-6,9] предложил методику, позволяющую оценить ресурс восстановленных коренных опор методом электроконтактной приварки (ЭКП) ремонтных вкладышей из высокопрочного чугуна, через промежуточный слой на стадии проектирования технологического процесса, используя энергетический подход.

Для оценки долговечности коренных опор блоков цилиндров, восстановленных методом ЭКП ремонтных вкладышей из высокопрочного чугуна через промежуточный слой необходимо сравнить разрушающее число циклов N_f для серого чугуна СЧ-25, из которого изготовлен блок цилиндров двигателей КАМАЗ и для высокопрочного чугуна ВЧ-60 через функцию рассеянной удельной энергии пластической деформации ΔW_p .

На коренные опоры блока цилиндров двигателя КАМАЗ действуют нагрузки от крутящего момента и газовых сил, которые дополняются изгибающим моментом от кривошипа коленвала, вызванного перекосом поршня в цилиндре [11]. Сочетание овальности, конусообразности и несоосности постелей в блоке даже в пределах допуска, вертикальные, поперечные и осевые колебания коленчатого вала приводят к появлению больших местных нагрузок, которые могут достигать $200 \text{ МПа} \leq \sigma_T$.

Удельная потенциальная энергия деформации W_σ на поверхности коренной опоры и упругая энергия деформации W_ϵ ниже лежащих слоев металла может быть выражена формулами:

$$W_\sigma = \int_0^\epsilon \sigma(\epsilon) d\epsilon = \int_0^\epsilon E \epsilon d\epsilon = E \frac{\epsilon^2}{2} = \frac{\sigma^2}{2E}, \quad (12)$$

$$W_s = \int_0^e S(e)de = \int_0^e Eede = E \frac{e^2}{2} = \frac{S^2}{2E}, \quad (13)$$

где ε – местная упруго-пластическая деформация (уравнение кривой статического деформирования);

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + A \left(\frac{\sigma}{\sigma_T} \right)^n, \quad (14)$$

где A и n – параметры аппроксимации кривой статического деформирования ($A=0,002$; $n=2$ для СЧ-25; $A=0,002$ $n=6-8$ для ВЧ-60);

e – номинальная деформация, МПа;

S – номинальные однородные напряжения, МПа;

E – модуль упругости первого рода, МПа.

Теоретический коэффициент концентрации напряжений α_σ может быть определен из соотношения:

$$\alpha_\sigma = \frac{\sigma}{S} = \frac{W_\sigma}{W_s}, \quad (15)$$

Перераспределение энергии не будет значительным, если на поверхности коренной опоры появится пластическое течение металла, т.к. локальный очаг пластического течения металла весьма мал и окружен гораздо большим объемом жесткого упругого металла. При этом на поверхности коренной опоры в области приложения нагрузки реализуется жесткое нагружение, контролируемое остальным упругодеформированным массивом металла. Тогда соотношение в формуле (15) между коэффициентом концентрации и удельной энергии деформации сохраняется неизменным, а формула (15) преобразуется в следующее соотношение:

$$W_\sigma = \frac{\sigma^2}{2E} + A \frac{n}{n+1} \sigma \left(\frac{\sigma}{\sigma_T} \right)^n = \frac{1}{2} \sigma \varepsilon^e + \frac{n}{n+1} \sigma \varepsilon^p, \quad (16)$$

где ε^e – упругая составляющая деформации;

ε^p – пластическая составляющая деформации.

Следовательно, при наличии ограниченного пластического течения в зоне приложения нагрузки формула (15) принимает вид:

$$\alpha_\sigma = \sqrt{\frac{\frac{\sigma^2}{2E} + A \frac{n}{n+1} \sigma \left(\frac{\sigma}{\sigma_T} \right)^n}{\frac{S^2}{2E}}}. \quad (17)$$

Из формулы (17) легко получается более удобное для использования совместно с формулой (14) выражение:

$$\frac{(\alpha_\sigma S)^2}{2E} = \frac{\sigma^2}{2E} + A \frac{n}{n+1} \sigma \left(\frac{\sigma}{\sigma_T} \right)^n \quad (18)$$

Решая совместно систему уравнений (14) и (18) получаем искомые значения упругопластической деформации ε и напряжения σ , приводящих к нарушению геометрической формы и взаимного расположения коренных опор.

При регулярном циклическом нагружении эти уравнения обобщаются и записываются в терминах амплитуд деформации $\frac{\Delta \varepsilon}{2}$ и напряжения $\frac{\Delta \sigma}{2}$; $\frac{\Delta S}{2}$ в виде системы:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta \varepsilon}{2} = \frac{\Delta \sigma}{2E} + A' \left(\frac{\Delta \sigma}{2\sigma_T'} \right)^{n'} \\ \frac{(\alpha_\sigma \Delta S)^2}{4E} = \frac{\Delta \sigma^2}{4E} + A' \frac{n'}{n'+1} \Delta \sigma \left(\frac{\Delta \sigma}{2\sigma_T'} \right)^{n'} \end{array} \right. \quad (19)$$

где σ_T' , A' , n' - условный предел текучести и параметры аппроксимации кривой циклического нагружения.

При регулярном циклическом жестком нагружении поверхности коренных опор петля упругопластического гистерезиса замкнута. Общая деформация в полуцикле равна сумме упругой ($\Delta \varepsilon^e$) и пластической ($\Delta \varepsilon^p$) деформаций. Помещая начало исходной системы координат $\sigma - \varepsilon$ в точку минимальных или максимальных напряжений и деформаций в цикле, можно описать форму петли гистерезиса функцией в виде формулы:

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^p = \frac{\sigma}{E} + \Delta \varepsilon^p \left(\frac{\sigma}{\Delta \sigma} \right)^n \quad (20)$$

Тогда рассеяние удельной работы деформации за цикл упругопластического деформирования представится выражением:

$$\Delta W_p = \oint \sigma d\varepsilon^p = \Delta \sigma \Delta \varepsilon^p - 2 \int_0^{\Delta \sigma} \varepsilon^p d\sigma = \frac{1-n'}{1+n'} \Delta \sigma \Delta \varepsilon^p \quad (21)$$

где $n' \approx 0,143$ – для высокопрочного чугуна ВЧ-60.

Предположим, что скалярная мера повреждения $\Delta \omega$ за цикл есть функция рассеянной энергии пластической деформации ΔW_p :

$$\Delta \omega = \left(\frac{\Delta W_p}{W^*} \right)^k \quad (22)$$

где $W^* = \int_0^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$ - полная удельная потенциальная энергия, которой располагает металл, Дж;

k – показатель усталостного повреждения детали.

Очевидно, что деформация коренной опоры произойдет, когда мера общего накопленного повреждения $\omega = N\Delta\omega$ станет равной единице. Таким образом, критерий степени деформационного повреждения предстанет в виде формулы:

$$\omega = \frac{N \left[\frac{1-n'}{1+n'} \Delta\sigma \Delta\varepsilon^P \right]^k}{\left[\frac{\sigma_B^2}{2E} + A \frac{n}{1+n} \sigma_B \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_T} \right)^n \right]} \leq 1, \quad (23)$$

где N – число циклов нагружения с определенной амплитудой колебаний;
 σ_B – временное сопротивление материала при статическом деформировании, МПа.
 Если принять $\omega = 1$, легко вычислить разрушающее число циклов N_f :

$$N_f = \frac{\left[\frac{\sigma_B^2}{2E} + A \frac{n}{1+n} \sigma_B \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_T} \right)^n \right]}{\left[\frac{1-n'}{1+n'} \Delta\sigma \Delta\varepsilon^P \right]^k}. \quad (24)$$

Анализируя формулы (16) и (17), обнаруживаем, что для определения удельной энергии пластической деформации ΔW_p можно получить формулу:

$$\Delta W_p = N_f^{-\frac{1}{k}} (W^*)^{\frac{1}{k}} = (1-n)(1+n) \Delta\sigma \Delta\varepsilon. \quad (25)$$

С другой стороны, из работы [18] и других публикаций значение $\Delta\sigma$ можно определить по формуле:

$$\Delta\sigma = 2\sigma_f N_f^b \approx 4\sigma_B N_f^b, \quad (26)$$

где b – тангенс угла наклона прямой $\frac{\Delta\sigma}{2} - N_f$ в логарифмических координатах.

Следовательно, значение $\Delta\varepsilon^P$ дает формула, которая соответствует закону Коффина-Мэнсона:

$$\Delta\varepsilon^P = \frac{W^*}{2 \left(\frac{1-n}{1+n} \right) \sigma_f N_f^{-\frac{1}{k}-b}} = \varepsilon_f N_f^c \quad (27)$$

где ε_f – коэффициент циклической вязкости материала;

с – показатель циклической вязкости.

Полученные весьма простые с точки зрения практики соотношения: (24), (25), (26), (27) позволяют количественно оценить долговечность (ресурс) восстановленных предлагаемым способом коренных опор на стадии проектирования технологического процесса.

Основные выводы:

1. Информационно-энергетический подход к проблеме выбора метода восстановления деталей автомобилей обеспечивает рациональное определение состава необходимых свойств восстановленной детали и их значений.
2. Информационно-энергетическая оценка метода восстановления позволяет сформировать рациональное сочетание современных процессов и значения их параметров для разных объемов объектов восстановления.
3. Предлагаемый метод снижает трудоемкость выбора метода восстановления из множества существующих.

Список литературы:

1. Теория сварочных процессов: учебник для вузов / Под ред. В.В. Фролова. –М.: Высшая школа, 1988. -559с.
2. Хевиленд, Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность / Р. Хевиленд. Перевод с английского Б.А.Чумаченко. Под ред. Г.Н. Баласанова. –М.: Издательство «Энергия», 1966. - 232с.
3. Ковалев, Ф.И. Блок цилиндров дизеля КАМАЗ-740 из чугуна с вермикулярным графитом /Ф.И. Ковалев, С.П. Королев, Э.В. Панфилов //Автомобильная промышленность. -2007. - №4. –с.33-35.
4. Чугун: справочное издание / Под ред. А.Д. Шермана, А.А. Жукова. –М.: Машиностроение, 1991. -576с.
5. Нейбер, Г. Концентрация напряжений / Г. Нейбер. –М.: Гостехиздат, 1947. 204с.
6. Иосилевич, Г.Б. Концентрация напряжений и деформация в деталях машин / Г.Б. Иосилевич. –М.: Машиностроение, 1981. -224с.
7. Осипов, Н.Л. Энергетический подход к проблеме ресурса основных деталей ДВС / Н.Л. Осипов // Автомобильная промышленность. -2005. -№5. –с.24-28.
8. Серенсен, С.В. Прочность при малоцикловом нагружении. Основы методов расчета и испытаний / С.В. Серенсен, Р.Ш. Шнейдерович, А.П. Гусенков. –М.: Наука, 1975. -288с.
9. Капустин, С.А. Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов и конструкций. Монография / С.А Капустин, Д.А. Казаков, Ю.Г. Коротких. –Н. Новгород: Издательство НГУ, 1999. -226с.
10. Филатов М.И., Славненко В.П. Проблемы восстановительного ремонта деталей из серого чугуна методами электродуговой сварки //Сборник материалов IX Российской научно-практической конференции. –Оренбург: ОГУ, 2009. с. 399-404
11. Славненко В.П., Яппаров Ф.К. Характерные неисправности и причины выхода из строя двигателей семейства КАМАЗ-740 в условиях Республики Башкортостан // Сборник материалов международной научно-практической конференции. –Пермь: Пермский ГТУ, 2010

О. И. Разинская, С. В. Суслина, П. В. Хапов

Марийский государственный технический университет
Механико-машиностроительный факультет
кафедра машиностроения и материаловедения
Россия, г. Йошкар-Ола
apostle_pavel@mail

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕМ ПРЕССОВАНИИ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА В ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ α - ФАЗЫ

В работе приводятся результаты экспериментов по изготовлению деталей методом горячего прессования ультрадисперсных порошков на основе губчатого карбонильного железа. Описано влияние режимов обработки на структурные свойства готовых изделий. Рассмотрен температурный режим существования α -фазы.

Ключевые слова: порошковые материалы, горячее прессование, текучесть, структура.

Интерес к ультрадисперсным материалам связан с тем, что они находят все более широкое применение при производстве материалов и изделий работающих в экстремальных условиях. Изменение фундаментальных свойств традиционных материалов в высокодисперсном состоянии, при котором понижается температура начала плавления, теплота испарения, энергия ионизации, работа выхода электронов и др., открывает широчайшие возможности в области создания уникальных материалов и технологий, принципиально новых приборов и устройств.

Разрабатываемые в последние годы новые технологии получения композиционных высокодисперсных порошковых материалов определяют необходимость изучения процессов их обработки давлением, а также исследования свойств этих материалов в состоянии после компактирования и формообразования. В связи с этим большую актуальность приобретают исследования по определению закономерностей изменения энергосиловых параметров обработки их давлением в зависимости от технологических схем и режимов обработки, составов композиционных материалов, заданных нормативами их свойств.

При изучении механизма и кинетики процессов, происходящих в спекающемся высокодисперсном пористом теле, необходимо иметь в виду особенности фазового равновесия, поскольку «фаза вещества» и «фаза пустоты» имеют такие размеры, когда эффекты, обусловленные искривленностью границы между сосуществующими фазами, могут оказаться значительными. Основной причиной различия свойств дисперсных и макроскопических объектов является повышенная кривизна поверхностей твердых частиц, приводящая к появлению давлений на границе раздела твердых дисперсных фаз, которые приводят к различию давлений паров металлов над поверхностями с разной кривизной и соответствующих плотностей вакансий [4].

Изменение плотности при прессовании и спекании обусловлено многими процессами, различными по своей природе: взаимным скольжением элементов структуры относительно друг друга, пластической деформацией, вязким течением, диффузионными явлениями. Большинство из этих процессов имеет термоактивационный характер, а пластическая деформация, кроме того, и пороговый. Преимущественным механизмом диффузии в твердых телах считается вакансионный, и энергия активации представляется состоящей из слагаемых,

зависящих от параметров образования и движения вакансий. В процессах спекания и горячего прессования важную роль играет течение вещества – ползучесть. При нагреве вязкого тела, в том числе и порошкового, происходят и рекристаллизационные процессы, связанные с переходом микроструктуры в более стабильное состояние.

Для определения силовых и температурных режимов уплотнения высокодисперсных порошковых материалов в интервале существования α -фазы разработана конструкция установки горячего прессования [5], давшей хорошие показатели в ходе проведения ряда экспериментов. Установка помещается между плитами пресса в инертную газовую среду для исключения окислительных процессов, активно протекающих при высоких температурах. Нами использовался газ аргон.

Если эти процессы на примере сплавов на основе железа хорошо изучены при горячем прессовании (в т.ч. динамическом) при температурах существования γ -фазы [2], то для температурного интервала существования α -фазы такие исследования не проводились. Этот температурный интервал представляет интерес в связи с тем, что диффузионная подвижность атомов в данном случае почти на порядок выше, чем в γ -фазе [3].

Эксперименты проводились на заготовках из высокодисперсного губчатого железа, полученного согласно [1] в виде шайб с размерами наружного диаметра – 28 мм, диаметром отверстия – 13 мм и толщиной – 4 мм. В ходе исследования изучалось влияние температуры и прилагаемого давления на плотность и твердость материала.

Спроектированное устройство позволяет реализовывать нагрев прессуемого образца до 1000 °С, при этом, прилагаемое давление зависит от характеристик пресса. При выполнении экспериментальной части исследовательской работы основной задачей являлось выявить такой режим прессования, после которого порошковая деталь приобретет наилучшие характеристики: максимальные плотность и твердость. Для отработки технологии были выбраны режимы с температурой в интервале 600-800 °С и прилагаемым давлением в интервале 100-400 МПа. При этом, в отдельности для каждого из режимов проверялось влияние содержания углерода в образцах на свойства готовых изделий.

Исследование на твердость проводилось согласно ГОСТ 9012-59, исследование на плотность – по ГОСТ 18898-89. Результаты испытаний приведены в таблице. Из таблицы видно, что плотность изделий при определенных режимах достигает 7.15 г/см³, что для порошковых деталей считается высоким показателем. При этом твердость доходит до 138 HBS.

Наивысшее значение твердости нами достигнуто при температуре 600 °С и давлении прессования 400 МПа и составляет 138 HBS. Максимальная плотность получена при тех же условиях и составляет 7.15 г/см³.

Высота получаемых изделий после прессования уменьшилась в 1.8-2 раза. Такое сильное уплотнение происходит в результате резкого уменьшения пористости и возрастания плотности, что свидетельствует о явлении пластического течения при данной температуре и давлении.

Структурные изменения в брикетах при прессовании определяются двумя группами факторов: уменьшением прироста и превращениями в структуре материала частиц. Можно полагать что прессование в конечном счете осуществляется за счет снижения общего запаса энергии порошковой системы. В традиционных понятиях все свойства порошковых материалов являются функцией контактного сечения, а площадь этого сечения определяется значением нормального к нему сжимающего напряжения.

При горячем прессовании порошковых материалов зачастую наблюдается эффект сверхпластичности, т.е. способности материала к большим равномерным пластическим деформациям без нарушения внутренней сплошности, появляющейся при высоких гомологических температурах под влиянием очень низких, сильно зависящих от скорости деформации напряжений. При этом становится возможным получение плотных порошковых изделий без пор.

Структура изделий, спеченных из тонкоизмельченных порошков отличается наличием большого числа крупных зерен, образовавшихся в результате рекристаллизации при спекании. Увеличение давления прессования приводит к уменьшению усадки (объемной и линейной), повышению всех показателей прочности - сопротивлению разрыву и сжатию, твердости.

Таблица – Характеристика образцов после горячего прессования

Образцы	Температура, °С	Давление, МПа	Плотность, г/см ³	Относительная плотность, %	Твердость, HBS
1.	20	-	4.34	57	31.8
2.	600	200	6.41	84	101
3.	600	400	6.84	89	138
4.	700	200	6.99	91	89.7
5.	20	-	4.31	57	33.1
6.	600	200	6.43	85	101
7.	600	400	6.44	85	129
8.	700	200	6.57	86	114
9.	20	-	4.31	57	31.8
10.	600	200	6.28	83	107
11.	600	400	6.51	86	129
12.	700	200	6.66	88	107
13.	20	-	5.16	67	38.6
14.	600	200	6.95	90	107
15.	600	400	7.11	92	114
16.	700	200	6.98	90	114
17.	20	-	4.98	65	31.8
18.	600	200	6.29	82	107
19.	600	400	7.15	93	114
20.	700	200	6.83	89	94.9
21.	20	-	4.99	65	38.6
22.	600	200	6.54	85	101
23.	600	400	7.10	92	107
24.	700	200	7.02	91	94.9

Таким образом, показана возможность получения относительной плотности порошкового изделия до 93 % путём горячего прессования в интервале существования α -фазы высокодисперсного губчатого железа.

Список литературы:

1. Довыденков В.А. Патент РФ 2345152 Способ получения губчатого железа для изготовления тонкого порошка Заявл. 07 мая 2007 г. Опубл. 27 января 2009 г.
2. Дорофеев Ю.Г., Гасанов Б.Г., Дорофеев В.Ю., Мищенко В.Н., Мирошников В.И. Промышленная технология горячего прессования порошковых изделий. М., "Металлургия", 1990, 206с.
3. Федорченко И.М., Францевич И.Н., Радомысельский И.Д. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения. Киев: Наук. думка. 1985. 624с.
4. Хапов П.В., Алибеков С.Я. Установка для спекания порошковых материалов под давлением. Сборник. Второй международный научно-практический семинар. Новые материалы и изделия из металлических порошков. Технология. Производство. Применение. Йошкар-Ола, 2008. с. 132.
5. Хапов П.В. Установка и способ горячего прессования изделий из ультрадисперсных порошковых материалов. Научное издание. Эффективность научно-исследовательской работы и молодежные инновационные разработки Марийского государственного технического университета в области высоких технологий. Йошкар-Ола, 2009. с. 42-43

В. Н. Хмелев д.т.н., А. В. Шалунов к.т.н., А. В. Шалунова

Бийский технологический институт (филиал)
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
кафедра Методов и средств измерений и автоматизации
Россия, г. Бийск
e-mail: vnh@bti.secna.ru

**Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента
РФ МК-369.2011.8**

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСПЫЛИТЕЛЯ ЖИДКОСТИ

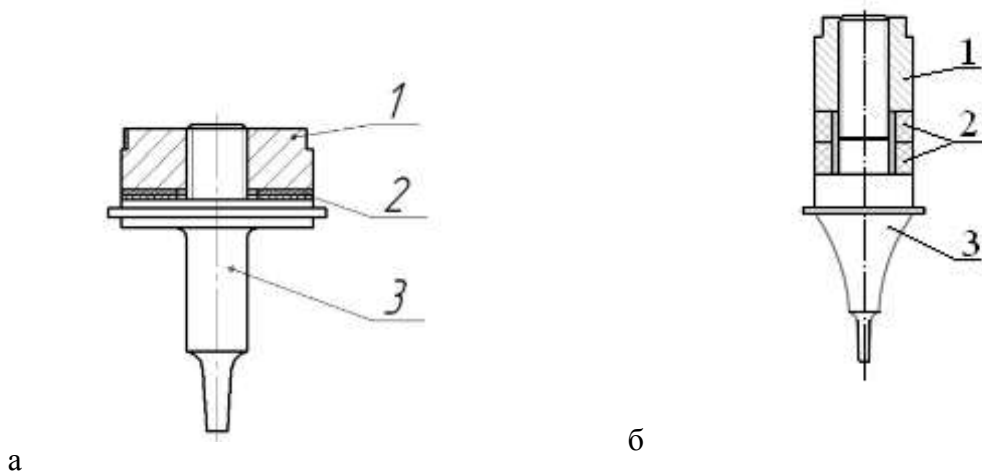
В статье рассмотрен один из перспективных вариантов решения проблемы создания мелкодисперсных ультразвуковых распылителей. Описана конструкция разработанного высокочастотного распылителя, обеспечивающего уменьшение среднего диаметра формируемых распылением с колеблющейся поверхности капель до 12 мкм без снижения производительности процесса и характеризующегося повышенной эксплуатационной надежностью.

Ключевые слова: ультразвук, распыление, колебательная система.

Аэрозольные технологии находят самое широкое применение в различных областях техники, в биологии и медицине. Широкий диапазон применения предполагает значительное различие в требованиях к размерам формируемых аэрозольных частиц, что обуславливает большое разнообразие методов распыления. Одним из наиболее перспективных среди них является ультразвуковой метод распыления жидких сред с колеблющейся поверхности [1]. Основным достоинством метода является возможность формирования частиц различных размеров посредством выбора необходимой частоты и амплитуды ультразвукового воздействия.

К сожалению, предпринимаемые различными авторами попытки уменьшения диаметра формируемых капель путем повышения рабочей частоты распылителей не позволяют достичь желаемых результатов, поскольку приводят к значительному снижению амплитуды колебаний распылительной поверхности.

Для компенсации снижения амплитуды колебаний распылительной поверхности, в известных схемах построения ультразвуковых распылителей, увеличивают коэффициент усиления колебательной системы за счет применения ступенчатого концентратора [1], что приводит к уменьшению поверхности распыления. Конструкция такого распылителя схематично представлена на рис. 1,а.



1 – частотнопонижающая накладка; 2 – пьезоэлектрические элементы;
3 – концентратор механических колебаний

Рис. 1 – Конструкция ультразвуковой колебательной системы для распыления жидкости:

а) двух полуволновая; б) разработанная конструкция.

Он состоит из частотнопонижающей накладки 1 двух пьезоэлектрических элементов 2 и концентратора 3. Суммарная длина колебательной системы соответствует половине длины волны формируемых колебаний. На частоте порядка 120 кГц длина колебательной системы в полуволновом исполнении составит всего 21 мм, а толщина каждого пьезоэлектрического элемента не превысит 1 мм. Достигаемые в такой конструкции амплитуды колебаний оказываются недостаточными для распыления вязких жидкостей или обеспечения приемлемой производительности распыления мало вязких жидкостей. Так для эффективного распыления жидких сред амплитуда колебаний торцевой распылительной поверхности должна быть более 15 мкм [2]. Поэтому, даже при использовании концентраторов с коэффициентом трансформации 15, электродам пьезоэлектрических элементов толщиной в 1 мм необходимо прикладывать электрическое напряжение, близкое к 1000 В.

Это приводит к низкой эксплуатационной надежности колебательной системы, обусловленной возможностью электрического пробоя и чрезмерного нагрева пьезоэлектрических элементов, сильной зависимостью резонансной рабочей частоты колебательной системы от нагрузки, малой производительности процесса распыления, обусловленной малой поверхностью распыления [3].

Для устранения указанных недостатков в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института была разработана новая конструкция ультразвуковой колебательной системы, показанная на рис. 1б.

В представленной конструкции толщина каждого пьезоэлектрического элемента выбрана равной четверти длины волны формируемых колебаний в пьезоматериале, т.е. суммарная длина двух пьезоэлектрических элементов 2 соответствует половине длины волны и они представляют собой самостоятельный ультразвуковой электроакустический преобразователь, обеспечивающий формирование ультразвуковых колебаний с необходимой рабочей частотой.

Использование пьезоэлектрических элементов, большей толщины позволяет при одинаковых прикладываемых напряжениях обеспечить на преобразователе большую амплитуду колебаний. Это позволит либо уменьшить коэффициент усиления концентратора,

исключив проблемы, связанные с применением ступенчатых переходов, либо получить те же амплитуды, но на большей поверхности излучения, либо получить на поверхности излучения большие амплитуды, обеспечив распыление вязких жидкостей.

Для обеспечения работы всей колебательной системы на резонансной частоте пьезокерамических элементов, резонансная частота частотопонижающей накладки должна соответствовать частоте преобразователя. Продольный размер концентратора также выбран соответствующим резонансной частоте пьезоэлементов, т.е. он выполнен равным одной или двум полуволнам формируемых колебаний в материале накладки. Для уменьшения механических напряжений концентратор имеет плавные радиальные или экспоненциальные переходы в середине каждого полуволнового участка.

Внешний вид разработанного распылителя показан на рис. 2.



Рис. 2 – Разработанный ультразвуковой распылитель.

Распылитель имеет следующие технические характеристики: рабочая частота – 180 кГц, максимальная амплитуда колебаний распылительной поверхности – 20 мкм.

Для определения размеров формируемых капель и максимальной производительности распыления был проведен ряд экспериментов. В качестве распыляемых жидкостей для высокочастотного распылителя использовались вода и водный раствор этиленгликоля с вязкостью 18 сСт. Отбор проб осуществлялся методом улавливания капель иммерсионной средой, с последующим измерением размеров капель при помощи микроскопа МИКМЕД-6. Объем выборки для каждого эксперимента составлял 3000 капель. После обработки экспериментальных данных были получены гистограммы, показанные на рис. 3.

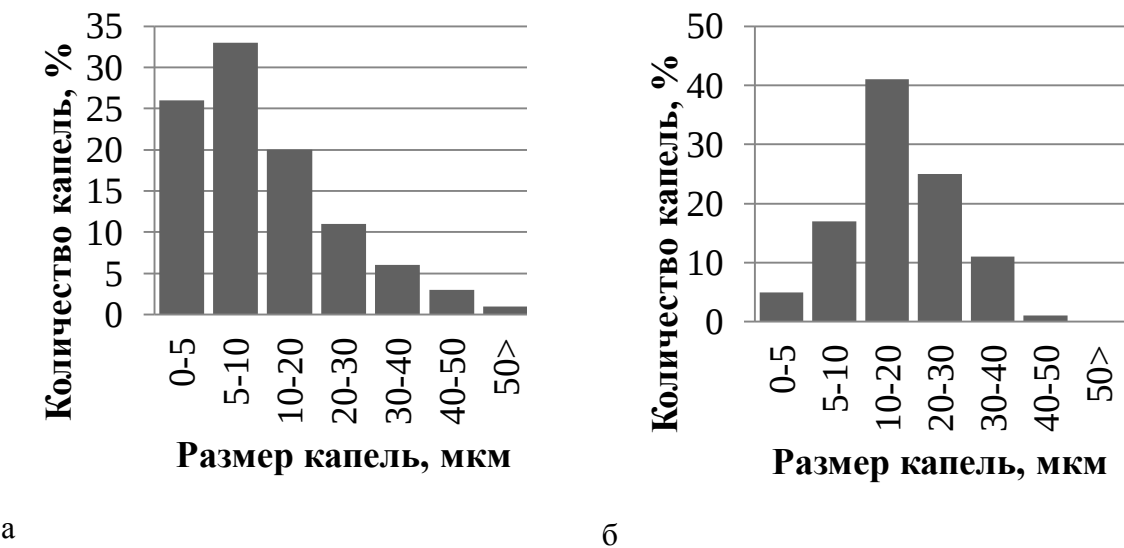


Рис. 3 – Гистограммы распределения формируемых капель
а – вода, б – этиленгликоль.

Представленная на рис. 3,а гистограмма показывает, что 90% капель распыленной воды имеют размер менее 30 мкм. Гистограмма значительно смещена в область малых диаметров. Максимальная производительность распыления равна 0,8 мл/с, что не достижимо другими распылителями на этой частоте (180 кГц). Средне медианный диаметр формируемых капель равен 12 мкм, что превосходит характеристики зарубежных аналогов [1].

Гистограмма распределения (рис. 3,б) капель этиленгликоля имеет меньшую ширину, что говорит о высокой монодисперсности распыления. Приблизительно 80% всех формируемых капель лежит в диапазоне 5...25 мкм, средне медианный диаметр равен 18 мкм.

Полученное значение среднего диаметра капель для этиленгликоль превосходит аналогичный показатель, полученный воды, что противоречит имеющимся литературным данным. Это расхождение может быть объяснено значительно большей амплитудой колебаний УЗКС, требующейся для распыления вязких жидкостей на частоте в 180 кГц. А, как известно, что увеличение амплитуды колебаний УЗКС вызывает увеличение диаметра формируемых капель жидкости. Производительность распыления соответствовала 0,25 мл/с.

Таким образом, разработанная конструкция ультразвукового распылителя имеет, повышенную эксплуатационную надежность (за счет применения пьезокерамических элементов увеличенной толщины), позволяет уменьшить диаметр формируемых капель при одновременном повышении производительности распыления и вязкости жидкости.

Созданное оборудование позволяет существенно улучшить классические процессы, связанные с распылением жидких сред и позволит обеспечить получение новых материалов.

Список литературы:

1. Berger, Harvey L., Mowbray, Donald F., Copeman, Randy A., Russell, Robert J. Ultrasonic atomizing nozzle and method // pat 7712680 USA. №11/341616. 2006.
2. Физические основы ультразвуковой технологии/ под. ред. Розенберг – М.:Наука, 1968. – 688 с.
3. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Шалунова А.В. Ультразвуковое распыление жидкостей. – Барнаул АлтГТУ, 2010. – 272 с.

АННОТАЦИИ ABSTRACTS

В.К. Половняк
РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ И
КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ
ФОСФИНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ
ПАЛЛАДИЯ(0)

С использованием в качестве восстановителя KB_3H_8 синтезированы трехкоординационные комплексы палладия(0) с разнородными фосфиновыми лигандами, установлено их строение и реакционная способность при активировании кислородом. Выделены двухкоординационные соединения и их димеры, которые обладают высокой каталитической активностью в реакциях гидрирования непредельных соединений.

Ключевые слова: палладий, фосфины, комплексы, активирование, катализ.

V.K. Polovnyak
REACTIVITY AND
CATALYTIC ACTIVITY
OF PHOSPHINE COMPLEXES OF
PALLADIUM (0)

Threecoordinating complexes of palladium (0) with heterogeneous phosphine ligands were synthesized with using as a reducing KB_3H_8 , in the activation of oxygen their structure and reactivity were found. Two coordination compounds and their dimers, which had high catalytic activity in hydrogenation of unsaturated compounds, were allocated.

Keywords: palladium, phosphines, complexes, activation, catalysis.

А.Р. Абдуллаев Э.В. Плехова
О СПЕКТРЕ ОПЕРАТОРА ЧЕЗАРО

Для оператора $A: L_2 \rightarrow L_2$,

$$(Ax)(t) = \frac{1}{t^{\alpha+1}} \int_0^t s^\alpha x(s) ds, \quad \alpha \in (-1/2; +\infty),$$
 получено полное описание спектра $\sigma(A)$ и спектра сюръективности $\sigma_q(A)$ совокупности тех $\lambda \in \mathbb{C}$, при которых оператор $\lambda I - A$ не является всюду разрешимым.

Ключевые слова: оператор Чезаро, спектр.

A.R. Abdullaev, E.V. Plekhova
ON A SPECTRUM OF CHESARO
OPERATOR

The complete description of spectrum $\sigma(A)$ and surjective spectrum $\sigma_q(A)$ of operator $A: L_2 \rightarrow L_2$,

$$(Ax)(t) = \frac{1}{t^{\alpha+1}} \int_0^t s^\alpha x(s) ds, \quad \alpha \in (-1/2; +\infty),$$
 have been obtained. The surjective spectrum is a set of $\lambda \in \mathbb{C}$ which operator $\lambda I - A$ isn't solvable everywhere.

Keywords: Chesaro operator, spectrum

А.С. Андреев, А.В. Аминаров,
П.А. Вельмисов
МЕТОД ФУНКЦИОНАЛОВ ЛЯПУНОВА В
ЗАДАЧЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ
УРАВНЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНОГО ТИПА

В работе доказаны новые теоремы об асимптотической устойчивости нулевого решения уравнения нейтрального типа. Указывается их применение в задаче об устойчивости неустановившегося движения упругого тела в сплошной среде.

A.S. Andreev, A.V. Aminarov,
P.A. Vel'misov
LYAPUNOV FUNCTIONAL METHOD IN
THE STABILITY PROBLEM FOR THE
EQUATION OF NEUTRAL TYPE

This paper presents the new theorems on asymptotic stability of zero solution for the equation of neutral type. Application of the theorems is given at the problem on stability of nonstationary motion of elastic body in the medium.

Ключевые слова: функционально-дифференциальное уравнение нейтрального типа, предельное уравнение, устойчивость, функционал Ляпунова.

А.П. Волобуев, П.В. Волобуев, Е.Д. Усков
УСТРОЙСТВО И СПОСОБ
МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КЛЕТКИ
ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ

Сформированы требования к генератору магнитного поля для реализации локального воздействия, приводящего к избирательному разрушению клеток злокачественных опухолей. Обоснован вариант оптимального воздействия, удовлетворяющий указанным требованиям. Проведена апробация воздействия импульсного инфранизкочастотного магнитного поля на злокачественные опухоли, по результатам которой получен патент.

Ключевые слова: импульсное инфранизкочастотное магнитное поле, локальное избирательное воздействие, клетки злокачественных опухолей, генератор магнитного поля, оптимизация, апробация воздействия.

А.Ф. Гайсин, А.З. Гумеров,
Р.Т. Насибуллин,
МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЛАЗМЕННОЙ
УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНОПОРОШКОВ

Проведен анализ факторов, влияющих на технологический процесс получения ферромагнитных порошков с помощью электрических разрядов с электролитным катодом. Разработана система циркуляции электролита, способствующая стабилизации технологического процесса. Разработана вакуумная система плазменной установки, позволяющая получать ферромагнитные порошки с размерами частиц от 50 нм.

Ключевые слова: ферромагнитный нанопорошок; циркуляция электролита; вакуумная система.

Keywords: functional-differential equation of neutral type, limit equation, stability, Lyapunov functional.

А.Р. Volobuyev, P.V. Volobuyev, E.D. Uskov
УСТРОЙСТВО И СПОСОБ
МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КЛЕТКИ
ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ

The requirements are formulated to magnetic field generator for realization of local exposure resulting to the selective malignant tumor cells destruction. The optimal exposure choice satisfying the specified requirements is justified. Pulse extremely low frequency magnetic field on malignant tumors has been performed, as a result a patent has been obtained.

Key words: pulse extremely low frequency magnetic field, local selective exposure, malignant tumor cells, magnetic field generator, optimization, exposure approbation.

А.Ф. Gaysin, A.Z. Gumerov, R.T. Nasibullin,
L.R. Sarimov
MODERNIZATION OF THE PLASMA
PLANT FOR OBTAINING
FERROMAGNETIC NANOPOWDERS

The analysis of the factors influencing technological process of obtaining ferromagnetic powders by means of the electric discharge with electrolytic cathode is carried out. The system of circulation of electrolyte is developed. This system promotes technological process stabilization. The vacuum system of plasma plant is developed. This system allows to obtaining ferromagnetic powders with the sizes of particles from 50 nanometers.

Keywords: ferromagnetic nanopowder; circulation of electrolyte; vacuum system.

В.А. Евдокимова, Л.П. Карацуба,
С.В. Ланкин

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА ШПОЛЬСКОГО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АДсорбЦИИ ПАУ КЛИНОПТИЛОЛИТАМИ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

По квазилинейчатым спектрам Шпольского обнаружено изменение концентрации н-гексановых растворов 3,4-бензпирена, вызванное адсорбцией молекул 3,4-бензпирена на поверхностях образцов клиноптилолита. Проведено сравнение сорбционной активности клиноптилолита 3-х месторождений Сибири и Дальнего Востока. Рассчитаны количество адсорбированного вещества и скорости адсорбции.

Ключевые слова: адсорбция, клиноптилолит, эффект Шпольского, ПАУ.

Б.Н. Казаков, А.В. Михеев
ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ
ПРОХОЖДЕНИЯ

ПОТОКА ФОТОНОВ ЧЕРЕЗ СРЕДУ

В статье предложена математическая модель, описывающая основные особенности прохождения потока фотонов через среду: отражение, поглощение, при наличии люминесценции и в отсутствие реадсорбции. Найдено аналитическое выражение для характеристической функции спектральной плотности мощности светового излучения на выходе слоя среды определенной толщины. Определены условия справедливости законов Бугера-Ламберта-Бера и кинетики люминесценции.

Ключевые слова: поглощение электромагнитного излучения, закон Бугера-Ламберта-Бера, люминесценция, характеристическая функция (теория вероятностей).

А.В. Кузьмин, Д.Ю. Моторина,
О.А. Перегудова
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ
УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ КОЛЕСНЫМ
РОБОТОМ ПРИ УЧЕТЕ
ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ КОЛЕС

V.A. Evdokimova, L.P. Karatsuba, S.V. Lankin
ŠPOL'SKOGO EFFECT OF ADSORPTION
FOR PAHS KLINOPTILOLITAMI SIBERIA
AND THE FAR EAST

On kvazilinejčatym spectra of Špol'skogo change detected concentrations of n-geksanovyh solutions 3.4-benzpirena caused by the adsorption of molecules on the surfaces of 3.4 and benzpirena samples clinoptilolite are investigated. Comparison of sorption activity clinoptilolite are investigated 3 deposits of Siberia and the far East. Calculated quantity of the substance adsorbed and speed of absorption. Calculated quantity of the substance adsorbed and speed of absorption.

Keywords: adsorption, clinoptilolit effect Špol'skogo, PAU.

B.N. Kazakov, A.V. Mikhhev
PROBABILISTIC MODEL OF THE
PHOTONS PROPAGATION
THROUGH THE OPTICAL MEDIUM

The paper proposed a mathematical model describing of the photons propagation through the optical medium: reflection, absorption, luminescence in the absence of reabsorption. The analytical expression for the characteristic function of the power spectral density of the light emission at the output layer of the optical medium is found. The conditions under which are the true laws of Beer-Lambert-Bouguer and exponential decay of the luminescence are defined.

Keywords: absorption (electromagnetic radiation), Beer-Lambert-Bouguer law, luminescence, characteristic function (probability theory).

A.V. Kuzmin, D.Y. Motorina,
O.A. Peregudova
PROGRAM IMPLEMENTATION OF
CONTROL SYNTHESIS ALGORITHM FOR
MOBILE WHEELED ROBOT WITH WHEEL
SLIP

This paper presents a new dynamic model of

В работе представлена новая динамическая модель трехколесного мобильного робота с учетом проскальзывания колес. Предложен непрерывный закон управления, решающий задачу слежения для построенной модели робота при учете запаздывания в структуре обратной связи. Описана программа, реализующая алгоритм нахождения параметров управления и численное моделирование движения робота.

Ключевые слова: мобильный робот с роликонесущими колесами, управление с насыщением, запаздывание, проскальзывание колес.

А.А. Молгачев, Г.А. Шепелев
О ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ВЯЗКОУПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В работе дается математическое обоснование применения знакопостоянных функционалов Ляпунова в исследовании устойчивости функционально-дифференциальных уравнений с бесконечным запаздыванием.

Ключевые слова: функционально-дифференциальное уравнение с бесконечным запаздыванием, предельное уравнение, устойчивость, функционал Ляпунова.

А.А. Савочкина
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ
УРАВНЕНИЯ ЛЬЕНАРА С
ОТКЛОНЯЮЩИМСЯ АРГУМЕНТОМ

Для уравнения Лье́нара с отклоняющимся аргументом в слагаемом, не зависящем от производных, рассматривается периодическая краевая задача. С применением теоремы существования для квазилинейного операторного уравнения получены достаточные условия существования решения.

Ключевые слова: уравнение Лье́нара, периодическая задача, существование решения.

three-wheeled mobile robot with wheel slip. Continuous control law that solves tracking problem for built robot model with feedback delay is proposed. Program that implements control parameters computation algorithm and robot motion simulation is described.

Keywords: roller-wheeled mobile robot, saturation control, delay, wheel slip.

A.A. Molgachev, G.A. Shepelev
ON DYNAMICAL STABILITY OF VISCO-
ELASTIC ELEMENTS

This paper presents the mathematical substantiation of the application of semidefinite Lyapunov functionals in the problem on stability of functional differential equations with infinite delay.

Keywords: functional-differential equation with infinite delay, limit equation, stability, Lyapunov functional.

А.А. Савочкина
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ
УРАВНЕНИЯ ЛЬЕНАРА С
ОТКЛОНЯЮЩИМСЯ АРГУМЕНТОМ

For the Lienard equation with deviating argument in composed, not dependent on derivatives, the periodic boundary value problem is considered. With application of the theorem of existence for the quasilinear operational equation sufficient conditions of existence of the solution are received.

Keywords: Lienard equation, periodic problem, existence of solution.

А.Ю. Тимофеев
ОПЕРАТОР ВЕКУА В ПРОСТРАНСТВАХ
ОРЛИЧА

В теории обобщенных аналитических функций играет большую роль T_G -оператор, который является правым обратным к $\partial/\partial\bar{z}$, где $\partial/\partial\bar{z}$ рассматривается в смысле Соболева. В данной работе изучается T_G -оператор в пространствах Орлица: описаны пространства, в которых оператор является непрерывным.

Ключевые слова: пространство Орлица; N-функция; оператор Веква

А.А. Петрова, С.С. Рясенский.,
М.А. Фефанова
ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ
ПОЛИАНИЛИНА

Изучены особенности термического разложения полианилина в среде аргона и воздуха. Показан многостадийный процесс разложения. Температура разложения полианилина составляет 360°C .

Ключевые слова: полианилин, термическое разложение, газовая среда

Л.Х. Абдулхаликова
РЕШЕНИЕ ОДНОЙ ЗАДАЧИ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ
ИНТЕГРАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ХАНКЕЛЯ

В работе рассмотрена задача о распределении тепла в композиционном материале в процессе производства лонжеронов лопастей. Предложено аналитическое решение задачи теплопроводности с нелинейным источником тепла и краевыми условиями 1-го и 3-го родов с помощью интегрального преобразования Ханкеля.

Ключевые слова: теплопроводность, нелинейный источник тепла, преобразование Ханкеля, лонжерон лопасти.

С.Я. Алибеков, Н.А. Филина
ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ

A.Y. Timofeev
THE VEKUA-OPERATOR IN ORLICZ
SPACES

In the theory of generalized analytic functions the T_G -operator plays an important role. The T_G -operator is right-inverse to $\partial/\partial\bar{z}$, where $\partial/\partial\bar{z}$ is understood in Sobolev's sense. In the present paper we study the T_G -operator in Orlicz's space: formulates the spaces in which the operator is a continuous.

Keywords: Orlicz space; N-function; Vekua operator

A.A. Petrova, S.S. Ryasenskiy,
M.A. Feofanova
THERMO DESTRUCTION OF THE
POLYANILINE

The peculiarities of the temperature destruction of the polyaniline in the medium of argon and air was studied. The multi-stage destruction process was showed. The temperature of polyaniline destruction is 360°C .

Keywords: polyaniline, thermo destruction, gas medium.

L.H. Abdulhalikova
THE SOLUTION FOR THE HEAT
CONDUCTION PROBLEM BY THE
HANKEL INTEGRAL TRANSFORM

The problem of the heat distribution in the composite material by the production of the blade spars is considered. The analytical solution for the heat conduction problem with the nonlinear heat source and the boundary conditions of the first and the third sort by the Hankel integral transform is given.

Keywords: thermal conductivity, nonlinear heat source, the Hankel transform, blade spar.

S.J. Alibekov, N.A. Filina
STUDYING OF PHYSICOMECHANICAL

СВОЙСТВ БРИКЕТОВ

В статье представлены результаты изучения физико-механические свойства топливных брикетов из древесных отходов, пропитанными нефтепродуктами, а также технологическая схема получения брикетов из древесных отходов после их применения в качестве сорбентов

Ключевые слова: древесные отходы, нефтепродукты, теплота сгорания, топливные брикеты.

В.Ф. Беккер, М.Г. Гребенева

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА ПОСТРОЕНИЕМ ДИАГРАММЫ ПАРЕТО

На примере обжига известняка и гашения извести в производстве кальцинированной соды рассматривается задача управления качеством продукции с использованием диаграммы Парето, позволяющей правильно распределить усилия для разрешения возникающих проблем и выявить основные причины. Представлена последовательность поиска управляющих воздействий. Показана эффективность такого управления качеством.

Ключевые слова: обжиг известняка, качество продукции, параметры технологического режима, диаграмма Парето.

Е.И. Блаженнов, Д.С. Новиков,

А.И. Яманин, И.А. Яманин,

НИЗКОЧАСТОТНАЯ ВИБРАЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПЕРЕМЕННОЙ СТЕПЕНЬЮ СЖАТИЯ С КРИВОШИПНО ШАТУННЫМ МЕХАНИЗМОМ

Показано, что вибрационное состояние двигателей с переменной степенью сжатия с кривошипно-шатунным механизмом, определяемое динамикой последнего, существенно не изменяется при работе с разными значениями степени сжатия.

Ключевые слова: двигатель с переменной степенью сжатия, кривошипно-шатунный механизм, вибрация.

PROPERTIES OF BRIQUETTES

In article results of studying physicomachanical properties of fuel briquettes from the wood waste, by the impregnated oil products, and also the technological scheme of reception of briquettes from a wood waste after their application as sorbents with use of a hydraulic press are presented.

Keywords: a wood waste, oil products, warmth of combustion, fuel briquettes.

V.F. Becker, M.G. Grebeneva

QUALITY MANAGEMENT OF THE ROASTING PROCESS OF LIMESTONE TO THE CONSTRUCTION OF A PARETO CHART

On the example of the roasting process of limestone and hydrated lime in the production of soda ash, the problem of quality control, using Pareto charts, allowing to properly distribute the effort to solve problems and identify the causes of the ground. Shows the sequence of search control actions. Shows the efficiency of such quality management.

Key words: roasting limestone, product quality, the parameters of the technologically-mode, the chart Pareto.

E.I. Blazhenov, D.S. Novikov, A.I. Yamanin,
I.A. Yamanin,

LOW FREQUENCY VIBRATION OF ENGINES WITH CRANK MECHANISM AND VARIABLE COMPRESSION RATIO

The results of numerical research of vibration of crank engine depending on value of compression ratio are discussed.

Key words: variable compression ratio, crank mechanism, vibration.

Е.И. Блаженнов, Д.С. Новиков,
А.И. Яманин,

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РАСЧЕТОВ ПРОЧНОСТИ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье представлены результаты расчетных исследований вибропрочности коленчатого вала при работе двигателя на разных режимах внешней скоростной характеристики. Выявленные расчетным путем зоны поломок коленчатого вала соответствуют местам поломки их в эксплуатации.

*Ключевые слова: вибропрочность,
коленчатый вал, внешняя скоростная
характеристика, метод конечных
элементов.*

Т.В. Бурнышева, В.О. Каледин
СРАВНЕНИЕ ДИСКРЕТНОГО И
КОНТИНУАЛЬНОГО ПОДХОДА К
РАСЧЕТУ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ
СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ
НАГРУЖЕНИИ

Приводится анализ численных решений задачи о напряженно-деформированном состоянии сетчатой оболочечной конструкции при статическом нагружении при разных подходах к её решению. Показано, что решение, полученное при дискретном моделировании ребер, сходится к решению по континуальной модели только в случае оболочек без вырезов.

*Ключевые слова: сетчатые оболочечные
конструкции, композиционные материалы,
напряженно-деформированное состояние,
дискретное моделирование, численное решение*

А.В. Бушманова
ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ В СУБД
ORACLE

В статье рассматриваются уязвимости безопасности баз данных Oracle 9i, 10g. Предлагаются предложения для повышения конфиденциальности и целостности баз данных. Статья представляет интерес для всех, кто работает с базами данных.

E.I. Blazhenov, D.S. Novikov, A.I. Yamanin
INCREASE OF STRENGTHS
CALCULATIONS VALIDATE OF PISTON
ENGINES

The results of numerical research of vibration strength of crankshaft by engines work by different conditions of gross performance characteristic are discussed.

*Key words: vibration strength, crankshaft,
gross performance characteristic, finite
element method.*

T.V. Burnysheva, V.O. Kaledin
COMPARISON OF DISCRETE AND
CONTINUOUS APPROACH TO
CALCULATING STRESSES OF RIBBED
SHELLS UNDER STATIC LOADING

Shows the analysis of numerical solutions to the problem of the stressed-strained state of the ribbed shells under static loading with different approaches to its solution. It is shown that the solution obtained in the discrete modeling of the ribs, converged to a solution of the continuum model only if the shells without cutouts.

*Keywords: ribbed shell structures, composite
materials, stress-strain state, stress
concentration, discrete modeling, numerical
solution.*

A.V. Bushmanova
SECURITY CONSIDERATIONS FOR
ORACLE

The article deals with vulnerability of safety of databases of Oracle 9i, 10g. There are some offers for increasing confidentiality and integrity of the databases. The article is of interest for all people who works with databases.

Ключевые слова: безопасность баз данных, уязвимости Oracle 9i и 10 g, целостность, конфиденциальность данных.

В.И. Голубев, В.В. Медисон,
В.Ф. Пегашкин

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В работе излагается сущность нового способа повышения стойкости металлорежущего инструмента, основанного на его электрической изоляции посредством использования вспомогательного инструмента из титановых сплавов, подвергнутых термическому оксидированию.

Ключевые слова: стойкость, режущий инструмент, титановые сплавы, электрическая изоляция, термическое оксидирование

К.А. Голявин, С.И. Кошелев,
Е.В. Кушнarenко, Е.А. Шеин
ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛИ 38Х2МЮА
ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ
ОБРАБОТКИ

В работе представлены результаты сравнения износостойкости стали 38Х2МЮА после различных вариантов термической обработки. Показана возможность применения термической обработки лазерным излучением для данной стали, наряду с традиционной обработкой - азотированием.

Ключевые слова: термическая обработка, износостойкость, азотируемая сталь, микроструктура.

А.Г. Горюнов
ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
НЕРАВНОВЕСНОГО
МНОГОКОМПОНЕНТНОГО
ЭКСТРАКЦИОННОГО ПРОЦЕССА В
СМЕСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ
ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЭКСТРАКТОРА

Рассмотрены основные положения динамической модели неравновесного процесса многокомпонентной экстракции в

Keywords: database security, vulnerability of Oracle 9i and 10 g, integrity, confidentiality of data.

V.I. Golubev, V.V. Medison V.F. Pegashkin
USING ELECTRICAL ISOLATION FOR
INCREASING WEAR RESISTANCE OF
THE CUTTING TOOL

This paper presents the essence of the new method for increasing wear resistance of the metal cutting tool, based on its electrical isolation through the using of support tools made from titanium alloys and subjected to thermal oxidation.

Keywords: wear resistance, cutting tools, titanium alloys, electrical isolation, thermal oxidizing

К.А. Golyavin, S.I. Koshelev,
E.V. Kushnarenko, E.A. Shein
WEAR RESISTANCE OF THE STEEL
38Х2МЮА AFTER VARIOUS VARIANTS
OF PROCESSING

This paper presents the results of the comparison of wear resistance 38Х2МЮА after various variants of thermal processing. Possibility of application of thermal processing by laser radiation for this steel, along with traditional processing - nitriding is shown.

Keywords: thermal processing, the wear resistance, a nitrated steel, a microstructure.

A.G. Gorunov
DYNAMIC MODEL OF NON-
EQUILIBRIUM MULTICOMPONENT
PROCESS OF EXTRACTION IN THE
MIXING CHAMBER OF CENTRIFUGAL
EXTRACTOR

Main points of dynamic model of a multicomponent non-equilibrium process of extraction in the mixing chamber of centrifugal extractor were considered.

смесительной камере центробежного экстрактора.

Ключевые слова: математическое моделирование, динамическая модель, экстракция, смесительная камера, центробежный экстрактор.

А.Г. Горюнов, К.А. Козин, С.А. Сачков
К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ SIEMENS-РЕАКТОРА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ
В работе рассмотрены основные положения при моделировании Siemens-реактора как объекта управления, представлены результаты моделирования в сравнении с экспериментальными данными.

Ключевые слова: Siemens-реактор, поликристаллический кремний, математическое моделирование.

М.Ю. Губин, И.А. Заикин
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
В работе представлены результаты разработки многопользовательской системы поддержки онтологических моделей. Система основана на существующих инструментах управления версиями исходного кода, управления проектами и отслеживания ошибок. Система также содержит инструменты сравнения онтологий, слияния изменений нескольких пользователей, модуль индексирования и модуль поиска.

Ключевые слова: онтология, версия, сравнение, слияние.

И.П. Дешко, К.Г. Кряженков
МАСШТАБИРУЕМОСТЬ ДИНАМИЧЕСКИХ КОНФИГУРАЦИЙ В УЧЕБНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСАХ С УДАЛЕННЫМ ДОСТУПОМ

Рассматриваются вопросы масштабируемости динамических конфигураций в учебных инфокоммуникационных комплексах с дистанционным доступом. Сформулированы ограничения и математическая модель,

Keywords: mathematical modeling, dynamic model, extraction, mixing chamber, centrifugal extractor.

A.G. Gorunov, K.A. Kozin, S.A. Sachkov
TO THE QUESTION OF SIEMENS REACTOR MODELLING AS CONTROL OBJECT

In this paper the main points in the modeling of Siemens-reactor as a control object, the results of simulations compared with experimental data.

Keywords: Siemens-reactor, polycrystalline silicon, mathematical modeling

М.Ю. Губин, И.А. Заикин
DEVELOPMENT OF ONTOLOGY MODELS SUPPPORT SYSTEM

This paper presents the results of development of an ontology models support system. The system is based upon existing source code management, project management and bug-tracking tools. It also contains an ontology comparison tool, a merge tool, an indexing unit and a search unit.

Keywords: ontology, version, comparison, merge.

И.П. Дешко, К.Г. Кряженков
SCALABILITY OF DYNAMIC CONFIGURATIONS WITH REMOTE ACCESS IN TRAINING INFO-COMMUNICATION COMPLEXES

The issues of scalability, dynamic configuration info-communication complexes with remote access. Formulated constraints and mathematical model to determine the relationship between the topologies of pods, number and type of devices in the info-communication complexes. Shows the

позволяющая определить взаимосвязь между топологиями стендов, числом и типом устройств, входящих в инфокоммуникационный комплекс. Приведены оценочные результаты для удаленного лабораторного практикума по программе CCNA.

Ключевые слова: удаленный практикум на инфокоммуникационном оборудовании, динамическое формирование сетевой топологии, масштабируемость динамических стендов, коэффициент использования оборудования.

О.С. Долгов, М.А. Лякишев, Е.В. Шорина
ФОРМИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПО
ВЫЯВЛЕНИЮ МОМЕНТНО-
ИНЕРЦИОННОГО ОБЛИКА САМОЛЕТА
НА РАННИХ ЭТАПАХ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В данной работе рассмотрен вопрос разработки алгоритмов автоматизации формирования моментно-инерционного облика перспективных типов летательных аппаратов на ранних этапах проектирования, с последующим созданием на основе данных алгоритмов специализированного программного комплекса. Разработка алгоритмов базируется на созданных моментно-инерционных моделях, позволяющих определить моментно-инерционные характеристики на ранних этапах проектирования с достаточной точностью.

Ключевые слова: моменты инерции, компоновка, программный комплекс, моментно-инерционные модели, алгоритм, автоматизация.

О.Н. Долинина
О МЕТОДЕ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ
СИСТЕМ

В работе описан метод сравнительного влияния параметров для формирования базы знаний на основе модифицированной системы produkcji, учитывающих взаимное влияние фактов, на примере экспертной системы неотложной кардиологии KORDEX.

estimated results for the remote laboratory workshop on CCNA Program.

Keywords: remote workshop on info-communications equipment, the dynamic formation of the network topology, scalability, dynamic pods, utilization of equipment.

O.S. Dolgov, M.A. Lyakishev, E.V. Shorina
AIRPLANE INERTIA-MOMENT SHAPE
DETERMINATION ALGORITHM
FORMATION ON THE EARLY DESIGN
STAGES

The paper describes a problem of airplane inertia-moment shape determination algorithm formation on the early design stages, with special software creation, based on this algorithms. Algorithms development is based on special inertia-moment models, which allow to determine inertia-moment characteristics on the early stages of design with sufficient accuracy.

Keywords: Inertia-moments, layout, software, inertia-moment models, algorithm, automation.

O.N. Dolinina
ABOUT METHOD OF EXPERT SYSTEMS
DEVELOPMENT

There is described method of comparative assessment of influence of parameters for development of knowledge base for modified rules taking into consideration mutual influence of facts and using of the method for expert system in urgent cardiology KORDEX.

Ключевые слова: экспертная система, продукции, взаимное влияние фактов.

С.А. Егоров, А.В. Жданов, Е.А. Новикова
ОЦЕНКА ПЛАВНОСТИ
ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МОНОБЛОЧНОГО
ПРИВОДА МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ

Целью работы является создание методов расчета и проектирования моноблочных электромеханических приводов с высокой плавностью выходного перемещения. Научная новизна представлена математической моделью моноблочного электромеханического привода поступательного перемещения, ее динамическими характеристиками, а также зависимостью плавности работы от различных параметров. Полученные результаты использовались при разработке ряда электромеханических приводов, в частности, приводов биомеханических тренажеров.

Ключевые слова: биомеханический тренажер, моноблочный электромеханический привод, плавность привода, механизм подачи.

А.Ю. Ерёменко
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ
НЕЗАКРЕПЛЁННЫХ ДЕТАЛЕЙ В
СИЛОВОМ ПОЛЕ АБРАЗИВНО-
ЖИДКОСТНОЙ СРЕДЫ ГЕНЕРИРУЕМОМ
СТРУЙНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ С
ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ
КАМЕРЫ

В последние десятилетия, в связи возрастающими требованиями к качеству деталей робототехники, точного машиностроения, оптики и электроники неуклонно возрастают требования к процессам финишной обработки мелких деталей сложной конфигурации. Математические модели и графические материалы, представленные в статье, позволяют с высокой степенью точности описать технологический процесс отделочной обработки мелких незакреплённых деталей в абразивной среде.

Keywords: expert system, production, mutual influence of the facts.

S.A. Egorov, A.V. Zhdanov, E.A. Novikov
ESTIMATION OF SMOOTHNESSES OF THE
DIPLACEMENT MONOBLOCK DRIVE OF
THE MEDICAL TECHNOLOGY

The Purpose of the work is a creation of methods of calculation and designing of monoblock electromechanical drives with high smoothness of target moving. Scientific novelty is presented by mathematical model of a forward moving monoblock electromechanical unit, its dynamic features, and dependence of smoothness of work on various parameters. The received results were used at development of electromechanical drives, in particular, drives of biomechanical.

Keywords: a biomechanical simulator, a monoblock electromechanical unit, smoothness of a drive, mechanism of givings.

A.U. Eremenko
MODELING FINISH PROCESSING OF
LOOSE PARTS IN THE ABRASIVE-LIQUID
FORCE FIELD GENERATED IN DEVICES
WITH HORIZONTAL AXIS ROTATION
CHAMBER

Last decades, in connection with the increasing requirements to quality of parts in robotics, precision, optical end electronic engineering the requirements to final processing of small-sized parts of the complex configuration are growing steadily. The mathematical models and graphic sketches offered in the article provide highly detailed explanation of finishing processing of small-sized loose parts in abrasive medium.

Keywords: finishing processing, abrasive-liquid medium, small-sized loose parts

*Ключевые слова: финишная обработка,
абразивно-жидкостная среда,
незакреплённые детали.*

А.С. Жив, Б.Р. Исакулов, А.М. Сарсенов
УЛУЧШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ ПУТЕМ
ПРОПИТКИ СЕРОЙ-ОТХОДОМ
НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
КАЗАХСТАНА

*В работе использован принцип повышения
физико-механических свойств легких бетонов
путем пропитки серой-отходом
нефтегазовой промышленности Западного
Казахстана.*

*Ключевые слова: отходы, бетон, сера,
арболит*

А.А. Захаров, Е.Р. Кожанова,
И.М. Ткаченко
РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА
ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
ВЕЙВЛЕТ – ФУНКЦИЙ
ДЛЯ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ

*В статье рассматривается разработка
интерфейса программного продукта и его
составляющих с помощью диаграмм
переходов фокуса управления.*

*Ключевые слова: программный продукт,
головной модуль, программный модуль,
диаграмма переходов, фокус управления,
интерфейс, преобразование Фурье, ряды
Фурье, вейвлет – функция, вейвлет -
преобразование.*

А.С. Згурский, Е.В. Корбаинова
МЕТОД СОХРАНЕНИЯ
ИДЕНТИФИЦИРУЮЩЕЙ УГРОЗУ
ИНФОРМАЦИИ В ДЕТЕКТОРНУЮ
ПАМЯТЬ

*В статье обсуждается метод сохранения
идентифицирующей угрозу информации в
детекторную» память. Совместное
использование генетического и иммунного
подхода в реализации данного метода
позволяет минимизировать количество
ложных сигналов об опасности и*

A.S. Zhiv, B.R. Isakulov, A.M. Sarsenov
IMPROVEMENT OF
PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF
EASY CONCRETE BY IMPREGNATION
BY SULFUR-WITHDRAWAL OF THE OIL
AND GAS INDUSTRY OF KAZAKHSTAN

*In work the principle of increase of
physicomechanical properties of easy concrete
by impregnation by sulfur-withdrawal of the oil
and gas industry of the Western Kazakhstan is
used.*

Keywords: a waste, concrete, sulfur, арболит

A.A. Zaharov, E.R. Kozhanova,
Tkachenko I.M.
DEVELOPMENT OF THE INTERFACE OF
THE PROGRAMMER PRODUCT ON USE
WAVELET - FUNCTION FOR ANALYSIS
SIGNAL

*The article discusses development of the
interface of the programmer product and its
forming by means of diagrams turning the issue
of the focus of management.*

*Keywords: programmer product, main module,
programmer module, diagram transition, focus
of management, interface, transformation
Furie, rows Furie, wavelet - function, wavelet -
transformation.*

A.S. Zgursky, E.V. Korbainova
METHOD OF PRESERVATION OF THE
INFORMATION IDENTIFYING THREAT IN
DETECTOR MEMORY

*This article discusses the method of storing
information identifying the threat in the
"detector" memory. Sharing of genetic and
immunological approaches in the
implementation of this method minimizes the
number of false alarms about the dangers and
provides lightweight component protection.*

обеспечивает, легковесность компонента защиты.

Ключевые слова: алгоритм отрицательного отбора, генетический алгоритм, детектирующий агент, детектирующий набор.

Б.Р. Исакулов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ КАЗАХСТАНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

В работе использован принцип взаимной нейтрализации токсичных компонентов используемых отходов Западного Казахстана путем их механохимической обработки при невысокой температуре.

Ключевые слова: отходы, бетон, очистка вод, арболит

В.А. Лысов, О.В. Шевченко,
А.В. Щёголев

ОТОБРАЖЕНИЕ ПЛОСКИХ ГРАФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ ЭЛЕКТРОННО-АНАЛИТИЧЕСКИМИ ФОРМАМИ

В работе рассматривается метод автоматического отображения плоских графических образов квадратичными формами. Обосновывается производственная необходимость метода. Приводятся теоретическое обоснование, прикладной математический аппарат. Описываются алгоритм построения гладкой кривой, образованной дугами парабол, интерфейс пользователя, визуализация процесса. Определяется состав исходных и результирующих данных. Анализируется научно-производственный опыт авторов разработки, внедрения и эксплуатации на предприятии машиностроительного профиля.

Ключевые слова: отображение, криволинейный контур, графический образ, гладкая кривая, осевое сечение, технологический процесс, глубокая вытяжка, инструмент, матрица и пуансон, электронно-аналитическая форма, парабола,

Keywords: negative selection algorithm, genetic algorithm, detecting agent, detecting set.

B.R. Isakulov

THE USE OF INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL WASTES OF KAZAKHSTAN FOR LIGHTWEIGHT CONCRETE

In work the principle of mutual neutralization of toxic components of a used waste of the Western Kazakhstan by them mechanochemical processings is used at low temperature.

Keywords: waste, concrete, cleaning waters, arbolite

V.A. Lysov, O.V. Shevchenko, A.V. Schegolev THE DISPLAY OF THE TWO-DIMENSIONAL GRAPHICAL IMAGES BY THE E-ANALYTICAL FORMS

When in use the automatic mapping method of the two-dimensional graphical images by the quadratic forms is treated. The manufacturing necessity of the technique is justified. The theoretical justification and applied mathematical apparatus are activated. The algorithm of the smooth curves construction generated by the parabola arcs, the users' interface and the imaging operation are defined. The compound of the home and resulting data is specified. The producers' scientific-production experience of the design, deployment and operation at the machine-building enterprise is explored.

Keywords: display, cam contour, graphic, smooth curve, axial section, workflow, deep drawing, tool, complete die, E-analytical form, parabola, quadratic form.

квадратичная форма.

Е.Н. Минаев

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО И
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДОВ ПРИ
ПРОГНОЗИРОВАНИИ КОРРОЗИИ
ГАЛЬВАНОПАР

Представлен метод расчета тока на аноде гальванопары. Расчет проведен на основе решения стационарного дифференциального уравнения в частных производных для потенциала. Рассмотрен электрохимический метод, позволяющий выделить из суммарной плотности тока на аноде плотность тока растворения. Показана необходимость совместного применения этих методов.

Ключевые слова: гальванопары, электрическое поле, расчет, анодное растворение, поляризационное сопротивление.

Р.Д. Прошина

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В НОРМАЛЬНОЙ
ФОРМЕ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ

Приведена систематизация методов математического моделирования систем управления в нормальной форме пространства состояний. В качестве примера проведено математическое моделирование следящего электропривода постоянного тока.

Ключевые слова: математическое моделирование, пространство состояний, математическая модель, управление.

О.И. Разинская, С.В. Суслина, П.В. Хапов
СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ
ГОРЯЧЕМ ПРЕССОВАНИИ ПОРОШКОВ
НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА В
ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ
СУЩЕСТВОВАНИЯ α -ФАЗЫ

В работе приводятся результаты экспериментов по изготовлению деталей методом горячего прессования ультрадисперсных порошков на основе губчатого карбонильного железа. Описано влияние режимов обработки на структурные

E.N.Minaev

PROGNOSTICATION OF GALVANIC-PAIR
CORROSION BY JOINTLY USE OF
MATHEMATICAL AND ELECTRO-
CHEMICAL METHODS

The method for calculation of electrical current in the galvanic-pair is presented. Calculation is based on the solution of stationary differential equation for electrical potential. Electrochemical method division of corrosion current and summary current is examined. The necessity of jointly use this method is proved.

Keywords: galvanic-pair, electrical field, corrosion, electro-chemical resistance.

R.D. Proshina

MATHEMATICAL MODELLING OF
CONTROL SYSTEMS IN THE NORMAL
FORM OF SPACE OF CONDITIONS

Ordering of methods of mathematical modeling of control systems in a normal form of space of conditions is resulted. As an example mathematical modeling of the watching electric drive of a direct current is spent.

Keywords: mathematical modeling, space of conditions, mathematical model, management.

О.И. Razinskaya, S.V. Suslina, P.V. Khapov
STRUCTURAL CHANGES AT HOT
PRESSING OF THE IRON POWDERS IN
THE TEMPERATURE INTERVAL OF
EXISTENCE α – PHASES

The work present the results of experiments on manufacturing of details by a method of hot pressing of ultradisperse spongy carbonyl iron powders. Influence of modes of processing on structural properties of finished articles is described. The temperature mode of existence α

свойства готовых изделий. Рассмотрен температурный режим существования α -фазы.

Ключевые слова: порошковые материалы, горячее прессование, текучесть, структура.

В.П. Славненко, М.И. Филатов
ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА
ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРЕННЫХ ОПОР
БЛОКА ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ
КАMAZ-740

Задача выбора способа восстановления деталей состоит в системном анализе информационных и энергетических процессов, происходящих на поверхности предмета восстановления как при технологическом воздействии, так и при эксплуатации. Наиболее оптимальное решение – математическое их описание.

Ключевые слова: метод восстановления, критерии оценки, энергия, пластическая деформация.

В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов,
А.В. Шалунова
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЫСОКОЧАСТОТНОГО
УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСПЫЛИТЕЛЯ
ЖИДКОСТИ

В статье рассмотрен один из перспективных вариантов решения проблемы создания мелкодисперсных ультразвуковых распылителей. Описана конструкция разработанного высокочастотного распылителя, обеспечивающего уменьшение среднего диаметра формируемых распылением с колеблющейся поверхности капель до 12 мкм без снижения производительности процесса и характеризующегося повышенной эксплуатационной надежностью.

Ключевые слова: ультразвук, распыление, колебательная система.

- phases is considered.

Keywords: powder materials, hot pressing, fluidity, structure.

V.P. Slavnenko, M.I. Filatov
SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF
RESTORATION OF RADICAL SUPPORT
OF THE BLOCK OF CYLINDERS OF
ENGINE KAMAZ-740

The problem of a choice of a way of restoration of details consists in the system analysis of the information and power processes occurring on a surface of a subject of restoration both at technological influence, and at operation. The optimal decision – their mathematical description.

Keywords: a restoration method, criteria of an estimation, energy, plastic deformation.

V.N. Khmelev, A.V. Shalunov,
A.V. Shalunova,
WORKING OUT AND RESEARCH OF THE
HIGH-FREQUENCY ULTRASONIC SPRAY
OF THE LIQUID

In article it is considered one of perspective variants of a solution problem of creation fine-dispersed ultrasonic sprays is considered. The design of the developed high-frequency spray providing reduction of average diameter formed dispersion from the fluctuating surface of drops to 12 microns without decline of productivity of process and characterized by raised operational reliability is described.

Keywords: Ultrasonic, atomization, oscillation system.

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 обработке его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

Сборник научных статей

№4 2011

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 10.08.2011 Формат 60 x 84 1/8. Печать Riso.

10,6 усл.печ.л. 11,1 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 201.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 292-18-85

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»