Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й

В Е С Т Н И К

П О В О Л Ж Ь Я

№3 2017

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

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

05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Казань

2017

УДК 60
ББК 30-1
Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №3 2017г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2017. – 152 с.

ISSN 2079-5920

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3

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

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

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

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

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

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

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

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

УДК 60
ББК 30-1

СОДЕРЖАНИЕ

В.С. Минкин, Б.Н. Иванов, Р.Х. Зиятдинов, Т.Ю. Миракова, А.В. Репина ВУЛКАНИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЖИДКИХ ТИОКОЛОВ В ПРИСУТСТВИИ ДИМЕТИЛФОРМАМИДА 8

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

В.В. Абрамова ПРИБЛИЖЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ПЕРВОГО ПОРЯДКА С ПАРАМЕТРОМ ПРИ ПРОИЗВОДНОЙ 12
И.Х. Еникеев ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ДОКАЗАТЕЛЬСТВУ ТЕОРЕМЫ ФЕРМА 16
Г.И. Зенович СВОЙСТВА РЕШЕНИЙ ОДНОМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ МОНОДИСПЕРСНОЙ СУСПЕНЗИИ В ОДНОРОДНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ 21
С.А. Никифоров, З.Я. Якупов СРАВНЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МОНЖА-КАНТОРОВИЧА 24
В.Ш. Ройтенберг О РОЖДАЮЩИХСЯ ИЗ БЕСКОНЕЧНОСТИ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЦИКЛАХ ОДНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА НА ОКРУЖНОСТИ 28
И.В. Цивильский, Н.Р. Сераева, И.И. Старшова ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЧАСТИЦ ПОРОШКА И ГАЗА В ЛАТЕРАЛЬНЫХ И СВЕРХЗВУКОВЫХ СОПЛАХ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ 31

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

А.П. Буйносов МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ 35
Д.А. Веденькин, О.Ю. Зуев РАЗРАБОТКА БЛОК – СХЕМЫ И АЛГОРИТМА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО КОМПЛЕКСА 39
В.И. Гришечкин, Н.П. Назарова, Р.С. Шамсутдинов ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД КАК ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ 44
В.А. Иванов, И.А. Мутугуллина АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПОТОКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В КОНТУРЕ СИСТЕМЫ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ КАК ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ГИДРАВЛИКИ ПЕРЕМЕННОГО РАСХОДА 47
Т.М. Кокина УСТАНОВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕТОЧНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И МОНТАЖА ПЕРЕДАЧ ПРИВОДОВ МАШИН НА КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ТОЧНОСТЬ ВРАЩЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ 50
Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ11 НА ИЗНОС БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР 54
А.А. Швецова, Г.В. Смирнов, П.Е. Киселёв, П.А. Шляпников ОРГАНИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА 57

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

И.И. Батыршин, О.Г. Морозов, А.А. Иванов, А.Ж. Сахабутдинов, А.А. Тяжелова СПЕКТРАЛЬНО-ЧАСТОТНОЕ РАЗНЕСЕНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАДИОФОТОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ МИКРОВОЛНОВЫХ СИГНАЛОВ 60

Д.И. Касимова, О.Г. Морозов, В.Д. Андреев, А.Ж. Сахабутдинов, И.И. Нуреев РАДИОФОТОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО КАНАЛА СВЯЗИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПЕКТРА ОТРАЖЕНИЯ ВСТРОЕННОГО БРЭГГОВСКОГО ФИЛЬТРА 64
В.В. Киселев, В.Н. Осколков КОМБИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА СИСТЕМЫ КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ 68
Д.В. Малых, П.Е. Денисенко, Р.И. Файзуллин ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ 72
Р.И. Файзуллин, П.Е. Денисенко, Д.В. Малых УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДВУХЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВОЛОКОННОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ 75

05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

И.А. Акимов, Б.К. Жумашева ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕПЛООБМЕНА В МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ 79
И.И. Байнева РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ 84
М.Р. Батюта, Р.А. Кордюков, А.А. Кузин, Е.Н. Приблудова АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕДИАННОГО ФИЛЬТРА С ПРЯМЫМ ВЫЧИСЛЕНИЕМ ИНДЕКСОВ УПОРЯДОЧЕННОГО МАССИВА 87
Р.А. Бурнашев, М.А.А. Аль-Саеди, Д.Н. Галанин, В.О. Георгиев КОНЦЕПЦИИ УЧЕБНО - МАКЕТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СБОРОЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ПО СЛОЖНЫХ СИСТЕМ 91
Л.А. Галиуллин ДЕКОМПОЗИЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ 97
А.И. Егунова, А.А. Аббакумов, М.А. Воропаева ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВАЯ ПОДСИСТЕМА ХРАНИЛИЩА ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ 100
Е.В. Ефремов, Д.Е. Барков МОДИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЫПАРНОГО АППАРАТА РАДИОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА 104
Т.К. Кляус, Ю.А. Гатчин ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ АТАК В МОДЕЛИРОВАНИИ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ 108
Н.А. Костарев, Н.М. Труфанова ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА НЕФТИ В СКВАЖИНЕ С УЧЕТОМ ОТЛОЖЕНИЯ ПАРАФИНА НА СТЕНКАХ НАСОСНО – КОМПРЕССОРНОЙ ТРУБЫ 111
А.Н. Кузенков СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОМОЛА ЦЕМЕНТА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ 115
А.В. Милов, В.С. Тынченко, А.В. Мурыгин, В.В. Тынченко РАЗРАБОТКА МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКОЙ ВОЛНОВОДНЫХ ТРАКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА 118
Л.А. Полякова ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 122
С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков, В.А. Алексеева МОДЕЛЬ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СКЕЙЛИНГОВОГО ВИДА ПРИ УСЛОВИИ $\gamma=3\beta$ 126

С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков, А.В. Свердлов, А.А. Шеламов МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНИИ ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ 129
Ю.С. Таскина, В.С. Тынченко, В.В. Бухтояров, С.В. Тынченко ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К АВТОМАТИЗАЦИИ ПЛАНОВО-ЗАКУПОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛИ 132
М.А. Форгани ВЫДЕЛЕНИЕ НОВЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МУТАЦИИ В БЕЛКЕ ВИРУСА ГРИППА 136
М.К. Хасанов МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКАЧКИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ПЛАСТ С УЧЕТОМ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ 139

АННОТАЦИИ 142

THE RELEASE MAINTENANCE

V.S. Minkin, B.N. Ivanov, R.H. Ziyatdinov, T.Y. Mirakova, A.V. Repina VULCANIZATION INDUSTRIAL LIQUID THIOKOL IN THE PRESENCE OF DIMETHYLFORMAMIDE 8

01.01.00 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICS

V.V. Abramova APPROXIMATE METHODS OF THE SOLUTION FOR PERIODIC BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR FIRST ORDER DIFFERENTIAL EQUATION WITH PARAMETER IN DERIVATIVE 12
I.H. Enikeev ABOUT ONE PARTICULAR CASE OF FERMAT'S THEOREM 16
G.I. Zenovich THE PROPERTIES OF SOLUTIONS THE ONE-DIMENSIONEL PROBLEM FOR MONODISPERSED FILTRATION IN POROUS MEDIA 21
S.A. Nikiforov, Z.Ya. Yakupov COMPARISON AND CLASSIFICATION OF METHODS FOR SOLVING THE MONGE-KANTOROVICH PROBLEM 24
V.Sh. Roitenberg ON BORN FROM THE INFINITY LIMIT CYCLES OF SOME SECOND ORDER DIFFERENTIAL EQUATION ON THE CIRCLE 28
I.V. Tsivilskii, N.R. Seraeva, I.I. Starshova NUMERICAL SIMULATION OF THE DYNAMICS OF POWDER AND GAS PARTICLES IN LATERAL AND SUPERSONIC NOZZLES FOR LASER SURFACING 31

05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

A.P. Buinosov TECHNIQUE OF FORECASTING OF PROCESS OF WEAR AND DEFINITION OF THE RESOURCE OF BANDAGES OF WHEELPAIRS OF LOCOMOTIVES WITH USE OF POLYNOMIAL REGRESSION 35
D.A. Vedenkin, O.Yu. Zuev DEVELOP A BLOCK DIAGRAM AND ALGORITHM OF CONTROL SYSTEM OF THE MICROWAVE COMPLEX 39
V.I. Grishechkin, N.P. Nazarova, R.S. Shamsutdinov FREQUENCY-REGULATED DRIVE AS ENERGY-SAVING TECHNOLOGY 44
V.A. Ivanov, I.A. Mutugullina ANALYTICAL METHOD FOR CALCULATION OF FLOW DISTRIBUTION IN THE CIRCUIT OF LIQUID COOLING SYSTEMS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES AS A REVERSE TASK OF HYDRAULIC VARIABLE FLOW 47
T.M. Kokina THE INFLUENCE OF INACCURACIES OF MANUFACTURE AND INSTALLATION OF GEAR DRIVES OF ALL CARS ON THE KINEMATIC ACCURACY OF ROTATION OF THE WORKING BODIES 50
N.G. Fetisova, A.P. Buinosov INFLUENCE OF SERVICE CONDITIONS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES OF VL11 ON WEAR OF BANDAGES OF WHEELPAIRS 54
A.A. Shvetsova, G.V. Smirnov, P.E. Kiselev, P.A. Shlyapnikov ORGANIZATION OF THE WORK OF THE DEPARTMENTS OF ENGINEERING PRODUCTION 57

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

I.I. Batyirshin, O.G. Morozov, A.A. Ivanov, A.J. Sakhabutdinov, A.A. Tyazhelova SPECTRAL-FREQUENCY SPACING AS A TOOL TO IMPROVE THE ACCURACY FOR INSTANT FREQUENCY OF THE MICROWAVE SIGNALS RADIOPHOTONIC MEASURING 60
D.I. Kasimova, O.G. Morozov, V.D. Andreev, A.J. Sakhabutdinov, I.I. Nureev RADIOPHOTONIC METHOD OF CHROMATIC DISPERSION CONTROL FOR HIGH-SPEED COMMUNICATION CHANNEL ON THE BASIS OF BUILT-IN BRAGG FILTER REFLECTION SPECTRUM ANALYSIS 64

V.V. Kiselev, V.N. Oskolkov A COMBINED MODEL OF HEAT TRANSFER SYSTEM STRUCTURALLY-FUNCTIONAL MODULES OF ELECTRONIC EQUIPMENT 68
D.V. Malykh, P.E. Denisenko, R.I. Faizullin DESIGN AND MANUFACTURE OF FIBER BREGG GRATINGS WITH PHASE SHIFT 72
P.E. Denisenko, R.I. Faizullin, D.V. Malykh UNIVERSAL CONTROLLER OF DETERMINATION OF PHYSICAL FIELDS BASED ON DOUBLE-FREQUENCY SENSING OF FIBER BRAGG GRATING 75

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

I.A. Akimov, B.K. Zhumasheva INVESTIGATION AND DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF HEAT EXCHANGE IN MULTILAYER FENCING CONSTRUCTIONS OF FLYING APPARATUSES WITH VARIOUS THERMOPHYSICAL PROPERTIES 79
I.I. Bayneva CALCULATION AND CONSTRUCTION OF OPTICAL ELEMENTS OF LIGHT DEVICES 84
M.R. Batyuta, R.A. Kordyukov, A.A. Kuzin, E.N. Pribludova HARDWARE IMPLEMENTATION OF THE MEDIAN FILTER WITH THE DIRECT CALCULATION OF INDICES OF THE ORDERED MASSIVE 87
R.A. Burnashev, M.A. Al-Saedi, D.N. Galanin, V.O. Georgiev CONCEPTUAL BASIS FOR DEVELOPING OF TRAINIG MODELS OF COMPLEX SYSTEM SOFTWARE ASSEMBLING GENERATOR 91
L.A. Galiullin DECOMPOSITION OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF TESTS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES 97
A.I. Egunova, A.A. Abbakumov, M.A. Voropaeva INFORMATION AND SEARCHED SUBSYSTEM OF ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCE STORAGE 100
E.V. Efremov, D.E. Barkov MODIFICATION OF MATHEMATICAL MODEL OF EVAPORATOR FOR SPENT NUCLEAR FUEL RADIOCHEMICAL REFINING 104
T.K.Klyaus, Y.A. Gatchin THE USE OF ATTACKS' GRAPHICAL REPRESENTATION FOR THREAT MODELING 108
N.A. Kostarev, N.M. Trufanova PROCESS OF OIL HEAT AND MASS TRANSFER IN VERTICAL WELL WITH INFLUENCE OF PARAFFIN DEPOSITS ON TUBING 111
A.N. Kuzenkov IMPROVEMENT OF THE CEMENT PENDING QUALITY CONTROL SYSTEM ON THE BASIS OF STATISTICAL CONTROL CARDS 115
A.V. Milov, V.S. Tynchenko, A.V. Murygin, V.V. Tynchenko DEVELOPMENT OF THE CONTROL METHOD FOR WAVEGUIDES INDUCTION SOLDERING BASED ON FUZZY CONTROLLER 118
L.A. Poliakova PRINCIPLES OF SYSTEM ANALYSIS IN THE DESIGN OF THE INFORMATION SECURITY SYSTEM 122
S.V. Rykov, I.V. Kudryavtseva, V.A. Rykov, V.A. Alekseyeva MODEL OF THE SCALEING NONPARAMETRIC EQUATION OF STATE UNDER CONDITIONS $\gamma=3\beta$ 126
S.V. Rykov., I.V. Kudryavtseva, V.A. Rykov, A.V. Sverdlov, A.A. Shelamov MODELING OF THE LINE OF PHASE EQUILIBRIUM OF INDIVIDUAL SUBSTANCES 129
Yu.S. Taskina, V.S. Tynchenko, V.V. Bukhtoyarov, S.V. Tynchenko THE APPLICATION OF NEURONET MODELLING METHODS FOR PLANE-PURCHASING ACTIVITY AUTOMATION AT RETAIL TRADING ENTERPRISE 132
M.A. Forghani EXTRACTION OF NEW FEATURES FOR MUTATION STUDY IN INFLUENZA VIRUS PROTEIN 136
M.K. Khasanov MATHEMATICAL MODELLING OF PUMPING CARBON DIOXIDE IN LAYER TAKING INTO ACCOUNT HYDRATE FORMATION 139

ABSTRACTS 142

02.00.06

В.С. Минкин, Б.Н. Иванов, Р.Х. Зиятдинов, Т.Ю. Миракова, А.В. Репина

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Факультет наноматериалов и нанотехнологий,
Кафедра «Физика»,
Казань, nastia_repina@mail.ru

ВУЛКАНИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЖИДКИХ ТИОКОЛОВ В ПРИСУТСТВИИ ДИМЕТИЛФОРМАМИДА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-8-11

Методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР) исследовано влияние добавок в вулканизат полисульфидного олигомера в виде различных растворов бихромата натрия. Показана высокая эффективность введения бихромата натрия в растворе диметилформамида.

Ключевые слова: *вулканизат, диметилформамид, бихромат натрия.*

Известным промышленным вулканизующим агентом полисульфидных олигомеров является бихромат натрия [1,2]. Обычно он применяется в виде водных растворов, вводимых в герметики в составе вулканизующих паст. Имеется возможность использовать бихромат натрия в виде раствора в диметилформамиде, чем на практике часто пользуются для ускорения процесса вулканизации полисульфидного олигомера. Это должно приводить к равномерному распределению вулканизующего агента и оказывать влияние на качество получаемой полимерной сетки.

Увеличение содержания бихромата натрия, вводимого в вулканизат в виде водного раствора, приводит к повышению плотности химических цепей сетки. Температурный интервал текучести при этом расширяется и смещается в область более высоких температур, в то же время наблюдается изменение интервала стеклования вулканизатов (табл.1).

Таблица1 - Температурные интервалы стеклования и текучести и плотность цепей сетки для ненаполненных вулканизатов полисульфидного олигомера в зависимости от содержания бихромата натрия (кол-во воды: 6-10 мас.ч. на 100 мас.ч. олигомера)

Избыток бихромата натрия по сравнению со стехиометрическим количеством	1	2	3	4
Плотность цепей сетки $\nu \cdot 10^4$, моль/см^3				
эффективных	2,30	3,28	3,00	2,75
химических	1,04	1,58	1,70	1,60
Температура стеклования, °С				
T_1	-58	-52	-62	-65
T_2	-36	-38	-24	-20
Температурный интервал стеклования	22	14	38	45
Температуры текучести, °С				
T_1	12	75	70	60
T_2	80	140	180	180
Температурный интервал текучести	68	65	110	130

Приведенные на рис.1 кривые термодеструкции вулканизатов показывают, что применение окислителя в виде раствора, совместимого с олигомером (диметилформамид), способствует увеличению роли более прочных химических связей в полимерной сетке по сравнению с композициями, где этот же окислитель введен в виде водного раствора.

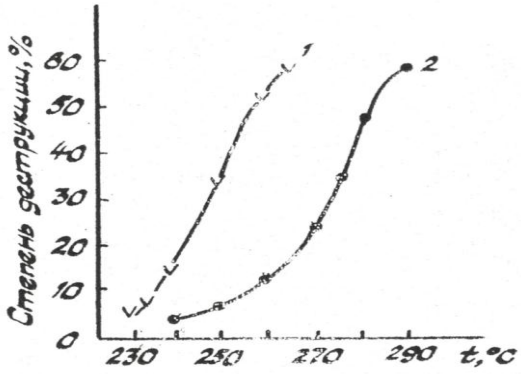


Рис.1. Кривые термической деструкции вулканизатов, полученных с использованием бихромата натрия (1,2): 1 – в виде водного раствора, 2 – в виде раствора в диметилформамиде

Различия в поведении вулканизатов мы связываем с разной степенью локализации окислителя в системе. При введении его в виде водного раствора наблюдается сегрегация вулканизующего агента вследствие несовместимости его с олигомером. В срезах вулканизатов можно визуально наблюдать вкрапления солей хрома. Введение бихромата натрия в растворе диметилформамида способствует равномерному распределению окислителя и более эффективному его использованию.

Данные ДТА хорошо коррелируют с результатами ЯМР-исследований. На рис.2 приведены спектры ЯМР-широких линий, снятые при различных температурах для вулканизатов с различным видом локализации бихромата натрия. При использовании раствора $Na_2Cr_2O_7$ в диметилформамиде в области температур от -10 до -50 °С не наблюдается сложной формы линии ЯМР в отличие от наблюдаемой двухкомпонентной линии ЯМР вулканизатов, полученных с водным $Na_2Cr_2O_7$. Ранее было установлено [2], что в области температур от -15 до -60 °С сложная форма линии ЯМР бихроматных вулканизатов обусловлена донорно-акцепторными взаимодействиями атомов хрома переменной валентности с олигомерными цепями. Потому, можно полагать, что в первом случае образуется вулканизат, более однородный по характеру молекулярного движения. При этом роль слабых координационных взаимодействий за счет комплексообразования мала.

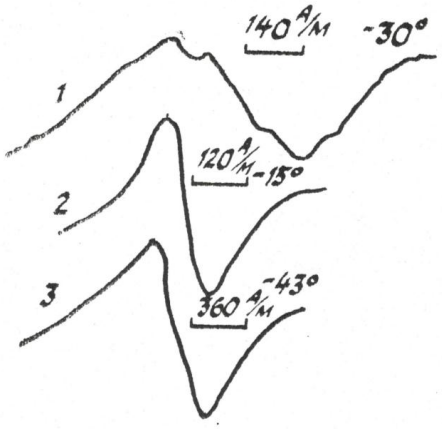


Рис.2. Спектры ЯМР широких линий для вулканизатов, полученных с использованием бихромата натрия в виде водного раствора (1) и раствора в диметилформамиде (2)

К такому же выводу можно прийти при сравнении найденных температурных зависимостей ширины линии ЯМР вулканизатов (рис.3). Анализ кривых свидетельствует о том, что вулканизат, полученный с органическим раствором $Na_2Cr_2O_7$ обладает более подвижной и гибкой полимерной сеткой.

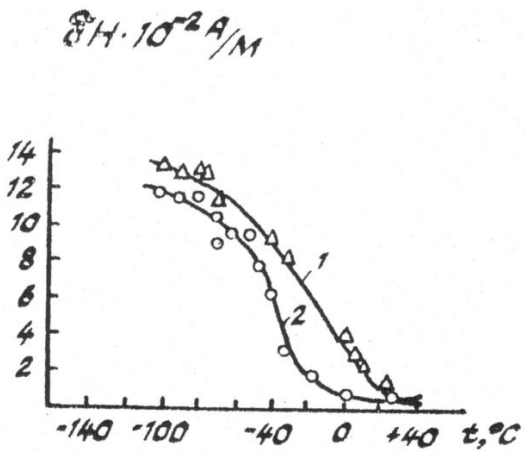


Рис.3. Температурная зависимость ширины линии ЯМР для вулканизатов ПСО, полученных с использованием бихромата натрия в виде водного раствора (1) и раствора в диметилформамиде (2)

Разница температур резкого сужения ширины линии - $T_{я.с.}$, характеризующая начало развитого сегментального движения, составляет 15 °С.

Поскольку температурное поведение вулканизатов с различной локализацией окислителя существенно отличается, можно полагать, что вулканизаты характеризуются различной химической плотностью цепей полимерной сетки. В таблице 2 приведены значения эффективной ($\nu_{эфф}$), химической ($\nu_{хим}$) плотностей цепей сетки для вулканизатов, полученных с одинаковым содержанием бихромата натрия.

Таблица 2 – Значения эффективной плотности цепей сетки для вулканизатов

	$\nu_{эфф}\cdot10^4$, моль/см^3	$\nu_{хим}\cdot10^4$, моль/см^3	$\nu_{физ}\cdot10^4$, моль/см^3
В виде водного раствора	3,30	1,58	1,72
В виде раствора в диметилформамиде	3,32	3,10	0,22

Полученные данные показывают хорошую корреляцию температурных переходов ЯМР с вкладом в плотность цепей сетки слабых координационных связей, образующихся в ходе процесса вулканизации.

Возникающие донорно-акцепторные взаимодействия в полимерной системе приводят к увеличению вклада во второй момент линии ЯМР за счет внутримолекулярных взаимодействий. Так, рассчитанные значения вторых моментов при температуре стеклования оказались равными 27 Гс^2 и 23 Гс^2 для вулканизатов, полученных с использованием водного и диметилформамидного растворов бихромата натрия соответственно.

Поскольку вода и диметилформамид являются высокополярными жидкостями (диэлектрическая проницаемость составляет 81,0 и 37,6 соответственно), можно считать, что окисление тиокольных групп олигомера бихроматом натрия протекает по ионному механизму. Характерно, что скорость процесса окисления оказывается зависящей от содержания диметилформамида в системе (рис.4).

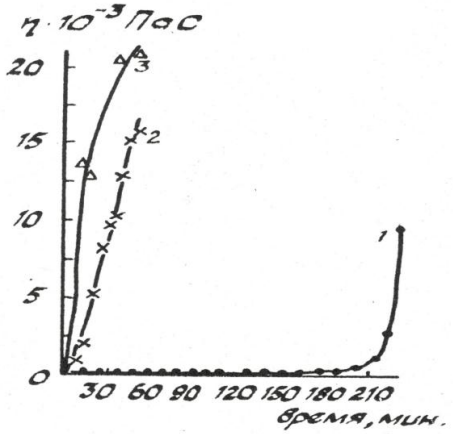
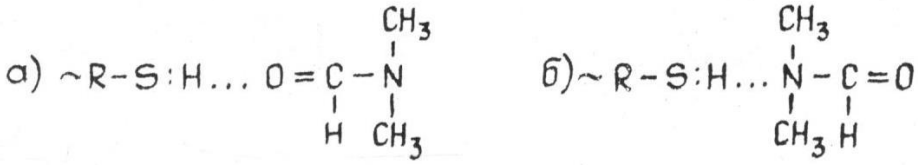


Рис.4. Кинетические кривые вулканизации полисульфидного олигомера бихроматом натрия в виде водного раствора (1) и раствора в диметилформамиде (2,3). Содержание ДМФА (% масс): 2 – 8%, 3 – 25%

Каталитическое воздействие ДМФА можно объяснить явлениями специфической координации молекул олигомера, приводящей к активации протона концевой меркаптогруппы:



Таким образом, введение бихромата натрия в растворе диметилформамида способствует равномерному распределению окислителя и более эффективному его использованию, что подтверждается приведенными значениями плотностей образующихся полимерных сеток.

Список литературы

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

2. *Минкин В.С., Дебердеев Т.Р., Палютин Ф.М., Хакимуллин Ю.Н.* Промышленные полисульфидные олигомеры. – Казань: Новое знание, 2004. 175 с.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА (01.01.00)

01.01.01

В.В. Абрамова

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

ПРИБЛИЖЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ПЕРВОГО ПОРЯДКА С ПАРАМЕТРОМ ПРИ ПРОИЗВОДНОЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-12-15

Проводится теоретическое обоснование решения периодической краевой задачи для дифференциального уравнения первого порядка с параметром (в том числе и малым) при производной методами редукции и коллокации в условиях применимости теории монотонных операторов и общей теории приближенных методов функционального анализа.

Ключевые слова: *краевая задача, обратный оператор, метод редукции, метод коллокации, ряд Фурье.*

Введение. Ряд задач кинематики и математической физики приводит к необходимости решения периодической краевой задачи для дифференциального уравнения с параметром при производной. Для приложений особое значение имеет разработка приближённых методов решения данной задачи с соответствующим теоретическим обоснованием в случае малого параметра при старшей производной. Для теоретического обоснования используется методика исследования, разработанная Б.Г. Габдулхаевым в главе 1 монографии [1] и теория рядов Фурье.

Рассмотрим периодическую краевую задачу вида

$$Kx \equiv \varepsilon x'(s) + a(s)x(s) = y(s), \quad -\infty < s < \infty, \tag{1}$$

$$x(0) = x(2\pi), \tag{2}$$

$$a(s) \geq \gamma^2 = const > 0, \quad -\infty < s < \infty. \tag{3}$$

где $a(s) \in C_{2\pi}$ и $y(s) \in L_2(0,2\pi)$ — данные вещественные 2π–периодические функции, а ε — произвольный (в том числе малый) отличный от нуля вещественный параметр. Ограничение (3) обеспечивает существование и единственность решения рассматриваемой задачи (см. теорема 1 из [2], с.16).

Функция $x = x(s)$ ищется в лебеговом пространстве 2π–периодических функций $L_2 = L_2(0,2\pi)$ с обычными нормой и скалярным произведением (см., напр., [3], с.25).

1. Метод редукции. Приближённое решение краевой задачи (1)–(3) будем искать в виде полинома

$$x_n(s) = \sum_{k=-n}^{n} \alpha_k \, e^{iks}, \quad \overline{\alpha}_k = \alpha_{-k}, \quad n \in \boldsymbol{N}. \tag{4}$$

коэффициенты $\alpha_k = \alpha_{k,n}$ $(k = \overline{-n,n})$ которого будем определять по методу редукции (Галёркина) из условий

$$(K(x_n; s), e^{irs}) = (y, e^{irs}), \quad r = \overline{-n,n}. \tag{5}$$

С учётом соотношений (1), (4) условия (5) эквивалентны системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) вида

$$ir\varepsilon\alpha_r + \sum_{k=-n}^{n} c_{r-k}\,(a)\alpha_k = c_r(y), \quad r = \overline{-n,n}. \tag{6}$$

Для схемы (1)–(6) справедлива следующая

Теорема 1. *В условиях (1)–(3) СЛАУ (6) имеет единственное решение* α_k^*, $k = \overline{-n,n}$, *при любых* $n \in \boldsymbol{N}$, *а для приближённого решения*

$$x_n^*(s) = \sum_{k=-n}^{n} \alpha_k^* e^{iks}, \quad n \in \boldsymbol{N}, \tag{7}$$

равномерно относительно $\varepsilon \in \boldsymbol{R}$ *справедливы неравенства*

$$\| x_n^*(s) \|_{L_2} = \{ \sum_{k=-n}^{n} | \alpha_k^*|^2\}^{1/2} \le \gamma^{-2}\{ \sum_{r=-n}^{n} | c_r(y)|^2\}^{1/2}, \quad n \in \boldsymbol{N}. \tag{8}$$

Доказательство. Используя оператор Фурье (см. [3], стр.27)

$$\Phi_n(f;s) = \sum_{r=-n}^{n} c_r\,(f)e^{irs}, \quad f \in L_2,$$

СЛАУ (6) запишем в виде эквивалентного ей операторного уравнения

$$K_n x_n \equiv \Phi_n K x_n = \Phi_n y \quad (x_n, \Phi_n y \in L_{2,n}), \tag{9}$$

где $L_{2,n}$ — множество всех полиномов вида (4). Из (1), (2), (9) получаем

$$K_n x_n \equiv \varepsilon {x_n}' + \Phi_n(a x_n) = \Phi_n y \quad (x_n, \Phi_n y \in L_{2,n}). \tag{10}$$

Для любого $x_n \in L_{2,n}$ находим

$$(K_n x_n, x_n) = \varepsilon({x_n}', x_n) + (\Phi_n(a x_n), x_n) = (\Phi_n(a x_n), x_n) =$$
$$= (a x_n, \Phi_n^* x_n) = (a x_n, \Phi_n x_n) = (a x_n, x_n) = (a, |x_n|^2) \ge \gamma^2 \| x_n \|^2.$$

Поэтому

$$\| K_n x_n \| \ge \gamma^2 \| x_n \| \qquad (x_n \in L_{2,n}). \tag{11}$$

Отсюда в силу параграфа 2 гл. I монографии [1] следует, что операторы $K_n : L_{2,n} \to L_{2,n}$ непрерывно обратимы при любых $n \in \boldsymbol{N}$ и справедливы неравенства

$$\| K_n^{-1} \| \le \gamma^{-2} < \infty, \qquad n \in \boldsymbol{N}. \tag{12}$$

Поэтому уравнение (9), а следовательно, и эквивалентная ему СЛАУ (6) однозначно разрешимы при любых $n \in \boldsymbol{N}$, причём для приближённого решения (7) (в силу (9)–(12) справедливы соотношения

$$\| x_n^* \| = \| K_n^{-1} \Phi_n y \| \le \gamma^{-2} \| \Phi_n y \| \le \gamma^{-2} \| y \|. \tag{13}$$

Из (13) в силу равенства Парсеваля следуют соотношения (8).

Из доказанной теоремы и аналогично доказательству теоремы 1 из [2], получаем

Следствие. *В условиях (1)–(3) операторы* $K_n^{-1} : L_{2,n} \to L_{2,n}$ $(n \in \boldsymbol{N})$ *ограничены и для них справедливы неравенства*

$$\| K_n^{-1} \| \le \min\{\gamma^{-2}, (\| a \|_{C_{2\pi}} - \| a \|_{C_{2\pi}} - a \|_{C_{2\pi}})^{-1}\}, \quad n \in \boldsymbol{N}. \tag{14}$$

Теорема 2. *В условиях (1)–(3) приближённые решения (7), построенные методом редукции, сходятся в* $L_2(0,2\pi)$ *к решению* $x^*(s) \in L_2(0,2\pi)$ *задачи (1)–(3) со скоростью, определяемой неравенствами*

$$E_n(x^*)_{L_2} \le \| x^* - x_n^* \|_{L_2} \le (1 + \gamma^{-2} \| a - \alpha \|_{C_{2\pi}}) E_n(x^*)_{L_2}, \quad n \in \boldsymbol{N}, \tag{15}$$

где $\alpha = \| a \|_{C_{2\pi}}$, $E_n(x^*)_{L_2}$ — *наилучшее приближение функции* x^* *в* $L_2(0,2\pi)$ *всевозможными полиномами вида (4).*

Доказательство. Задачу (1)–(3) и СЛАУ (6) запишем в виде эквивалентных уравнений

$$Kx \equiv Gx + Tx = y \quad (x, y \in L_2), \tag{16}$$

где

$$Gx \equiv \varepsilon x'(s) + \alpha x(s), \quad Tx \equiv [a(s) - \alpha]x(s), \tag{17}$$

и

$$K_n x_n \equiv \Phi_n G x_n + \Phi_n T x_n = \Phi_n y \quad (x_n, \Phi_n y \in L_{2,n}). \tag{18}$$

Поскольку Φ_n — линейный проекционный оператор, то в силу (16) уравнение (18) принимает вид

$$K_n x_n \equiv G x_n + \Phi_n T x_n = \Phi_n y \quad (x_n, \Phi_n y \in L_{2,n}). \tag{19}$$

Благодаря теореме 1 из [2] и теореме 1 к уравнениям (16), (19) применимо следствие леммы 2.2 гл. I [1]:

$$\| x^* - x_n^* \| = \| (E - K_n^{-1}\Phi_n T)(x^* - G^{-1}\Phi_n G x^*) \| \le$$
$$\le \| E - K_n^{-1}\Phi_n T \|_{L_2 \to L_2} \| x^* - G^{-1}\Phi_n G x^* \|_{L_2} \le$$
$$\le (1 + \| K_n^{-1} \|_{L_{2,n} \to L_{2,n}} \| \Phi_n \|_{L_2 \to L_2} \| T \|_{L_2 \to L_2}) \| x^* - G^{-1}\Phi_n G x^* \|_{L_2} \le$$
$$\le (1 + \gamma^{-2} \| a - \alpha \|_{C_{2\pi}}) \| x^* - G^{-1}\Phi_n G x^* \|_{L_2}, \quad n \in \boldsymbol{N}. \tag{20}$$

Поскольку $x^*(s) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k (x^*) e^{iks}$, то в силу леммы 1 из [2] и (17) последовательно находим

$$G(x^*; s) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (\alpha + ik\varepsilon) c_k(x^*) e^{iks}, \quad \Phi_n(Gx^*; s) = \sum_{k=-n}^{n} (\alpha + ik\varepsilon) c_k(x^*) e^{iks},$$

$$G^{-1}(\Phi_n G x^*; s) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{c_k(\Phi_n G x^*)}{\alpha + ik\varepsilon} e^{iks} =$$

$$= \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{(\alpha + ik\varepsilon) c_k(x^*)}{\alpha + ik\varepsilon} e^{iks} = \sum_{k=-n}^{n} c_k (x^*) e^{iks} = \Phi_n(x^*; s).$$

Поэтому

$$G^{-1}\Phi_n G x^* = \Phi_n x^*, \quad n \in \boldsymbol{N}. \tag{21}$$

Из соотношений (20), (21) легко находим

$$E_n(x^*)_{L_2} \le \| x^* - x_n^* \|_{L_2} \le (1 + \gamma^{-2} \| a - \alpha \|_{C_{2\pi}}) \| x^* - \Phi_n x^* \| =$$
$$= (1 + \gamma^{-2} \| a - \alpha \|_{C_{2\pi}}) E_n(x^*)_{L_2}, \quad n \in \boldsymbol{N},$$

где $\alpha = \| a \|_{C_{2\pi}}$. Тем самым теорема 2 доказана.

2. Метод коллокации. Приближённое решение краевой задачи (1)–(3) ищем в виде полинома (4), коэффициенты которого будем определять методом коллокации из условий

$$K(x_n; s_j) = y(s_j), \quad j = \overline{-n, n}, \tag{22}$$

где $y(s) \in C_{2\pi}$ и

$$s_j = \frac{2j\pi}{2n+1}, \quad j = \overline{-n, n}, \quad n \in \boldsymbol{N}. \tag{23}$$

Легко видеть, что условия (22), (23) эквивалентны СЛАУ вида

$$\sum_{k=-n}^{n} \alpha_k [ik\varepsilon + a(s_j)] e^{iks_j} = y(s_j), \quad j = \overline{-n, n}. \tag{24}$$

Для схемы (1)–(3), (4), (22)–(24) справедливы следующие утверждения.

Теорема 3. *В* условиях *(1)–(3) СЛАУ (24) имеет единственное решение при любых* $n \in \boldsymbol{N}$. *Приближённые решения (7), где* $\alpha_k^* (k = \overline{-n, n})$ *— решение СЛАУ (24), равномерно относительно* $\varepsilon \in \boldsymbol{R}$ *удовлетворяют соотношениям*

$$\| x_n^* \|_{L_2} = \{\frac{1}{2n+1} \sum_{k=-n}^{n} | \alpha_k^*|^2\}^{1/2} \le \gamma^{-2} \{\frac{1}{2n+1} \sum_{j=-n}^{n} | y(s_j)|^2\}^{1/2}, \quad n \in \boldsymbol{N}. \tag{25}$$

Доказательство. СЛАУ (24) эквивалентна операторному уравнению

$$K_n x_n \equiv \mathcal{L}_n K x_n = \mathcal{L}_n y \quad (x_n, \mathcal{L}_n y \in L_{2,n}), \tag{26}$$

где

$$\mathcal{L}_n(f; s) = \frac{1}{2n+1} \sum_{j=-n}^{n} f(s_j) \frac{\sin \frac{2n+1}{2}(s - s_j)}{\sin \frac{(s - s_j)}{2}}, \quad f \in C_{2\pi},$$

а узлы s_j определены в (23).

Поскольку $\mathcal{L}_n$ — линейный проекционный оператор, то уравнение (26) эквивалентно уравнению

$$K_n x_n \equiv \varepsilon x_n' + \mathcal{L}_n(a x_n) = \mathcal{L}_n y \quad (x_n, \mathcal{L}_n y \in L_{2,n}). \tag{27}$$

Из (27), как и при доказательстве теоремы 1, для любого $x_n \in L_{2,n}$ находим

$$(K_n x_n, x_n) = \varepsilon(x_n', x_n) + (\mathcal{L}_n(a x_n), x_n) = (\mathcal{L}_n(a x_n), x_n). \tag{28}$$

Отсюда с учётом точности квадратурной формулы левых прямоугольников с узлами (23) получаем

$$(K_n x_n, x_n) = \frac{1}{2n+1}\sum_{j=-n}^{n} a(s_j)|x_n(s_j)|^2 \geq$$

$$\geq \gamma^2 \frac{1}{2n+1}\sum_{j=-n}^{n} |x_n(s_j)|^2 = \gamma^2 \| x_n \|^2, \quad x_n \in L_{2,n}.$$

Поэтому

$$\| K_n x_n \| \geq \gamma^2 \| x_n \|, \quad x_n \in L_{2,n}. \tag{29}$$

Отсюда (см., параграф 2 гл. I [1]), следует двусторонняя обратимость операторов $K_n: L_{2,n} \to L_{2,n}$ и справедливость неравенств

$$\| K_n^{-1} \| \leq \gamma^{-2} < \infty, \quad n \in \boldsymbol{N}. \tag{30}$$

Из соотношений (29) и (26) легко получается требуемая оценка (25).

Теорема 4. *Пусть $a(s), y(s) \in C_{2\pi}$. Тогда в условиях (1)–(3) приближённые решения (7), построенные методом коллокации (4), (23), (24), сходятся в $L_2(0,2\pi)$ к точному решению $x^*(s)$ со скоростью, определяемой соотношениями*

$$\| x^* - x_n^* \|_{L_2} \leq \frac{2}{\alpha}(1+\gamma^{-2} \| a-\alpha \|_{C_{2\pi}})\{E_n(y)_{C_{2\pi}} + E_n((a-\alpha)x^*)_{C_{2\pi}}\}, \quad n \in \boldsymbol{N}, \tag{31}$$

где $E_n(f)_{C_{2\pi}}$ — наилучшее равномерное приближение функции $f \in C_{2\pi}$ всевозможными тригонометрическими полиномами вида (4).

Доказательство. Прежде всего, отметим, что в условиях теоремы точное решение $x^*(s)$ имеет первую непрерывную производную $dx^*/ds \in C_{2\pi}$. Благодаря этому и теореме 1 из [2], а также теореме 3, к уравнениям (16) и (27) применимо следствие леммы 2.2 гл. I [1]:

$$\| x^* - x_n^* \|_{L_2} = \| (E - K_n^{-1}\mathcal{L}_n T)(x^* - G^{-1}\mathcal{L}_n G x^*) \|_{L_2} \leq$$
$$\leq (1+\| K_n^{-1} \|_{L_{2,n}\to L_{2,n}} \| \mathcal{L}_n T \|_{C_{2\pi}\to L_2}) \| x^* - G^{-1}\mathcal{L}_n G x^* \|_{L_2} \leq$$
$$\leq (1+\gamma^{-2} \| \mathcal{L}_n T \|_{C_{2\pi}\to L_2}) \| x^* - G^{-1}\mathcal{L}_n G x^* \|_{L_2}, \quad n \in \boldsymbol{N}. \tag{32}$$

Для любого $x \in C_{2\pi}$ в силу (17) находим

$$\| \mathcal{L}_n T x \|_{L_2}^2 = \frac{1}{(2n+1)^2}\sum_{j=-n}^{n} |T(x;s_j)|^2 = \frac{1}{(2n+1)^2}\sum_{j=-n}^{n} |a(s_j)-\alpha|^2 |x(s_j)|^2 \leq$$
$$\leq \| a(s)-\alpha \|_{C_{2\pi}} \| x \|_{C_{2\pi}}^2, \quad x \in C_{2\pi}.$$

Поэтому

$$\| \mathcal{L}_n T \|_{C_{2\pi}\to L_2} \leq \| a(s)-\alpha \|_{C_{2\pi}}, \quad n \in \boldsymbol{N}. \tag{33}$$

Из результатов п.2.2 гл. I [1], неравенств (32), (33) и леммы 2 [2] последовательно находим

$$\| x^* - x_n^* \|_{L_2} \leq (1+\gamma^{-2} \| a(s)-\alpha \|_{C_{2\pi}}) \| G^{-1} \|_{L_2\to C_{2\pi}} \| G x^* - \mathcal{L}_n G x^* \|_{L_2} \leq$$
$$\leq (1+\gamma^{-2} \| a(s)-\alpha \|_{C_{2\pi}})\left(\frac{1}{\alpha}+\frac{\pi}{\varepsilon}\right) 2E_n(Gx^*)_{C_{2\pi}} \leq$$
$$\leq 2\left(\frac{1}{\alpha}+\frac{\pi}{\varepsilon}\right)(1+\gamma^{-2} \| a(s)-\alpha \|_{C_{2\pi}}) E_n(y-Tx^*)_{C_{2\pi}}.$$

Отсюда следует требуемое утверждение.

Список литературы

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

2. *Абрамова В.В.* Решение периодической краевой задачи для дифференциального уравнения первого порядка с параметром при производной. Научно-технический вестник Поволжья – №5, 2015. – С. 14-17.

3. *Абрамова В.В.* Решение периодических интегральных уравнений типа свёртки с положительными операторами. Научно-технический вестник Поволжья – №3, 2015. – С. 25-28.

01.01.00

И.Х. Еникеев д.т.н.

Московский политехнический университет,
Центр математического образования,
Москва, enickeev.iX@yandex.ru

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ДОКАЗАТЕЛЬСТВУ ТЕОРЕМЫ ФЕРМА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-16-20

В статье приведено доказательство фундаментальной теоремы Ферма при некоторых упрощающих предположениях. Основные допущения основаны на предположении о существовании функциональной зависимости между целочисленными переменными, входящими в условие теоремы. Осуществлён переход от уравнения Ферма к системе дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: *теорема Ферма, целочисленные переменные, линейное программирование*

Введение

В середине 17-го века П.Ферма сформулировал свою знаменитую теорему, которую на протяжении почти 400 лет безуспешно пытались доказать многие известные математики. И вот в 1995 году профессор Принстонского университета Э. Уайлс в работе [1] привёл доказательство этой теоремы, которое после проведения соответствующей экспертизы в 1997 году было признано официальным доказательством теоремы Ферма. Суть этого доказательства сводилась к тому, что диафантово уравнение Ферма при помощи так называемых модулярных форм и групп Галуа сводилось к уравнению эллиптической кривой над полем рациональных чисел. В [1] было доказано, что не существует точек с рациональными координатами, принадлежащих этой кривой, то есть уравнение Ферма не имеет решения в целых числах. Однако в 2008 году Ю.А. Ивлиев в работе [2] показал, что преобразование уравнения Ферма в уравнение эллиптических кривых возможно только при наличии некоторых упрощающих предположений.

Суть этих предположений заключалась в том, что дифантову уравнению Ферма можно поставить в соответствие эллиптическую кривую 3-го порядка. Однако это можно сделать только в специально подобранных нелинейных системах координат. Если перейти в линейное топологическое пространство, то однозначного соответствия между задачей Ферма и эллиптическими кривыми не существует.

Таким образом эта работа послужила основой для дальнейшего поиска решения задачи Ферма. В данной статье предлагается другой подход к рассмотрению теоремы Ферма, а именно: предполагалось, что существует фунциональная связь между переменными z,y и x. Кроме того, в этой теореме вместо использования целочисленных переменных предлагается рассматривать функции вещественного переменного и, соответственно, рассмотреть более сложное уравнение, которое при целочисленных значениях переменной x обращается в уравнение Ферма. В этом случае можно использовать аппарат дифференциального и интегрального исчисления, что упрощает решение задачи.

Постановка задачи и схема решения

Теорема Ферма: Если натуральное число n>2, то уравнение:

$$x^n + y^n = z^n \qquad (1)$$

для любых натуральных чисел x, y, z не имеет решения [3].

Приведем доказательство этой теоремы при следующих упрощающих предположениях:

будем считать, что в (1) переменные y, z зависят от x, то есть:

$$y=y(x),\ z=z(x) \quad (2)$$

В (2) функции y(x) и z(x) являются целочисленными функциями целочисленного аргумента, то есть эти функции при целом значении аргумента принимают только целые значения.

Тогда (1) можно записать в виде:

$$x^n + [y(x)]^n = [z(x)]^n \quad (3)$$

Продифференцируем (3) по переменной x, тогда получим:

$$nx^{n-1} + n[y(x)]^{n-1} * y'(x) = n[z(x)]^{n-1} * z'(x) \quad (4)$$

или, сокращая обе части уравнения (4) на n (это можно сделать, так как n>2), получим:

$$x^{n-1} + [y(x)]^{n-1} * y'(x) = [z(x)]^{n-1} * z'(x) \quad (5)$$

Продифференцируем уравнение (5) ещё раз по переменной x;

$$(n-1)x^{n-2} + (n-1)[y(x)]^{n-2} * [y'(x)]^2 + [y(x)]^{n-1} * y''(x) = (n-1)[z(x)]^{n-2} * [z'(x)]^2 + [z(x)]^{n-1} * z''(x) \quad (6)$$

Предположим, что $z''(x) = y''(x) = 0$ (7)

Математический смысл предположения (7) заключается в том, что функции y=y(x) и z=z(x) имеют нулевую кривизну, то есть являются линейными.

Тогда из (7) следует, что

$$\begin{cases} z'(x) = C \\ y'(x) = C_1 \end{cases} \quad (8)$$

Или

$$\begin{cases} z(x) = Cx + C_2 \\ y(x) = C_1 x + C_3 \end{cases} \quad (9)$$

Уравнение (1) при x = y = z = 0 справедливо, поэтому будем считать, что при x=0 в системе (9) $z(x)$ = y(x) = 0. Тогда из (9) следует, что $C_2 = C_3 = 0$ и

$$\begin{cases} z(x) = Cx \\ y(x) = C_1 x \end{cases} \quad (10)$$

Подставим (7) и (10) в (6) получим:

$$(n-1)x^{n-2} + (n-1)(C_1 x)^{n-2} * C_1^2 = (n-1)(Cx)^{n-2} * C^2 \quad (11)$$

или сокращая обе части (11) на (n-1) получим:

$$x^{n-2} + C_1^n x^{n-2} = C^n x^{n-2} \text{ или } 1 + C_1^n = C^n \quad (12)$$

Запишем уравнение (12) в виде: $1 = C^n - C_1^n$ (13)

Так как в системе (10), в силу выше сделанных предположений, все перечисленные величины являются *целочисленными*, то C и C_1 могут удовлетворять следующим условиям:

1. C и C_1 – целые числа. Рассмотрим три разных случая:

1.1 C и C_1 – четные числа, то есть: C = 2q, C_1=2p, где p, q ϵ N

Тогда из (13) ⇔ $1 = (2q)^n - (2p)^n$ или $1 = 2^n(q^n - p^n)$ (14)

Из (14) следует, что левая часть этого равенства должна делится на 2^n, но это не так, поэтому уравнение (14) решений не имеет, то есть C, $C_1 \in Ø$

1.2 C – чётное число, а C_1 – нечётное, то есть:

C=2p, C_1=2q+1, причём, как это следует из (13) $C^n > C_1^n$, что соответствует условию C > C_1

или $2p > 2q + 1$ (15)

Также из (12) ⇨ $C^n = 1 + C_1^n < (1 + C_1)^n$ ⇔ $C^n < (1 + C_1)^n$ ⇨ $C < 1 + C_1$ ⇨

$2p < 1 + 2q + 1$ ⇔ $q > p - 1$ (16)

Из условия (15), (16) и того, что C, $C_1 \in$ N следует система:

$$\begin{cases} \begin{cases} 2p < 2 + 2q \\ 2p > 2q + 1 \end{cases} \\ p > 0 \\ q > 0 \end{cases} \quad (17)$$

Решим систему (17) при помощи методов линейного программирования [4,5]. Для этого систему (17) запишем в виде:

$$\begin{cases} \begin{cases} q > p - 1 \\ q < p - 1/2 \end{cases} \\ p > 0 \\ q > 0 \end{cases} \quad (18)$$

Для нахождения решения системы (18) рассмотрим координатную плоскость, на которой точки имеют координаты (p, q). Изобразим на этой плоскости точки, координаты которых удовлетворяют системе (18) (заштрихованная область, рис.1.)

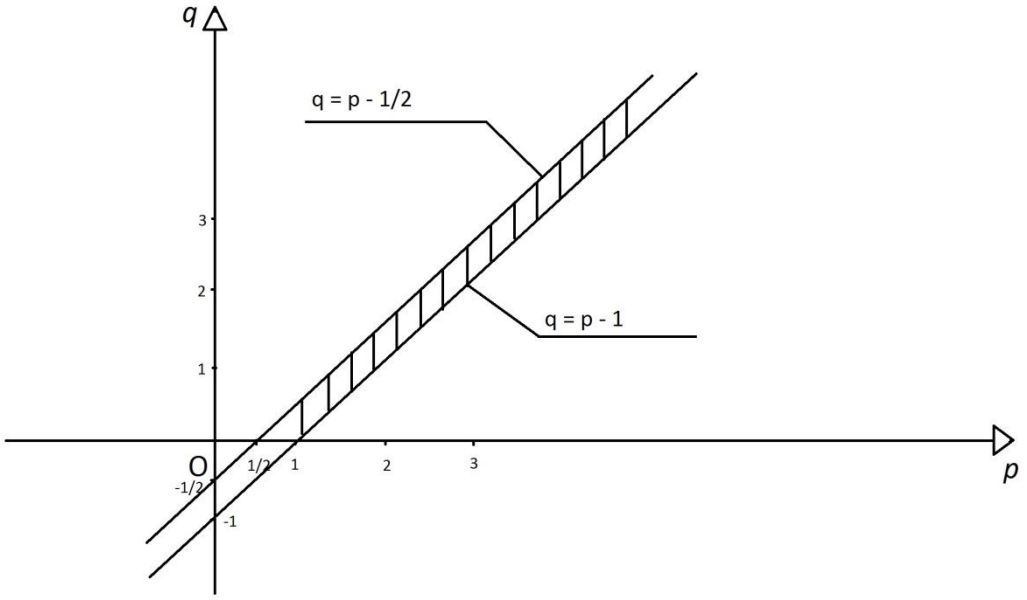


Рис. 1 - Плоское множество для системы (18)

Как следует из рис. 1, множество точек, координаты которых удовлетворяют системе (18), является полосой, ширина и высота которой равна 0,5. Это означает что на этом множестве не может быть точек, координаты которых одновременно были бы целыми числами. Действительно, пусть какая-то точка A(p, q) с целыми координатами принадлежит данному множеству.

Пусть q=m ∈ Z, тогда из (18) $\Rightarrow \begin{cases} m < p - 1/2 \\ m > p - 1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} p > m + 1/2 \\ p < m + 1 \end{cases} \Leftrightarrow$

$1/2 + m < p < m + 1 \Leftrightarrow 1/2 < p - m < 1 \Rightarrow p - m = L/R$, где L, R ϵ N и L <R

Из последнего равенства следует, что разность между двумя целыми числами является дробной, значит предположение о том, что p, q ∈ Z – неверно.

Таким образом из рис. 1 следует, что в заштрихованной полосе нет точек, для которых p, q ∈ N, то есть C, $C_1 \in Ø$.

1.3 C – нечётное число, C_1 – чётное число, то есть: C = 2q + 1, $C_1 = 2q$. Тогда, по аналогии с предыдущим пунктом имеем:

$$\begin{cases} \begin{cases} 2q + 1 > 2p \\ 2q + 1 < 2p + 1 \end{cases} \\ p > 0 \\ q > 0 \end{cases} \quad (19)$$

Запишем систему (19) в виде:

$$\begin{cases} \begin{cases} q > p - 1/2 \\ q < p \end{cases} \\ p > 0 \\ q > 0 \end{cases} \quad (20)$$

Аналогично предыдущему пункту на координатной плоскости (p, q) определим множество точек, координаты которых удовлетворяют системе (20) (заштрихованная

область, рис.2).

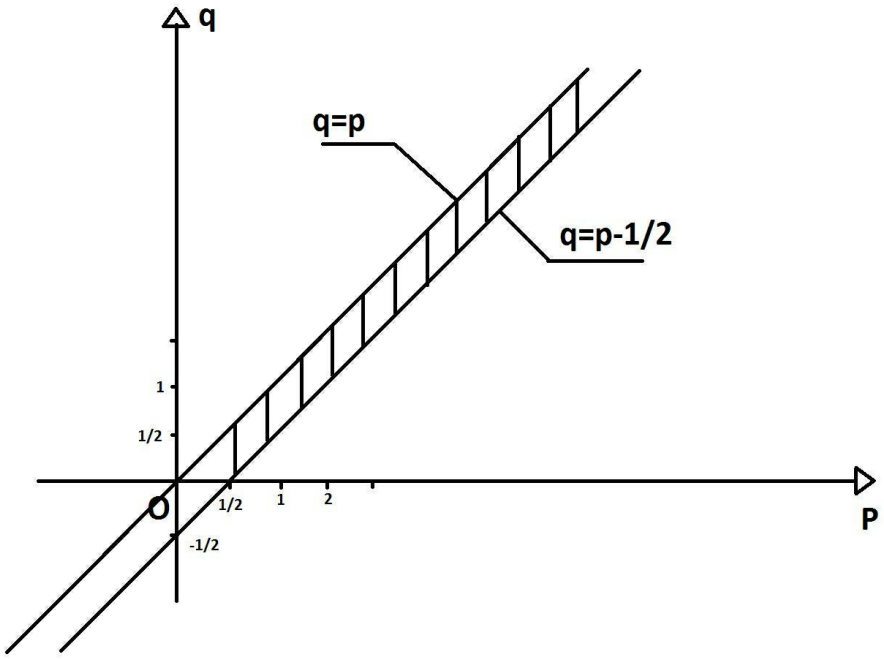


Рис. 2 - Плоское множество для системы (20)

Из рисунка видно, что ширина и высота заштрихованной области меньше единицы, то есть эта область не содержит точек, координаты которых являлись бы одновременно натуральными числами, то есть p, q ∉ N, следовательно, C, $C_1 \in Ø$.

2. C и C_1 – дробные числа, то есть:

$$C = \frac{p}{q},\ C_1 = \frac{p_1}{q_1} \tag{21}$$

Как следует из (10) для того, чтобы при x∈ N функции z(x) и y(x) также были целочисленными необходимо, чтобы

$$q = x,\ q_1 = x \tag{22}$$

Но q и q_1 – постоянные числа, а x – переменная величина, то есть равенство в (22) невозможно, а это означает, что C, $C_1 \in Ø$.

Таким образом можно сделать следующий вывод. При сделанных предположениях, а именно: z” = y” = 0, то есть функции z(x) и y(x) линейно зависят от переменной x, уравнение (1) решений не имеет. Для иллюстрации приведённого доказательства, рассмотрим несколько примеров, характеризующих рассмотренные случаи.

1.1 C и C_1 – четные числа, причём C > C_1, например:

$$C = 4,\ C_1 = 2 \Rightarrow \begin{cases} z(x) = 4x \\ y(x) = 2x \end{cases}$$

Пусть x = 2, тогда y = 4, z = 12, n = 3, тогда $2^3 + 4^3 \neq 8^3$

1.2 C – чётное, C_1 – нечётное и C > C_1, например:

$$C = 4,\ C_1 = 3 \Rightarrow \begin{cases} z(x) = 4x \\ y(x) = 3x \end{cases}$$

Пусть x = 2, тогда y = 6, z = 8, n = 3, то есть:

$$2^3 + 6^3 \neq 8^3$$

1.3 C – нечётное, C_1 – чётное и C > C_1, например:

$$C = 5,\ C_1 = 4 \Rightarrow \begin{cases} z(x) = 5x \\ y(x) = 4x \end{cases}$$

Пусть x = 2, тогда y = 8, z = 10, n = 3 ⇨ $2^3 + 8^3 \neq 10^3$

2. C и C_1 – дробные числа, причём $C > C_1$, пусть

$$x = 2 \Rightarrow C = 5/2,\ C_1 = 3/2 \Rightarrow \begin{cases} z = \frac{5}{2}x = 5 \\ y = \frac{3}{2}x = 3 \end{cases}$$

При n = 3 имеем:

$$2^3 + 3^3 \neq 5^3$$

Выводы

Для иллюстрации предлагаемого метода рассмотрим известную задачу – сравнить числа:

$$e^{\pi} \setminus / \pi^{e}$$

Если для решения этой задачи использовать алгебраическую теорию трансцендентных чисел, то само решение будет достаточно громоздким и сложным, поскольку придётся использовать определение и свойства трансцендентных чисел, искать алгебраическую связь между этими числами, использовать соответствующие пределы и т.д. Если же сравнивать не числа, а функции:

$$Y_1(x) \setminus / Y_2(x),$$

которые при определенных значениях аргумента совпадают с данными числами, то решение исходной задачи существенно упрощается, поскольку вместо сложной алгебраической теории трансцендентных чисел используется гораздо более простой аппарат теории функций вещественного переменного. Аналогичные подходы используются при суммировании числовых рядов. Поэтому, если рассмотреть уравнение Ферма не как диафантово уравнение, а как уравнение относительно неизвестных функций действительного переменного, то возможно решение задачи Ферма будет более простым.

Список литературы

1.*Wiles A.* Modular elliptic curves and Fermat's Last Theorem // Annals of Mathematics – 1995.- V.142, Second series N°3 – p.443-551.

2. *Ивлиев Ю.А.* Ошибочное доказательство Уайлса великой теоремы Ферма // Фундаментальные исследования - 2008. – N°3 – С.13-16.

3. *Туманов С. И.* Поиски решения задач, М.: Изд. «Просвещение», 1969 – 278 стр.

4. *Банди Б.* Основы линейного программирования: Пер с англ. – М.: «Радио и связь», 1989 – 176 стр.

5. *Анисимова Н. П., Ванина Е. А.* Линейное программирование. Учебно-методическое пособие Санкт-Петербург: НИУ ВШЭ, 2012 – 70 стр.

01.01.00

Г.И. Зенович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), кафедра прикладной математики,
Москва, gal-zenovich@yandex.ru

СВОЙСТВА РЕШЕНИЙ ОДНОМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ МОНОДИСПЕРСНОЙ СУСПЕНЗИИ В ОДНОРОДНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-21-23

Рассматривается математическая модель движения частиц в фильтре с единственным геометрическим механизмом захвата. Исследуются свойства концентраций взвешенных и осажденных частиц и асимптотика при фиксирующем коэффициенте фильтрации.

Ключевые слова: *фильтрация, пористая среда, суспензия, коэффициент фильтрации, асимптотика.*

Исследование движения твердых частиц через поры фильтра является актуальной задачей для многих областей науки и техники.

Назовем суспензией жидкость, содержащую взвешенные частицы. Фильтром называется пористая среда с пустотами разных размеров. Предполагается, что поры образуют каналы, которые имеют круговое поперечное сечение постоянного диаметра на всем своем протяжении, а частицы являются твердыми шарами. Если диаметр частицы больше диаметра поры, то при попадании в эту пору частица застревает в ней. Застрявшие в порах фильтра частицы образуют осадок. Суспензия течет в одном направлении и частицы застревают только на входе в каналы. В качестве фильтра будем рассматривать трубку длиной 1 и постоянным поперечным сечением. Пусть в каждом сечении концентрация пор малого и большого диаметра постоянна. Будем предполагать, что частицы движутся с постоянной скоростью и на входе фильтра концентрация взвешенных частиц постоянна.

Математическая модель фильтрации включает уравнение баланса масс взвешенных и осажденных частиц. А также уравнение, определяющее скорость роста осадка. Эта математическая модель движения частиц в фильтре подробно изложена в [1] – [3].

Обозначим $C(x,t)$ концентрацию взвешенных частиц и $S(x,t)-$ концентрацию осажденных частиц. Концентрации частиц удовлетворяют уравнению непрерывности

$$\frac{\partial(C+S)}{\partial t}+\frac{\partial C}{\partial x}=0. \quad (1)$$

Скорость образования осадка пропорциональна концентрации взвешенных частиц и зависит от текущей величины осадка $S(x,t)$, т.к. чем больше пор малого диаметра закрыто частицами, тем меньше скорость образования осадка.

$$\frac{\partial S}{\partial t}=\Lambda(S)C. \quad (2)$$

Коэффициент фильтрации $\Lambda(S)$ - убывающая функция и $\Lambda(S)>0$ при $S>0$.

Рассмотрим область $\Omega=\{0<x<1, t>0\}$. Краевые условия для системы (1) и (2) ставятся на входе фильтра при $x=0$ и в начальный момент времени $t=0$.

$$C(x,t)|_{x=0}=1, \quad (3)$$

$$C(x,t)|_{x=0}=0, \quad (4)$$

$$S(x,t)|_{t=0}=0. \quad (5)$$

На входе фильтра при $x=0$ из (2) и (3) имеем

$$\frac{\partial S(0,t)}{\partial t}=\Lambda(S(0,t))>0 \quad (6)$$

и, следовательно, $S(0,t)$ возрастает и $S(0,t)>0$ при $t>0$.

Из (6) получаем

$$\frac{\partial\, S(0,t)\,/\,\partial t}{\Lambda(S(0,t))}=1,$$

интегрируем по t:

$$\int_0^{S(0,t)} \frac{dS}{\Lambda(S)} = t. \quad (7)$$

Выражаем C из уравнения (2)

$$C = \frac{\partial S/\partial t}{\Lambda(S)}, \quad (8)$$

и подставляем в (1)

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial S/\partial x}{\Lambda(S)}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial S/\partial t}{\Lambda(S)}\right) + \frac{\partial S}{\partial t} = 0.$$

Преобразуем второе слагаемое:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial S/\partial t}{\Lambda(S)}\right) = \frac{1}{\Lambda^2(S)}\left(\Lambda(S)\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial S}{\partial t}\right) - \frac{\partial \Lambda}{\partial S}\frac{\partial S}{\partial x}\frac{\partial S}{\partial t}\right) == \frac{1}{\Lambda^2(S)}\left(\Lambda(S)\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right) - \frac{\partial \Lambda}{\partial t}\frac{\partial S}{\partial x}\right) = \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial S/\partial x}{\Lambda(S)}\right).$$

Получаем

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial S/\partial x}{\Lambda(S)}\right) + \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial S/\partial x}{\Lambda(S)}\right) + \frac{\partial S}{\partial t} = 0.$$

Интегрируем по переменной t

$$\frac{\partial S/\partial t}{\Lambda(S)} + \frac{\partial S/\partial x}{\Lambda(S)} + S = K(x). \quad (9)$$

Из условий (2) и (4) имеем

$$\frac{\partial S}{\partial t}|_{t=0} = \Lambda(S)C|_{t=0} = 0.$$

Продифференцируем условие (5)

$$\frac{\partial S}{\partial x}|_{t=0} = 0.$$

Из уравнения (9) при $t = 0$ получим $K(x) = 0$. Преобразуем уравнение (9)

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial x} + S\,\Lambda(S) = 0. \quad (10)$$

Рассмотрим области Ω_0=$\{0 < x < 1, 0 < t < x\}$ и Ω_S=$\{0 < x < 1, t > x\}$. В области Ω_0 уравнение (10) с начальным условием (5) согласно методу характеристик имеет нулевое решение $S \equiv 0$, в области Ω_S решение уравнения (10) положительно [4]. Из (8) следует, что $C \equiv 0$ в Ω_0. В области Ω_S сделаем замену переменных $\tau = t - x, x = x$:

$$S(x,\tau) = S(x, t-x)$$

$$\frac{\partial S(x,\tau)}{\partial x} = \frac{\partial S}{\partial x} - \frac{\partial S}{\partial t}, \frac{\partial S(x,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial S}{\partial t}.$$

Уравнение (10) преобразуется к виду:

$$\frac{\partial S}{\partial x} + S\,\Lambda(S) = 0. \quad (11)$$

Решение уравнения (11) имеет вид

$$\int_{S(0,\tau)}^{S(x,\tau)} \frac{dS}{S\Lambda(S)} = -x \quad \text{или}$$

$$\int_{S(x,t-x)}^{S(0,t)} \frac{dS}{S\Lambda(S)} = x\,. \quad (12)$$

При $S = 0$ подынтегральная функция имеет точку разрыва и при $x > 0$ положительна, следовательно, если $x > 0$, то

$$0 < S(x, t-x) < S(0,t). \quad (13)$$

Обозначим S_0= $S(0,t)$.

Продифференцируем (12) по переменной t:

$$\frac{1}{S_0\Lambda(S_0)}\frac{\partial S_0}{\partial t} - \frac{1}{S\Lambda(S)}\frac{\partial S}{\partial t} = 0. \quad (14)$$

Из (2) и (14) получили

$$\frac{C_0}{S_0} - \frac{C}{S} = 0.$$

Из условия (3)

$$C_0 = C(x,t)|_{x=0} = 1.$$

Тогда

$$C = \frac{S}{S_0}. \quad (15)$$

Из (15) следует, что $C(x,t) > 0$ в области Ω_S. Из условия (2) получаем

$$\frac{\partial S}{\partial t} > 0. \quad (16)$$

Дифференцируем (15) по переменной t:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{{S_0}^2}\left(S_0 \frac{\partial S}{\partial t} - S\frac{\partial S_0}{\partial t}\right). \quad (17)$$

Преобразуем уравнение (14)

$$0 = \frac{1}{S_0\Lambda(S_0)}\frac{\partial S_0}{\partial t} - \frac{1}{S\Lambda(S_0)}\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{1}{S\Lambda(S_0)}\frac{\partial S}{\partial t} - \frac{1}{S\Lambda(S)}\frac{\partial S}{\partial t} =$$
$$= \frac{1}{S_0\Lambda(S_0)}\left(S\frac{\partial S_0}{\partial t} - S_0\frac{\partial S}{\partial t}\right) + \frac{1}{S}\frac{\partial S}{\partial t}\left(\frac{1}{\Lambda(S_0)} - \frac{1}{\Lambda(S)}\right). \quad (18)$$

Так как функция $\Lambda(S)$ убывает, то из (13) следует $\Lambda(S_0) < \Lambda(S)$, и второе слагаемое в (18) отрицательно, а оно пропорционально (17) с отрицательным коэффициентом пропорциональности. Получаем

$$\frac{\partial C}{\partial t} > 0. \quad (19)$$

Из уравнения (1) и неравенств (16) и (19) следует

$$\frac{\partial C}{\partial x} < 0.$$

Из (10) и (16) получаем

$$\frac{\partial S}{\partial x} < 0.$$

После длительной фильтрации в пористой среде нет задержания частиц в малых порах, и наполнение осадка прекращается. Для описания этого явления берется блокирующий коэффициент фильтрации. Пусть $\Lambda(S)$ – блокирующий коэффициент фильтрации, т.е. функция $\Lambda(S)$ имеет положительный корень $S = S_M$:

$$\Lambda(S) > 0\,, 0 \le S \le S_M;\ \Lambda(S_M) = 0\ ;\ \Lambda'(S) < 0, 0 < S < S_M.$$

Из (7) следует

$$S(0,t) \to S_M \text{ при } t \to \infty. \quad (20)$$

Если $\Lambda(S) = O(S - S_M)^{\alpha}, \alpha \ge 1$, то интеграл (12) расходится в точке $S = S_M$. Для сходимости интеграла (12) согласно (20) необходимо, чтобы

$$S(x,t) \to S_M \text{ при } t \to \infty.$$

Из равенства (15) получаем

$$\mathrm{C}(x,t) \to 1 \text{ при } t \to \infty,$$

т.е. накопление осадка прекращается.

Список литературы

1. *Herzig J.P., Leclerc D.M., Legoff P.* Flow of suspensions through porous media – application to deep filtration, Industrial and Engineering Chemistry, vol. 62, pp. 8–35, 1970.

2. *You Z., Bedrikovetsky P., Kuzmina L.* Exact solution for long term size exclusion suspension colloidal transport in porous media, Abstract and Applied Analysis, vol. 2013, iss. Mathematical and Computational Analyses of Flow and Transport Phenomena, 9 p., 2013.

3.*You Z., Osipov Y., Bedrikovetsky P., Kuzmina L.* Asymptotic model for deep bed filtration, Chemical Engineering Journal, vol. 258, pp. 374–385, 2014.

4. *Рождественский Б.Л., Яненко Н.Н.* Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике. — М.: Наука, 1978.

01.01.02

С.А. Никифоров, З.Я. Якупов

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, физико-математический факультет, кафедра специальной математики, Казань, sergiys210395@gmail.com, zymat@bk.ru

СРАВНЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МОНЖА-КАНТОРОВИЧА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-24-27

В работе представлены результаты исследования полезности и целесообразности использования тех или иных методов при решении задач Монжа-Канторовича.

Ключевые слова: *задача Монжа-Канторовича, метод Северо-Западного угла, аппроксимация Фогеля.*

Организация рационального движения товаров, транспорта и т.п. существенно влияет на экономику и качество обслуживания как предприятий, так и регионов, государства в целом. Это означает, что логистический анализ инфраструктуры – одна из ключевых задач управления [1-3].

В этой работе рассматриваются следующие проблемы:

- попытка классификации различных алгоритмов решения транспортной задачи по нескольким признакам и
- попытка выяснить уместность применения различных методов в той или иной ситуации.

Суть задачи Монжа-Канторовича состоит в оптимальном распределении однородного продукта, находящегося у поставщика, потребителю с минимизацией затрат на перевозку. Задача относится к классу сложности P (так называемым "быстрым" задачам). Это означает, что время её решения полиномиально зависит от объёма входной информации. Но заметим, что если для решения задач малого объёма метод решения не имеет значения, то для задач с достаточно большим объёмом выбор метода решения играет большую роль.

Напомним общие условия задачи.

Имеется некий груз, который находится у m поставщиков: $a_1,a_2,\ldots,a_m$. Также имеются n потребителей: $b_1,b_2,\ldots,b_n$. Известна $C=(c_{ij})$, $i = 1,2,\ldots,m$; $j = 1,2,\ldots,n$ - матрица стоимости перевозок от каждого $i-го$ поставщика каждому $j-му$ потребителю.

Требуется составить план перевозок по таблице 1, при котором вывозится весь имеющийся объём продукта и удовлетворяются все потребности в продукте у потребителей.

Таблица 1.

b_n	$\cdots$	b_2	b_1	b_j / a_i
c_{1n}	$\cdots$	c_{12}	c_{11}	a_1
c_{2n}	$\cdots$	c_{22}	c_{21}	a_2
$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$
c_{mn}	$\cdots$	c_{m2}	c_{m1}	a_m

Замечание. Также обговорим, что существует два типа транспортных задач: открытого и закрытого типа. Под закрытой задачей мы понимаем задачу, в которой выполняется условие $\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j$. Для решения задачи открытого типа нужно свести её к закрытому типу. Известно, что это делается путем добавления либо фиктивного поставщика и заполнения дополнительной строки матрицы затрат нулями, либо фиктивного потребителя и заполнения

дополнительного столбца матрицы стоимостей нулями. В первом случае $a_{m+1} = \sum_{j=1}^{n} b_j - \sum_{i=1}^{m} a_i$, во втором — $b_{n+1} = \sum_{i=1}^{m} a_i - \sum_{j=1}^{n} b_j$.

Как известно, решение задачи сводится к следующим шагам:

1. Нахождение опорного плана (метод Северо-Западного угла, метод наименьших затрат, метод аппроксимации Фогеля, метод двойного предпочтения).
2. Оптимизация опорного плана (метод потенциалов, распределительный метод).

Для оценивания разных путей получения результата и вычленения из них подходящего нам решения, рассмотрим в каждом из предлагаемых ниже примеров нахождение опорного плана по отдельности каждым методом, доводя при этом решение до конца с помощью дальнейшей оптимизации отобранного опорного плана.

Как правило, для нахождения опорного плана используются следующие методы.

1) Метод Северо-Западного угла.
2) Метод наименьших затрат.
3) Метод аппроксимации Фогеля.
4) Метод двойного предпочтения.

Для более качественной классификации исследуем решение одной и той же транспортной задачи разными методами (на одном из примеров).

В частности, для простоты, возьмем однопродуктовую задачу закрытого типа. Целевая функция стремится к минимуму затрат. Матрицу стоимостей заполняем с помощью генератора случайных чисел.

Пример.

Таблица 1.

30	50	40	110	50	b_j a_i
7	8	2	2	13	80
6	11	7	11	3	60
11	1	15	5	9	30
12	3	7	8	12	60
4	13	10	6	1	50

Таблица 2.

Метод Северо-Западного угла						**Метод минимальных затрат**					
Опорный невырожденный план											
30	50	40	110	50	b_j a_i	**30**	**50**	**40**	**110**	**50**	b_j a_i
7	8	2	2 [80]	13	80	**7**	**8**	**2**	**2 [30]**	**13 [50]**	**80**
6	11	7 [10]	11	3 [50]	60	**6**	**11**	**7**	**11 [60]**	**3**	**60**
11	1 [30]	15	5	9	30	**11**	**1**	**15 [10]**	**5 [20]**	**9**	**30**
12	3 [20]	7 [30]	8 [10]	12	60	**12**	**3 [30]**	**7 [30]**	**8**	**12**	**60**
4 [30]	13	10	6 [20]	1	50	**4 [30]**	**13 [20]**	**10**	**6**	**1**	**50**
F = 1000						F = 2300					
Оптимальный план											
30	50	40	110	50	b_j a_i	**30**	**50**	**40**	**110**	**50**	b_j a_i
7	8	2 [0]	2 [80]	13	80	**7**	**8**	**2 [0]**	**2 [80]**	**13**	**80**
6	11	7 [30]	11	3 [30]	60	**6**	**11**	**7 [30]**	**11**	**3 [30]**	**60**
11	1	15	5 [30]	9	30	**11**	**1**	**15**	**5 [30]**	**9**	**30**
12	3 [50]	7 [10]	8	12	60	**12**	**3 [50]**	**7 [10]**	**8**	**12**	**60**
4 [30]	13	10	6	1 [20]	50	**4 [30]**	**13**	**10**	**6**	**1 [20]**	**50**
F = 970 **Оптимальный план получен за 3 итерации.**						F = 970 **Оптимальный план получен за 5 итераций.**					

Таблица 3.

Метод аппроксимации Фогеля						**Метод двойного предпочтения**					
Опорный невырожденный план											
30	50	40	110	50	b_j a_i	30	50	40	110	50	b_j a_i
7	8	2 [40]	2 [40]	13 [0]	80	7	8	2 [40]	2 [40]	13	80
6 [30]	11	7	11 [30]	3	60	6 [30]	11	7	11	3 [30]	60
11	1 [30]	15	5	9	30	11	1	15	5 [30]	9	30
12	3 [20]	7	8 [40]	12	60	12	3 [50]	7	8 [10]	12	60
4	13	10	6	1 [50]	50	4	13	10	6 [30]	1 [20]	50
F = 1130						F = 1010					
Оптимальный план											
30	50	40	110	50	b_j a_i	30	50	40	110	50	b_j a_i
7	8	2	2 [80]	13	80	7	8	2	2 [80]	13	80
6 [30]	11	7 [30]	11	3 [0]	60	6 [30]	11	7 [30]	11	3	60
11	1	15	5 [30]	9	30	11	1	15	5 [30]	9	30
12	3 [50]	7 [10]	8 [0]	12	60	12	3 [50]	7 [10]	8 [0]	12	60
4 [30]	13	10	6	1 [50]	50	4	13	10	6 [0]	1 [50]	50
F = 970 **Оптимальный план получен за 5 итераций.**						F = 970 **Оптимальный план получен за 3 итерации.**					

Из таблиц 2 и 3 можно выявить два параметра, по которым в дальнейшем будем проводить классификацию методов решения задач Монжа-Канторовича. Это – показание целевой функции (F) (в дальнейшем будем называть «показатель 1») и количество итераций для получения оптимального плана (в дальнейшем будем называть «показатель 2»). Чем меньше оба эти показателя, тем лучшим считаем применяемый метод.

Выводы к примеру:

1. Опорный невырожденный план, полученный методом Северо-Западного угла, абсолютно не конкурирует с методами наименьших затрат, аппроксимации Фогеля и двойного предпочтения. Единственное преимущество алгоритма – это простота построения опорного невырожденного плана.
2. Наилучший результат как по количеству итераций, так и по показанию целевой функции показал метод наименьших затрат.
3. Несмотря на то, что методы аппроксимации Фогеля и двойного предпочтения являются производными от метода наименьших затрат, они показали результаты хуже, чем всё тот же метод наименьших затрат.

Проведя исследования с матрицами разных размерностей, получим следующий набор данных для их изучения:

Таблица 4.

Размер платежной матрицы	Значение целевой функции			
	Метод двойн. предпочтения	Метод аппр. Фогеля	Метод мин. затрат	Метод С.-З. угла
5x5	1130	1010	1000	2300
8x8	3250	2460	2435	6315
8x8	3610	3090	3100	7680
7x7	2240	2210	2240	4490
6x6	2730	2610	2730	4395
7x7	7990	8105	8065	13270

Таблица 5.

Размер платежной матрицы	Количество итераций			
	Метод двойн. предпочтения	Метод аппр. Фогеля	Метод мин. затрат	Метод С.-З. угла
5x5	5	3	3	5
8x8	11	4	5	16
8x8	9	5	4	17
7x7	5	5	5	10
6x6	6	0	6	8
7x7	2	3	3	14

Опираясь на приведенные выше результаты, можно сформулировать следующие выводы:

- Если брать в расчет возможности вычислительной техники на сегодняшний день, то можно сказать, что программная реализация всех методов (Северо-Западного угла, минимальных затрат, аппроксимации Фогеля и двойного предпочтения) решения позволит легко найти опорное решение за короткий срок.
- Хотя метод Северо-Западного угла и является самым легко реализуемым программно алгоритмом, опорный план далёк от оптимального по сравнению с другими методами.
- Метод Северо-Западного угла подходит только в ознакомительных целях.
- Методы минимальных затрат и аппроксимации Фогеля имеют достаточно малое расхождения в значениях целевой функции при опорном плане.
- Можно сделать вывод, что "золотой серединой" является метод аппроксимации Фогеля.

В итоге проведённых исследований может быть предложена классификация методов решения задачи Монжа-Канторовича:

1. по приближенности опорного невырожденного плана к оптимальному плану;
2. по наилучшему значению целевой функции (функция может стремиться как к максимуму, так и к минимуму).

Список литературы

1. *Богачев В. И., Колесников А. В.* Задача Монжа – Канторовича: достижения, связи и перспективы, УМН, 2012, том 67, выпуск 5(407), 3–110.

2. *Vershik A.M.,* “Long history of the Monge-Kantorovich transportation problem”, *Math. Intelligencer*, 35:4 (2013), 1–9.

3. *Галимова Р. К., Якупов З. Я.* Концепции магистерских программ// Fundamental science and technology – promising developments VI: Proceedings of the Conference/ North Charleston, 1-2.12.2015, Vol. 2. – North Charleston, SC, USA: CreatSpace, 2015. – 297 p. – PP. 85 – 94.

Опубликовано при финансовой поддержке АНО «Казанский Открытый Университет Талантов 2.0»

01.01.02

В.Ш. Ройтенберг к.ф.-м.н.

Ярославский государственный технический университет,
кафедра высшей математики,
Ярославль, vroitenberg@mail.ru

О РОЖДАЮЩИХСЯ ИЗ БЕСКОНЕЧНОСТИ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЦИКЛАХ ОДНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА НА ОКРУЖНОСТИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-28-30

Рассматриваются дифференциальные уравнения второго порядка, правые части которых полиномы второго порядка относительно первой производной с периодическими коэффициентами, на цилиндрическом фазовом пространстве. Получена асимптотика предельного цикла, рождающегося из бесконечности, в типичном однопараметрическом семействе уравнений.

Ключевые слова: *дифференциальные уравнения второго порядка на окружности, предельный цикл, бифуркации.*

Будем рассматривать уравнения второго порядка

$$a:\ \ddot{x} = a_0(x) + a_1(x)\dot{x} + a_2(x)\dot{x}^2,$$

с ω-периодическими C^r-функциями $(r \geq 0)$ $a_i : \mathbf{R} \to \mathbf{R}$, $i = 0, 1, 2$. Мы можем считать, что уравнение задано на окружности $\mathbf{S}^1 = \mathbf{R}/\omega\mathbf{Z}$. Обозначим $\mathrm{A}_\omega^{2,r}$ – банахово пространство таких уравнений [1]. Уравнение $a \in \mathrm{A}_\omega^{2,r}$ определяет на фазовом пространстве $\mathbf{S}^1 \times \mathbf{R}$ систему уравнений

$$\dot{x} = y,\ \dot{y} = a_0(x) + a_1(x)y + a_2(x)y^2.$$

Ее траектории называются траекториями уравнения a.

Пусть

$$m(a) := -\int_0^\omega a_2(x)dx,\ \ell(a) := -\int_0^\omega a_1(s)\exp\int_s^0 a_2(\sigma)d\sigma ds.$$

В работе [1] было доказано, что если $m(a) = 0$, $\ell(a) \neq 0$, то уравнение $\tilde{a} \in \mathrm{A}_\omega^{2,r}$ достаточно близкое к a при $m(\tilde{a})\ell(a) < 0$ имеет в $\mathbf{S}^1 \times (0, +\infty)$ единственный предельный цикл, рождающийся из «бесконечности».

В настоящей работе мы найдем асимптотическое выражение для этого цикла и его периода, если $\tilde{a} = a^\mu$, $\mu \in (-\mu_0, \mu_0)$, $\frac{d}{d\mu}\big|_{\mu=0} m(a^\mu) \neq 0$.

Заметим, что для уравнений Льенара $a \in \mathrm{A}_\omega^{1,r} : \ddot{x} = a_0(x) + a_1(x)\dot{x}$ с периодическими коэффициентами условия существования и асимптотика предельного цикла, рождающегося из бесконечности, были получены ранее в работах [2, 3].

Условие $m(a) = 0$ задает в $\mathrm{A}_\omega^{2,r}$ замкнутое линейное подпространство коразмерности один, а условие $\ell(a) \neq 0$ – плотное в нем открытое подмножество B_Γ^1 – бифуркационное многообразие.

Рассмотрим однопараметрическое семейство уравнений из $\mathrm{A}_\omega^{2,r}$

$$a^\mu \in \mathrm{A}_\omega^{2,r} :\ \ddot{x} = a_0(x,\mu) + a_1(x,\mu)\dot{x} + a_2(x,\mu)\dot{x}^2,\ \mu \in (-\mu_0, \mu_0).$$

Будем предполагать, что функции $a_i \in C^r$, $i = 0, 1, 2$, $r \geq 4$, а уравнение $a^0 \in \mathrm{B}_\Gamma^1$.

Траектории уравнения a^μ, лежащие в $\mathbf{S}^1 \times (0, +\infty)$, в координатах $x, z = 1/y$ являются интегральными кривыми уравнения

$$dz/dx = -a_0(x,\mu)z^3 - a_1(x,\mu)z^2 - a_2(x,\mu)z. \qquad (1)$$

Пусть $z(x,u,\mu)$ – решение этого уравнения, удовлетворяющее начальному условию $z(0,u,\mu)=u$. При достаточно малых $\mu_0>0$, $\rho>0$ оно определено для $(x,u,\mu)\in(-2\omega,2\omega)\times(-\rho,\rho)\times(-\mu_0,\mu_0)$, принадлежит классу C^r по переменным x,u,μ. Так как $z(x,0,\mu)\equiv 0$, то

$$z(x,u,\mu)=z_1(x,\mu)u+z_2(x,\mu)u^2+z_3(x,\mu)u^3+\zeta(x,u,\mu), \tag{2}$$

где $\partial^s\zeta(x,0,\mu)/\partial u^s=0$ при $s=0,1,2,3$. Для функций $z_k(x,\mu)$, $k=1,2,3$, получаем дифференциальные уравнения и начальные условия

$$\frac{dz_1}{dx}=-a_2(x,\mu)z_1,\ z_1(0,\mu)=1;$$

$$\frac{dz_2}{dx}=-a_2(x,\mu)z_2-a_1(x,\mu)z_1^2(x,\mu),\ z_2(0,\mu)=0;$$

из которых последовательно находим

$$z_1(x,\mu)=\exp\left(-\int_0^x a_2(s,\mu)ds\right),\ z_1(\omega,\mu)=\exp m(a^\mu),\ z_1(\omega,0)=1, \tag{3}$$

$$z_2(x,\mu)=z_1(x,\mu)I_1(x,\mu),\ \text{где}\ \ I_1(x,\mu)=-\int_0^x a_1(s,\mu)z_1(s,\mu)ds, \tag{4}$$

$$z_3(x,\mu)=z_1(x,\mu)I_2(x,\mu), \tag{5}$$

где

$$I_2(x,\mu)=-\int_0^x[2a_1(s,\mu)z_2(s,\mu)+a_0(s,\mu)z_1^2(s,\mu)]ds. \tag{6}$$

Обозначим

$$m_k:=\tfrac{d^k}{d\mu^k}\Big|_{\mu=0}m(a^\mu)=-\int_0^\omega\partial^k a_2(x,0)/\partial\mu^k dx,\ k=1,2, \tag{7}$$

$$\ell_0:=\ell(a^0)=z_2(\omega,0)=I_1(\omega,0),\ K:=I'_{1\mu}(\omega,0),\ L:=I_2(\omega,0). \tag{8}$$

Теорема. *Пусть* $\ell_0<0$, $m_1>0$. *Тогда существует такие числа* $\rho>0$ *и* $\mu_1>0$, *что при* $0<\mu<\mu_1$ *уравнение* a^μ *имеет в области* $\mathbf{S}^1\times(\rho,+\infty)$ *единственный цикл* Γ_μ, *причем грубый и устойчивый. Он задается уравнением*

$$y=A(x)\mu^{-1}+B(x)+C(x,\mu)\mu, \tag{9}$$

где

$$A(x)=-(\ell_0/m_1)z_1^{-1}(x,0)=-(\ell_0/m_1)\exp\int_0^x a_2(\xi,0)d\xi, \tag{10}$$

$$B(x)=-\left[\frac{m_1^2L+m_2\ell_0^2-m_1^2\ell_0^2-m_1\ell_0K}{m_1}+I_1(x,0)-\frac{\ell_0}{m_1}z'_{1\mu}(x,0)\right]z_1^{-2}(x,0) \tag{11}$$

ω*-периодические функции, а* $C(x,\mu)$ *– ограниченная,* ω*-периодическая по* x *функция. Период цикла* Γ_μ

$$T(\mu)=T_1\mu+T_2\mu^2+O(\mu^3), \tag{12}$$

где

$$T_1=-\frac{m_1}{\ell_0}\int_0^\omega\exp\int_x^0 a_2(\xi,0)d\xi dx,$$

$$T_2=\int_0^\omega\left[-\frac{m_1^2\ell_0^2+m_1\ell_0K-m_1^2L-m_2\ell_0^2}{\ell_0^3}+\frac{m_1^2}{\ell_0^2}I_1(x,0)-\frac{m_1}{\ell_0}z'_{1\mu}(x,0)\right]dx.$$

Доказательство. Функцию расхождения $d(u,\mu):=z(\omega,u,\mu)-u$ представим в виде $d(u,\mu)=ud_1(u,\mu)$, где $d_1\in C^{r-1}$,

$$d_1(u,\mu)=\exp m(a^\mu)-1+z_2(\omega,\mu)u+z_3(\omega,\mu)u^2+q(u,\mu), \tag{13}$$

а $\partial^s q(0,\mu)/\partial u^s=0$ при $s=0,1,2$. Из (13), (7) и (8) получаем

$$d_1(u,\mu)=m_1\mu+m_2\mu^2+(\ell_0+K\mu+o(\mu))u+(L+O(\mu))u^2+\nu(u,\mu)u^3, \tag{14}$$

где $\nu(u,\mu)$ – непрерывная, а потому и ограниченная функция.

Через точку с координатами $x = 0$, $z = u \in (0,\rho)$, проходит замкнутая траектория уравнения a^{μ} тогда и только тогда, когда $d_1(u,\mu) = 0$. Из (2) получаем $d_1(0,0) = 0$, $d'_{1u}(0,0) = \ell_0 \neq 0$. Поэтому по теореме о неявной функции числа $\rho > 0$ и $\mu_1 \in (0,\mu_0)$ можно выбрать так, что $\forall \mu \in (-\mu_1,\mu_1)$ уравнение $d_1(u,\mu) = 0$, $|u| < \rho$, имеет единственное решение $u = u_1(\mu)$, при этом $u_1(0)$, $u_1(\cdot) \in C^2$. Представим его в виде

$$u_1(\mu) = \alpha\mu + \beta\mu^2 + o(\mu^2). \tag{15}$$

Подставляя это выражение в (14), получим

$$(m_1 + \ell_0\alpha)\mu + (m_2 + m_1\ell_0\alpha + K\alpha + L\alpha^2 + \ell_0\beta)\mu^2 + o(\mu^2) = 0,$$

откуда находим

$$\alpha = -\frac{m_1}{\ell_0}, \quad \beta = -\frac{m_1^2\ell_0^2 + m_1\ell_0 K - m_1^2 L - m_2\ell_0^2}{\ell_0^3}. \tag{16}$$

Поскольку по условию теоремы $\alpha = -m_1/\ell_0 > 0$, то мы можем считать, что при выбранном μ_1 $u_1(\mu)>0$ для $\mu\in(0,\mu_1)$. Обозначим $Z(x,\mu):=z(x,u_1,(\mu),\mu)$. Уменьшив при необходимости μ_1, будем иметь $0< Z(x,\mu)<\rho$ при всех $x\in[0,\omega]$, $\mu\in(0,\mu_1)$. Таким образом, в $\mathbf{S}^1\times(\rho,+\infty)$ имеется единственный цикл Γ_μ, задаваемый уравнением $z=Z(x,\mu)$. Так как $d'_u(u_1,(\mu),\mu)= -m_1\mu+o(\mu)<0$, если μ_1 выбрано достаточно малым, то Γ_μ – грубый устойчивый цикл.

Из (2) и (4) получаем

$$z(x,u,\mu) = z_1(x,\mu)[u + (I_1(x,\mu)u^2 + p(x,u,\mu)u^3] =$$

$$= [z_1(x,0) + z_1'(x,0)\mu + p_1(x,\mu)\mu^2][u + (I_1(x,0) + p_2(x,\mu)\mu)u^2 + p(x,u,\mu)u^3],$$

где p, p_1, p_2 – ограниченные функции. Подставляя сюда $u = u_1(\mu)$ и используя (15), получаем

$$Z(x,\mu) = \alpha z_1(x,0)\mu + (\beta + \alpha^2 I_1(x,0) + \alpha z'_{1\mu}(x,0))\mu^2 + p_3(x,\mu)\mu^3 =$$

$$= \alpha z_1(x,0)\mu[1 + (\beta/\alpha + \alpha I_1(x,0)z_1^{-1}(x,0) + z'_{1\mu}(x,0)z_1^{-1}(x,0))\mu + p_4(x,\mu)\mu^2],$$

где p_3, p_4 – ограниченные функции.

Уравнение Γ_μ в координатах x, y имеет вид

$$y = Y(x,\mu) = \alpha^{-1}z_1^{-1}(x,0)\mu^{-1}[1 + (\beta/\alpha + \alpha I_1(x,0)z_1^{-1}(x,0) + z'_{1\mu}(x,0))z_1^{-1}(x,0))\mu + p_4(x,\mu)\mu^2]^{-1}$$

или

$$y = \alpha^{-1}z_1^{-1}(x,0)\mu^{-1}[1 - (\beta/\alpha + \alpha I_1(x,0)z_1^{-1}(x,0) + z_{1\mu}(x,0)z_1^{-1}(x,0))\mu + p_5(x,\mu)\mu^2],$$

где p_5 – ограниченная функция. Подставляя сюда выражения (16) для α и β, получаем формулу (9), где $A(x)$ и $B(x)$ имеют вид (10) и (11). Периодичность $A(x)$, $B(x)$ и $C(x,\mu)$ – очевидное следствие периодичности правой части формулы (9).

Для периода цикла имеем формулу

$$T(\mu) = \int_0^{\omega} \frac{dx}{Y(x,\mu)} = \int_0^{\omega} Z(x,\mu)dx,$$

откуда и получаем (12).

Список литературы

1. *Ройтенберг В.Ш.* О предельных циклах одного дифференциального уравнения второго порядка на окружности // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 1. С. 25–28.

2. *Ройтенберг В.Ш.* Об уравнениях Льенара на окружности // Труды X международных Колмогоровских чтений: сб. статей. Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 2012. С. 83-85.

3. *Ройтенберг В.Ш.* О предельных циклах уравнений Льенара с периодическими коэффициентами // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2013. Т. 1. С. 5-7.

4. *Рейссиг Р., Сансоне. Г., Конти Р.* Качественная теория нелинейных дифференциальных уравнений. М.: Наука, 1974. 318 с.

01.01.00

И.В. Цивильский к.т.н., Н.Р. Сераева, И.И. Старшова

Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет им. А.Н. Туполева,
Физико-математический факультет,
Кафедра Лазерных Технологий,
Казань, icivv@mail.ru, nelchik93@mail.ru, irenka_star@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЧАСТИЦ ПОРОШКА И ГАЗА В ЛАТЕРАЛЬНЫХ И СВЕРХЗВУКОВЫХ СОПЛАХ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-31-34

В современном лазерном аддитивном производстве широко используются газодинамические сопла для транспортировки порошка наплавляемого материала к обрабатываемой поверхности или подложке. Исследование газодинамических характеристик во многом определяет оптимальные режимы работы и конфигурацию наплавочных сопел. В работе выполнено численное моделирование газовой динамики и порошковой фазы в латеральных и сверхзвуковых соплах.

Ключевые слова: *лазерные технологии, газодинамическое сопло, транспортировка порошка, наплавляемый материал, численное моделирование, газовая динамика, латеральные и сверхзвуковые сопла.*

Для дискретизации расчетной области сгенерирована объемная вычислительная сетка, состоящая из порядка 3 млн. гибридных ячеек [1]: тетраэдрических и гексагональных с преобладанием последних для латерального сопла и гексаэдральной неструктурированной объемной сеткой, с использованием адаптивной ретопологии, в зависимости от градиента скорости газа для сверхзвукового сопла. В латеральном сопле исследовалось решение, зависящее от времени. Трехмерная расчетная сетка сопла выполнена в программе ANSYS DesignModeler/Meshing и состоит приблизительно из конечных элементов (ячеек) в форме выпуклого топологического куба (6 граней, 12 ребер, 8 вершин, углы при вершинах до 120 градусов). Для уточнения решения проведено адаптивное измельчение ячеек сетки внутри сопла и на выходе из форсунки.

Детально смоделировано внутреннее строение головки сверхзвукового напыления, включая каналы системы подачи защитного и несущего газов. Частицы вводятся по центральному каналу. Для моделирования газовой динамики рассматривается течение вязкого сжимаемого газа. Решается система уравнений Навье-Стокса. После дискретизации решение реализуется методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS FLUENT [1]. Задача дополнена учетом турбулентности в виде стандартной k-ε-модели, а также LES-модели [2], учитывающих массовую плотность турбулентной энергии, а также ее скорость диссипации виде нелинейных уравнений диффузии.

Устройство сопла состоит из корпуса, в который входит трубка транспортного потока, переносящая наплавляемый порошок. Между трубками течет защитный газ, фокусирующий порошковую струю и защищающий частицы порошка от окисления в воздушной среде. Газовые потоки выпускаются через форсунку: транспортный газ выходит через отверстие диаметром 2-4 мм, защитный газ – через систему из 12 отверстий диаметром 1 мм, расположенных по окружности относительно центрального потока. Защитный газ подается нормально продольной оси сопла. Поток транспортного газа подается тангециально в камеру циклона и начинает вращаться вокруг оси сопла. Частицы порошка прижимаются к поверхности стенок камеры циклона и потоком транспортного газа переносятся в центр сопла. На оси расположена трубка, которая соединяется с атмосферой через колпачок с отверстием, через которое часть транспортного газа сбрасывается в атмосферу.

Исследовано влияние диаметра отверстия колпачка циклона на длину ламинарной части струи на выходе из форсунки сопла. Диаметр отверстия варьировался в диапазоне: 0 – 2 мм. Диаметр форсунки сопла оставался фиксированным: 2 мм. Расход аргона для транспортного и защитного потока составляет 4 л/мин и 6 л/мин, соответственно. Максимальные скорости истечения аргона из сопла (до 10 м/с) наблюдаются во входном канале транспортного газа и на выходе из форсунки (12 отверстий). Заметно, что сбрасывание газа из циклона весьма существенно, скорости газа на выходе из колпачка достигают 4 м/с.

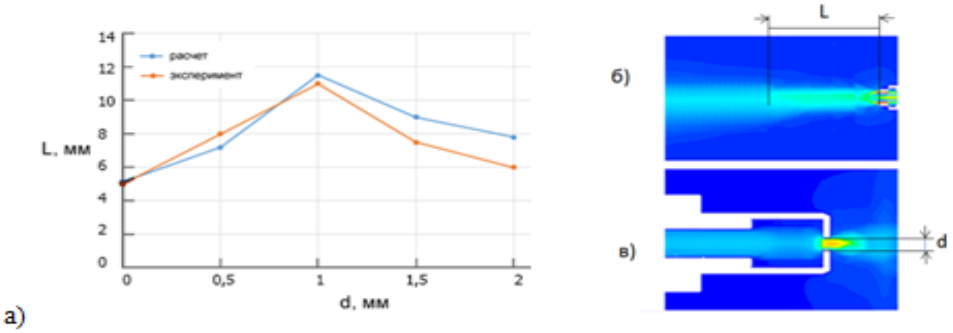


Рис.1. а) Сравнение расчетов длины ламинарной струи защитного газа (L), в зависимости от диаметра отверстия колпачка циклона (d), с экспериментальными данными из работы [4]; б) Переход ламинарного течения в вихревое; в) Область вблизи колпачка циклона.

Длина ламинарной части струи определяется двумя факторами: скоростью поступления газа в сопло и скоростью его сброса через колпачок циклона[3]. Когда колпачок полностью перекрыт (рис. 1а), d=0), защитный газ внутри сопла активно перемешивается с закрученным потоком транспортного газа из циклона, при этом скорость газа на выходе из форсунки максимальна, что приводит к быстрому разрушению зоны ламинарности потока на выходе форсунки за счет вязкого трения струи о слои окружающего воздуха, и длина ламинарной области струи, L, не превышает 5 мм. При постепенном увеличении диаметра отверстия колпачка циклона, d, давление в сопле начинает понижаться, и скорость газа на выходе из форсунки также снижается – при этом L возрастает, поскольку скорость газа в струе по отношению к окружающей атмосфере, становится ниже, а следовательно, и эффект вязких диссипаций кинетической энергии потока газа становится незначительным.

Для сверхзвукового сопла первоначально проводилось моделирование газа, подающегося на вход трубки при комнатной температуре 300 K (рис. 2-а), поскольку даже при таком режиме напыление возможно вследствие ударно-кинетического плавления частиц при столкновении с поверхностью субстрата. Давление на входе задано 20 атмосфер, остальные граничные условия соответствуют свободному выходу газа и поддерживаются при атмосферном давлении. Диаметр выходного сечения наплавочного сопла составляет 7 мм. В установившемся режиме течения газа максимальная скорость достигает 8 км/с внутри трубки. При выходе из трубки формируется недорасширенная струя, давление на оси потока больше атмосферного. Дальше вдоль оси давление начинает понижаться при взаимодействии с окружающим газом, пока не становится равным атмосферному – формируется расчетный режим течения.

Максимальная скорость «горячего» газа (700K) на выходе = 450 м/с против 900 м/с холодного газа. Это меньше скорости звука и поэтому недостаточно для формирования ударных волн. Для определения зависимости длины струи газа от температуры на входе проведено моделирование течения газа при тех же условиях, но с нагревом до 975 K (рис 2-в). Вязкость газа еще выше, чем в предыдущем случае, поэтому длина струи короче и составляет около 5 диаметров выходного отверстия сопла, то есть 35 мм (рис. 2-в). Скорее всего, располагать на таком расстоянии подложку уже нецелесообразно – в силу вязкости газ будет эффективно замедляться, и отталкиваться от поверхности субстрата, скорость частиц в потоке существенно снизится, и процесс напыления станет неэффективным. Ударные волны в данном случае также не формируются. Полученная зависимость рассчитанной длины струи, от температуры (рис. 2) аппроксимирована полиномом второй степени.

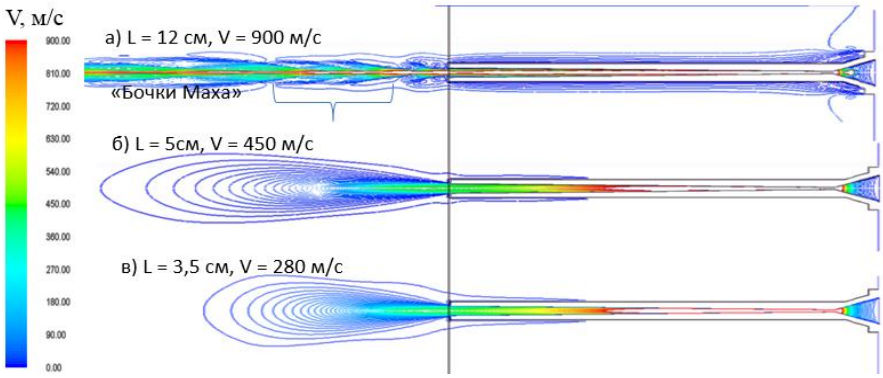


Рис. 2. Изолинии скоростей газа в центральном продольном сечении сетки в момент 10 с для трех различных смоделированных случаев: а) T = 300 K (27 ^{0}C), б) T = 700 K (427 ^{0}C), в) T = 975 K (702 ^{0}C). Давление на входе во всех случаях составляет 20 атм.

Несмотря на то, что длины струй газа (определяемые по полю скоростей) для 700K и 975K различаются и составляют 5 см и 3.5 см соответственно. Температурная граница конца струи при этом одинакова, объясняется это процессами теплопроводности: во втором случае, хотя длина струи и меньше, температура выше, причем направление струи совпадает с направлением распространения теплового фронта. Градиент температуры выше – и тепло даже при меньшей скорости переноса вещества распространяется дальше. В таком случае, температурной границей струи (3.5 см) однозначно определяется расстояние до подложки, при котором будет происходить ее эффективное плавление в случае «горячего» напыления.

Для исследования динамики частиц порошка, проведены расчеты для пяти случаев, в зависимости от расположения точек инжектирования в сопло. Заметно, что скорость газа уменьшается в зависимости от отдаления от горла сопла (рис. 2) и соответственно, уменьшается кинетическая энергия частиц. При вводе частицы порошка до «горлышка» сопла (область перетяжки внутреннего профиля де Лаваля), они попадают в сужающийся поток, хотя исходный поток частиц является расходящимся. Это может приводить к потерям частиц порошка на первом сужающемся конусе внутри сопла, расположенным до его горлышка. Если вводить частицы после горлышка сопла, они сразу попадают в расширяющийся поток газа. Анализ газовой динамики показал, что угол расхождения частиц на выходе из сопла возрастает с увеличением расстояния точки впрыска частиц относительно входа газа в сопло. Это объясняется тем, что чем ниже скорость гранул порошка, тем выше влияние завихрений газа на траектории частиц - струя частиц становится толще.

В данной работе выполнено численное моделирование газовой динамики, нагрева и динамики дискретной порошковой фазы в латеральных соплах для лазерной наплавки (латеральное сопло) и в сверхзвуковом сопле с профилем де Лаваля для создания металлических покрытий. Рассматриваемые численные модели учитывают точную внутреннюю и внешнюю геометрию сопел, газовую динамику и эффекты теплопередачи между газом и частицами порошка. В модели сверхзвукового сопла учтен турбулентный режим течения газа в виде k-e-модели и LES-модели. Для моделирования ударных волн в сверхзвуковом потоке, применяется адаптивное дробление сетки.

В латеральном сопле отношение скорости газа к скорости частиц равно 1,6, а в сверхзвуковом - 1,05. С увеличением скорости газа отношение уменьшается, вплоть до 1. Это связано с тем, что инерция частиц в сверхзвуковом потоке приводит к «пробиванию» частицами окружающей атмосферы: чем выше скорость потока, тем ближе скорость частиц к скорости газа. В латеральном сопле длина ламинарной части струи определяется двумя факторами: скоростью поступления газа в сопло и скоростью его сброса через колпачок циклона. Для расхода газов 4 и 6 л/мин, оптимальным является колпачок с диаметром 1 мм: длина ламинарной струи при данном диаметре колпачка максимальна. Эти параметры определяют оптимальный режим напыления порошка на обрабатываемую поверхность металла.

Угол рассеивания частиц на выходе из сопла де Лаваля возрастает в зависимости от точки инжектирования. Скорость газа уменьшается в зависимости от отдаления от горла сопла: чем дальше от сужения (горлышка) сопла, тем меньше скорость газа, и меньше начальная кинетическая энергия частиц. Это приводит к дестабилизации струи частиц порошка: скорость становится ниже, влияние завихрений газа на частицы – выше, а струя частиц расширяется. Эффект носит негативный характер, поскольку приводит к хаотичному неоднородному режиму нанесения порошка на обрабатываемую поверхность. При этом пучок существенно дефокусируется.

Список литературы

1. FLUENT User's Guide. Fluent Inc., - 2010
2. *Erlebacher, G.* Toward the Large-Eddy Simulation of Compressible Turbulent Flows / Hussaini M. Y., Speziale C. G., Zang T. A.// J. Fluid Mech. — 1992. — p.155-185.
3. *Lester, S.* New systems for laser Cladding / S. Lester, N. Longfield, J. Griffiths, J. Cocker, C. Staudenmaier, G. Broadhead // Laser surface modification in steel industry, — 2013. Vol. 10.—P. 41-43.
4. *Шпилёв А.И.* Визуализация газовых потоков в головках для лазерной порошковой наплавки / Шпилёв А.И., Гилязов М.Р., Нагулин К.Ю., Дубенская М.А.*, Гильмутдинов А.Х. // В сборнике статей МНПК «Авиакосмические технологии, современные материалы и оборудование». Казань. — 2014. — Т. 3. — С. 54-57.

Опубликовано при финансовой поддержке АНО «Казанский Открытый Университет Талантов 2.0»

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (05.02.00)

05.02.18

А.П. Буйносов д.т.н.
Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-35-38

В статье приведена методика прогнозирования ресурса бандажей колесных пар локомотивов основанная на полиномиальной зависимости контролируемых параметров от пробега, позволяющая по сравнению с существующей увеличить точность прогноза износа бандажей.

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

В настоящее время для прогнозирования процесса изнашивания и определения ресурса бандажей колесных пар используется модель, базирующая на линейной зависимости изменения значений числовых характеристик контролируемых параметров от пробега [1]:

$$y(L) = A + B \cdot L, \quad (1)$$

где A и B – коэффициенты линейной регрессионной зависимости.

Линейная регрессия определяется для двух зависимостей –математического ожидания и среднеквадратического отклонения от пробега, полученных при аппроксимации эмпирических зависимостей $M_y^*(L)$ и $\sigma_y^*(L)$, соответственно.

$$y(L) = \begin{cases} M_y(L) & \text{– при аппроксимации зависимости } M_y^*(L); \\ \sigma_y(L) & \text{– при аппроксимации зависимости } \sigma_y^*(L). \end{cases} \quad (2)$$

Линейный метод наименьших квадратов применяется, из-за предположения, что приработочный интервал составляет лишь малую часть жизненного цикла бандажа и поверхность катания колесной пары быстро прирабатывается к головке рельса. Это предположение приводит к тому, что весь процесс износа колесных пар рассматривается как интервал штатной эксплуатации с высоким уровнем надежности, без приработки, коррозии и старения материала бандажей (катастрофический износ).

При этом не подвергается рассмотрению, такие факторы, как: условия ведения состава, состояние механической части тягового подвижного состава и верхнего строения пути и ряд других.

Их действие, несомненно, увеличивает продолжительность приработки и способствует более позднему наступлению интервала штатной эксплуатации, раннему наступлению интервала катастрофического, разрушительного износа. После проведения опытов, было установлено, что наступление различных интервалов зависимости износа от приработки для разных серий локомотивов в различных депо происходит при различной величине износа бандажа [1, 2]. Линеаризация снижает точность прогноза процесса износа колесных пар локомотивов.

Вышеперечисленных недостатков лишена парная нелинейная модель, основанная на полиномиальной зависимости износа от пробега, при этом обе зависимости ($M_y(L)$ и $\sigma_y(L)$) аппроксимируются в виде полиномов m-порядка:

$$y(L) = \sum_{i=0}^{m} \left(A_i \cdot L^i \right). \quad (3)$$

Расчет коэффициентов A_i полиномиальной регрессии выполняется по методу наименьших квадратов как [3]:

$$\begin{cases} \sum\limits_{k=0}^{m} \left[A_k \cdot \sum\limits_{i=0}^{n} L_i^{k+0} \right] = \sum\limits_{i=0}^{n} \left(Y_i \cdot L_i^0 \right), \\ \sum\limits_{k=0}^{m} \left[A_k \cdot \sum\limits_{i=0}^{n} L_i^{k+1} \right] = \sum\limits_{i=0}^{n} \left(Y_i \cdot L_i^1 \right), \\ \cdots\cdots\cdots\cdots, \\ \sum\limits_{k=0}^{m} \left[A_k \cdot \sum\limits_{i=0}^{n} L_i^{k+n} \right] = \sum\limits_{i=0}^{n} \left(Y_i \cdot L_i^n \right). \end{cases} \quad (4)$$

Поскольку прокат, износ гребня и уменьшение толщины бандажа с ростом наработки (пробега) только увеличиваться, полиномиальная функция («целая рациональная или дробно-рациональная функции») – монотонно возрастающая регрессия на всем исследуемом интервале от чертежного профиля бандажа $L(Y_0)$ до наработки, при которой достигается предельное значение контролируемого параметра $L(Y_{\text{доп.}})$.

$$\left. \frac{dM_y(L)}{L} \right|_{L(Y_0)}^{L(Y_{\text{доп}})} > 0 . \quad (5)$$

Вид искомой функции, полученной в результате аппроксимации, во многом определяется порядком полиномиальной функции m. Большие значения m увеличивают R_{y1}, однако при чрезмерно высоких значениях коэффициента корреляции невозможно достичь строгой монотонности функции. То есть необходимо рассчитать оптимальную степень полинома m, позволяющую максимально точно описать целую рациональная функцию заданной выборки $Y(L)$ [3, 4].

Генеральная дисперсия выборки значений объемом $(n + 1)$ от аппроксимированной полиномиальной регрессии определяется как:

$$S_0^{\,2} = \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n} (Y^{**}(L_i) - Y_i)^2 ; \quad (6)$$

где $Y^{**}(L_i)$ – значения аппроксимированной регрессии параметра от значений наработки, заданных исходной выборкой; Y_i – заданные исходной выборкой предопределенного значения параметра.

Порядок полинома m должен быть выбран таким образом, чтобы величина выборочной (остаточной) дисперсии $S_0^{\,2}$ исходной выборки от полинома была минимальной:

$$S_0^{\,2}(m) \to \min . \quad (7)$$

Таким образом, в качестве искомого выбирается полином, удовлетворяющий условиям (5) и (7). Результаты, полученные с использованием разработанной модели, сведены в таблицу, а графически исходные детерминированные и аппроксимированные зависимости для величин среднего значения и среднеквадратического отклонения износа гребня от наработки при средней начальной толщине бандажа (чертежный профиль – ДМетИ ЛР) 70,0 мм приведены на рис. 1 и 2 [3, 4].

Таблица – Коэффициенты уравнений полиномиальной регрессии

Зависимость	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции, R_{y1}	Остаточная дисперсия, $S_0^{\,2}$, мм^2
$M_y(L)$	$0{,}148 + 0{,}059 \cdot L - 1{,}439 \cdot 10^{-3} \cdot L^2 + 1{,}955 \cdot 10^{-5} \cdot L^3$	0,976	0,178
$\sigma_y(L)$	$0{,}167 + 0{,}050 \cdot L - 1{,}231 \cdot 10^{-3} \cdot L^2 + 1{,}118 \cdot 10^{-5} \cdot L^3$	0,907	0,126

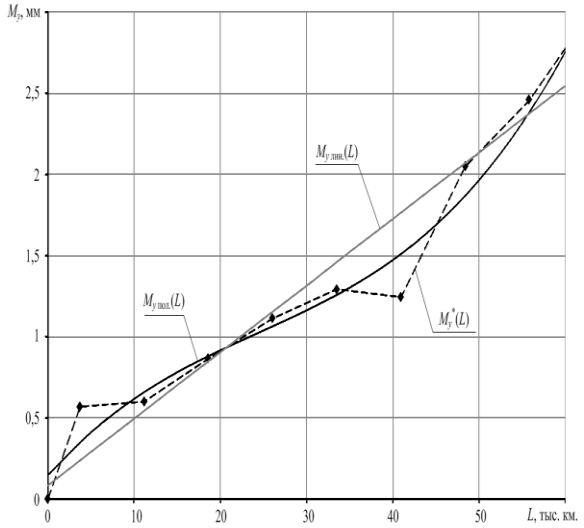


Рис. 1. Зависимость от пробега среднего значения износа гребня бандажей

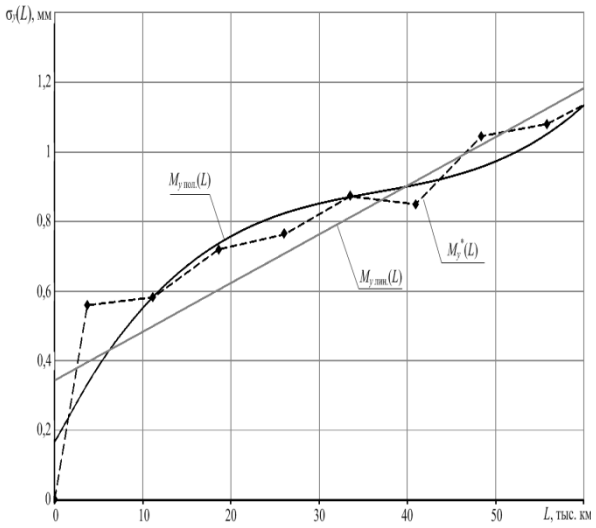


Рис. 2. Зависимость от пробега среднеквадратического отклонения износа гребня бандажей

В качестве подтверждения повышения точности прогнозирования при использовании полиномиальной модели используется статистическая гипотеза о равенстве остаточных дисперсий уравнений регрессии контролируемого параметра. Выверка производится по критерию Фишера (*F*-критерию) по формуле:

$$\hat{F} = \frac{S^2_{0\,лин.}}{S^2_{0\,пол.}}, \tag{8}$$

где $S_0{}^2_{лин.}$ – выборочная дисперсия значений аппроксимированной линеаризированной функцией; $S_0{}^2_{пол.}$ – то же, целой рациональной функцией.

F-распределение табулировано, критические точки величины распределения Фишера зависят от числа степеней свободы m и уровня значимости α. При $\hat{F} < F_{\alpha,m}$ различие выборочных (остаточных) дисперсий $S_0{}^2_{лин.}$ и $S_0{}^2_{пол.}$ можно считать случайным стационарным процессом. В этом случае гипотеза принимается. В противном случае гипотеза отвергается, делается вывод о том, что между выборочными дисперсиями значений выборок от аппроксимированной линеаризированной и целой рациональной регрессий имеются значительные отличия, что говорит о высокой точности целой рациональной функции [3]. Выверка по критерию Фишера определенных уравнений регрессии для уровня значимости 0,05 показывает, что гипотеза не принимается в обоих случаях, что позволяет рассматривать целую рациональную аппроксимацию износа гребня от наработки как более адекватную модель для прогнозирования процесса изнашивания бандажей колесных пар локомотивов по сравнению с линеаризированной регрессией.

На основании полученных зависимостей $M_y(L)$ и $\sigma_y(L)$ становится возможным прогнозирование процесса изнашивания и расчет предельного ресурса бандажей колесных пар [3, 4]. При этом оценка остаточного ресурса производится при заданном значении вероятности перехода механической системы в предельное состояние выполняется по методике [3].

В общем случае зависимости $M_y(L)$ и $\sigma_y(L)$

$$M_y(L) = \sum_{i=0}^{m}\left(A_i \cdot L^i\right), \qquad \sigma_y(L) = \sum_{i=0}^{n}\left(B_i \cdot L^i\right), \tag{9}$$

где A_i и B_i – коэффициенты целых рациональных зависимостей соответственно среднего значения и среднеквадратического отклонения износа гребня локомотивных бандажей колесных пар от наработки.

Тогда функция плотности распределения примет вид:

$$f_y(L) = \frac{(L\ -1)}{B\sqrt{2\pi}\cdot(L^{n+1}-1)}\cdot e^{-\frac{\left[(L\ -1)\cdot(Y-\sum_{i=0}^{m}\left(A_i\cdot L^i\right)\right]^2}{2\left[B(L^{n+1}-1)\right]^2}}. \quad (10)$$

Выход контролируемых параметров за установленный допуск классифицируется как отказ работы бандажа, предельно-допустимый износ. Таким образом, с увеличением наработки L возрастает вероятность отказа P. Для износа гребня вероятность отказа при заданном пробеге равна [4]:

$$P(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{Y_{\text{доп.}}}^{\sum_{i=0}^{m}\left(A_i\cdot L^i\right)+3\cdot\sum_{i=0}^{n}\left(B_i\cdot L^i\right)} \frac{1}{\sum_{i=0}^{n}\left(B_i\cdot L^i\right)} e^{-\frac{\left(Y-\sum_{i=0}^{m}\left(A_i\cdot L^i\right)\right)^2}{2\left[\sum_{i=0}^{n}\left(B_i\cdot L^i\right)\right]^2}}\, dy. \quad (11)$$

На основании выполненных расчетов строятся зависимости $P(L)$ и по ним определяется γ%-ый ресурс колесных пар, то есть такой пробег, которому соответствует вероятность безотказной работы или вероятность отказа $P = 1 - \gamma$.

Список литературы

1. *Буйносов А.П.* Модель эксплуатационного износа сложных систем железнодорожного транспорта // Вестник транспорта Поволжья. – 2010. – № 4(24). – С. 21–25.

2. *Буйносов А.П.* Математическая модель повышения долговечности бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – № 9. – С. 121–129.

3. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Методика определения ресурса бандажей колесных пар локомотивов // Транспорт Урала. 2012. № 3. С. 98-102.

4. *Буйносов А.П.* Методика оценки ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 2. С. 116-121.

05.02.00

Д.А. Веденькин к.т.н., О.Ю. Зуев

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
Казань, OYuZuev@mail.ru

РАЗРАБОТКА БЛОК – СХЕМЫ И АЛГОРИТМА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО КОМПЛЕКСА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-39-44

В данной статье рассмотрены блок-схема системы управления СВЧ микроволнового комплекса и алгоритм работы генераторного оборудования. Разработаны режимы, принципы построения адаптивной системы, технологий для автоматизации трудоемких задач.

Ключевые слова: *Микроволновые технологии, алгоритм, управление технологическим процессом, адаптивные технологии, обратная связь.*

В настоящее время внедрение адаптивных технологий является важной и неотъемлемой частью современных устройств. [1-4]. Выявленные экспериментальным путем неточности в рабочей среде могут быть устранены созданием адаптивной системы и возможностью создавать последовательные циклы. Программно-аппаратный комплекс для СВЧ переработки жидких и сыпучих веществ позволит реализовать необходимые циклы прогрева, обеспечить управление температурой, удобный интерфейс для просмотра записей с видеокамер, позволит оперативно среагировать на нештатные ситуации, а обратная связь с контроллером, задавать новые условия в зависимости от режимов.

На рисунке 1 изображена блок-схема системы управления СВЧ микроволновым комплексом.

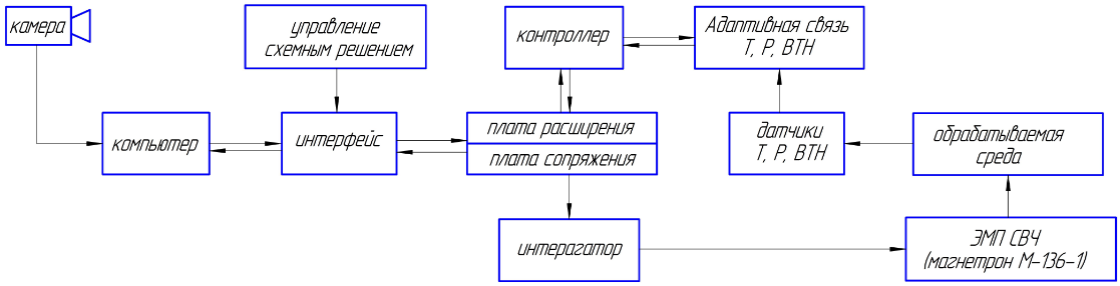


Рис. 1. - Блок-схема системы управления СВЧ микроволнового комплекса

Предлагается использовать порядка пяти видеокамер (рис. 2), которые получают информацию с лабораторного микроволнового комплекса. Первая web-камера расположена диаметрально, служит для отображения общего вида лабораторного комплекса. Вторая web-камера устанавливается в рабочей зоне нагрева продуктов. Эта рабочая зона в микроволновом комплексе называется резонаторной камерой или реактором, откуда поступает информация о состоянии рабочей среды. Третья web-камера расположена фронтально, с левой стороны от конденсатора–холодильника напротив приемника, камера передает изображение выходного продукта. По этому изображению можно судить о количестве получаемого сырья, скорости получения продукта и появлении дыма. Четвертая web-камера расположена фронтально, с левой стороны от насадки Вюрца, камера передает изображение конденсатора–холодильника, по этому изображению можно судить о степени конденсации паров. Пятая web-камера расположена фронтально, напротив насадки Вюрца, камера передает изображение выходных паров продукта. Компьютер обрабатывает полученную информацию с камер и управляет включением и выключением, переключением видеокамер, так же на компьютер выводится рабочее окно – интерфейс рабочей среды. Управление схемным решением отображается на интерфейсе, который в свою очередь является средством ввода и вывода информации на

компьютер. Датчики обратной связи: оптоволоконный датчик температуры, резистивный термометр (Pt100), датчик давления (24PC15SMT), оповещение дыма (дип-34а-01-02) служат для контроля исполнения команд и отображении на рабочем окне параметров рабочей среды как температура, давление и возникновение дыма [7].

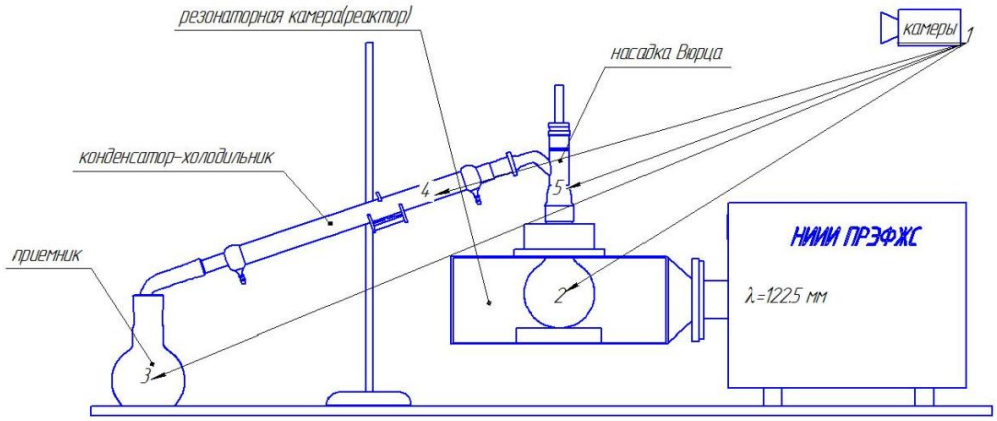


Рис. 2. -Установка web-камер

СВЧ – нагрев в электромагнитном поле сверхвысокой частоты основан на особенностях распространения электромагнитных полей (ЭМП) в материальных средах. С точки зрения электромагнитного поля среда характеризуется комплексной диэлектрической проницаемостью $\dot{\varepsilon}_a$:

$$\dot{\varepsilon}_a = \varepsilon\varepsilon_0 - j\frac{\sigma}{\omega} \quad (1)$$

где: ε - относительная диэлектрическая проницаемость продукта (для воздуха $\varepsilon = 1$), в остальных средах $(\varepsilon > 1)$, ε_0 - электрическая постоянная, равная $10^{-9}/36\,\pi$ Ф/м, σ - удельная проводимость продукта (См/м), ω - угловая частота (рад). В выражении (1) реальная часть характеризует среду как диэлектрик, а мнимая часть – как проводник. Каждое вещество имеет своё значение реальной и мнимой части, определяя эти параметры можно добиться лучшего результата при воздействии на вещество. При $\varepsilon\varepsilon_0 \gg \sigma/\omega$ среда начинает обладать свойствами диэлектрика. Если $\varepsilon\varepsilon_0 \sim \sigma/\omega$, то среда имеет потери (полупроводниковая среда), а при $\varepsilon\varepsilon_0 \ll \sigma/\omega$ среда становиться проводником. Основополагающим физическим явлением нагрева продукта СВЧ ЭМП составляет тот факт, что подвергаемая электромагнитному полю среда, по своим свойствам является диэлектриком с потерями ($\varepsilon\varepsilon_0 \sim \sigma/\omega$). Наличие потерь в среде приводит к появлению в ней токов проводимости, а значит, и к её нагреву. Кроме токов проводимости в результате колебаний дипольных молекул (например: воды) под действием переменного электрического поля в среде возникают токи смещения, которые, нагреваясь, передают тепловую энергию в нагрев продукта. Конечным результатом воздействия электромагнитного поля СВЧ на продукт являются непрерывно распределенные по всему объему источники тепла (токи) для достижения внутреннего равномерного нагрева среды (продукта), обеспечивающие бесконтактный и безынерционный нагрев продукта.

Для того, чтобы определить время нагрева продукта до заданной температуры необходимо найти связь между начальной и конечной температурами обрабатываемого продукта и его электрофизическими параметрами [4]:

$$\Delta t = \frac{\rho c m (T_2 - T_1)}{\omega\varepsilon\varepsilon_0 tg\delta E^2} \quad (2)$$

где: $tg\delta = \frac{\sigma}{\dot{\varepsilon}_a\omega}$ – тангенс угла диэлектрических потерь;

Δt – время нагрева, с;

ρ – плотность продукта, кг/м^3;

c – удельная теплоемкость, Дж/кг·°К;

m – масса продукта, кг;

T_2 – конечная температура, °К

T_1 – начальная температура, °К;

ω – угловая частота, рад;

E – напряженность электромагнитного поля, В/м.

Рассмотрим практическую часть работы лабораторного СВЧ комплекса: в рабочую зону, реактор помещается перерабатываемое вещество. Возбудителем электромагнитного поля является магнетрон, мощность которого составляет 700 Вт, частота генерации 2450 ± 50 МГц. Генерируемая мощность поступает по волноводу в реактор (смотрите рисунок 2) СВЧ печи, являющийся параллелепипедом, с цилиндрической гайкой в верхней плоскости для крепления круглодонной колбы. Работа магнетрона является периодической, смотрите рисунок 3. На практике используется последовательность периодов следования, равная длительности включения магнетрона (длительности импульса) и простаивания (длительность простаивания) ($T = \tau_и + \tau_п$). Минимальный период следования, равен длительности импульсов, при которых происходит заметное влияние на вещество, составляет 30 секунд, при этом длительность включения магнетрона составляет 10 секунд, а скважность (Q) такой работы равна трём. Изменяя длительность работы ($\tau_и$) от периода следования, можно увеличивать или уменьшать скважность работы, тем самым контролируя работу магнетрона, а именно его включение и выключение в интервал времени (T) равным 30 секунд, тогда как общее время (Δt) последовательности периодов следования может быть любым, но не ниже 30 секунд и не выше 1.5 часа. Одной из главных целей в разработке нового программно-аппаратного комплекса состоит в умении контролировать общее время и задавать циклы работы. Каждый цикл имеет общее время, например 15 минут, в этом цикле задана скважность работы, чем она меньше, тем чаще включается магнетрон и тем меньше он простаивается ($\tau_п$). Скважность - это отношение периода следования (повторения) к длительности импульса.

$$Q = \frac{T}{\tau_и} \tag{3}$$

Величина, обратная скважности, называется коэффициентом заполнения (D) (англ. Duty cycle). В англоязычной документации, коэффициент заполнения, как правило, измеряется в процентах. Скважность и коэффициент заполнения - это разные значения. Скважность - это отношение периода следования импульсов к длительности импульса, а коэффициент заполнения - это отношение длительности импульса к периоду их следования, то есть, это обратные величины.

$$D = \frac{\tau_и}{T} \tag{4}$$

Такое подробное рассмотрение параметров импульсов необходимо в связи с их влиянием на срабатывание (отпирание и запирание) импульсных устройств.

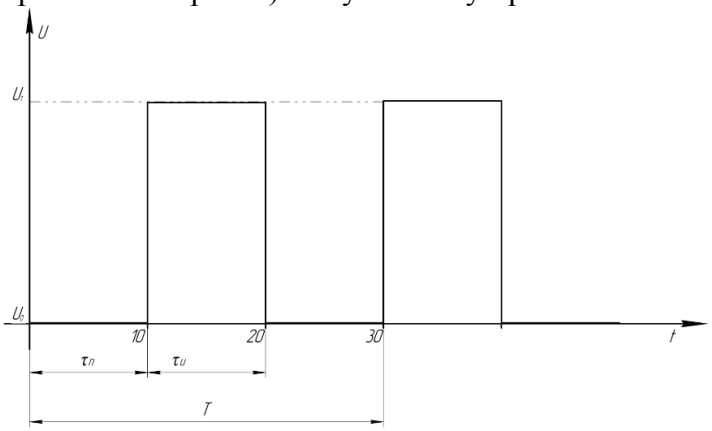


Рис. 3. - Параметры последовательности импульсов включения

Длина волны на частоте излучения ЭМП СВЧ сигнала, равна:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3 \cdot 10^{11}}{2.45 \cdot 10^9} = 122.449 \text{ мм} \tag{5}$$

Инженер настраивает программу и запускает работу. Датчик температуры генератора (T_g) фиксирует его начальную температуру, и, если она является допустимой, запускается цикл программы. При этом остальные датчики могут быть использованы при фиксировании

заданной температуры без обратной связи и с обратной связью - это адаптивный процесс. Простой нагрев, смотрите рисунок 4, происходит с изменением коэффициента заполнения (D) работы магнетрона в определенные моменты времени. В простом нагреве датчики температуры лишь фиксируют значение температуры. Эти значения отображаются на мониторе компьютера с построением графика зависимости времени от температуры.

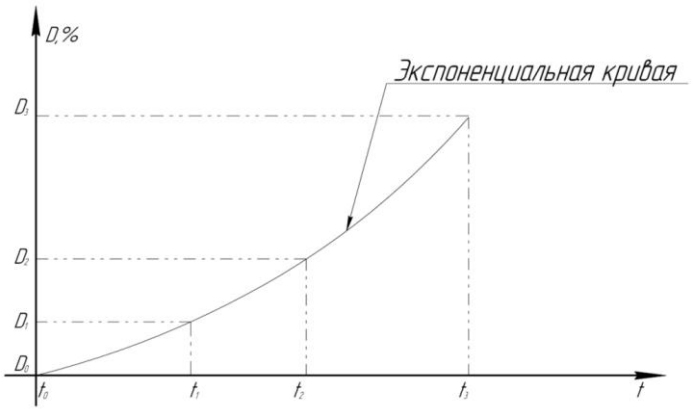


Рис. 4. - Простой нагрев

Когда необходимо установить обратную связь, сделать процесс адаптивным, используется нагрев до определенной температуры и с поддержанием температуры.

Поскольку обрабатываемое вещество является диэлектриком с потерями, то при воздействии ЭМП СВЧ (смотрите рисунок 1) возникают токи проводимости, а колебание дипольных молекул воды приводит к токам смещения, что и вызывает нагрев обрабатываемого вещества.

Значение коэффициента заполнения определяется из выбранного режима. В режиме «нагрев до определенной температуры» можно выбрать медленный, средний или же быстрый нагрев. Все три режима настроены на соответствующее значение увеличения коэффициента заполнения через положительную обратную связь. Медленный нагрев имеет самый низкий процент увеличения коэффициента заполнения в положительной обратной связи, поэтому увеличение температуры с течением времени будет идти протяженно. Средний нагрев имеет большее значение коэффициента заполнения и, соответственно, увеличение температуры будет нарастать умеренно. Режим быстрого нагрева имеет самое большое значение, а температура в этом случае увеличивается стремительными темпами. Нагрев до определенной температуры - это упрощенный режим в целом ломаной линии. Отрезки этой линии имеют значения коэффициента заполнения в определенные моменты времени отличные и зависимые от температуры, чем и достигается адаптивный процесс. Причем когда температура начальной работы T_0 будет выше допустимой температуры генератора $T_g > T_{g\,max}$, то значение времени t_0 будет равно значению критического времени $t_{\text{кр}} =$ 15 минут, а коэффициента заполнения $D_0 = 0;\ D_1 = (t_0; t_1);\ D_2 = (t_1; t_2);\ D_3 = (t_2; t_3)$. Здесь общее время последовательности периодов следования равно: $\Delta t = t_0 + t_1 + t_2 + t_3$.

Экспериментальный нагрев длиться в течение 1 часа и 45 минут.

Экспериментальный нагрев состоит из 7 циклов, каждый цикл имеет свое время работы, которое составляет 15 минут, коэффициент заполнения работы магнетрона и значение температуры. Для данного эксперимента было необходимо, чтобы температура поднималась не прямо пропорционально, а по экспоненциальному закону. Для получения разных фракций нефти использовалось поддержание температуры на соответствующих температурах с малыми колебаниями. С течением времени частота колебаний температуры увеличилась вследствие необходимости более точного контроля каталитического процесса крекинга.

Программно-аппаратный комплекс для управления оконечными устройствами и нагрузками представляет собой дружественную систему с открытым протоколом между центральным блоком управления и исполнительно-контрольными блоками, которые могут быть снабжены шлюзовыми блоками, обеспечивающими возможность взаимодействия с внешними системами управления.

В качестве безопасности автономного комплекса служит проверка начальной температуры (T_0) для всех трех режимов работы. Как было описано выше, простой нагрев имеет интервал времени, в котором датчики работают как указатели, в том числе для построения графиков. В этом режиме алгоритм наиболее прост: определяется температура генератора T_g, для того, чтобы обеспечить его безопасную работу, при этом $T_g < T_{g\,max}$. Далее идет задание первого, второго, третьего цикла зависимости времени от коэффициента заполнения. Количество циклов может быть сколь угодно большим и зависит от поставленных задач, а для контроля максимально допустимой температуры, установлен предел ($T_{\text{пр}} = 225$ ℃). Этот предел необходим для того, чтобы обеспечить технологический процесс. Во втором режиме после выбора нагрева и запуска программы фиксируется полученное значение, после первого прохождения цикла и в случае, если температура ниже, программный цикл задает положительно-обратную связь для повышения температуры и контроля технологического процесса. В случае если температура для цикла оказалась выше, программа задает отрицательно-обратную связь для снижения температуры. Таким образом, происходит незначительное колебание температур, в целом представляющее собой зависимость коэффициента заполнения от температуры. Нагрев с поддержанием температуры сочетает в себе два предыдущих режима.

Разработка автономного программно-аппаратного комплекса способствует снижению выполнения рутинных работ для инженера, повышению точности и качества выходных продуктов. В настоящей работе была показана структурная блок – схема и алгоритм системы управления автономного комплекса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проектной части Государственного Задания 3.1962.2014/К.

Список литературы

1. *Paczesny, D.* The concept and architecture of data communication in autonomous cleaning robots / D. Paczesny, B. Nowak, G. Tarapata, M. Marzecki // Proceedings of the SPIE. – 2016. – V. 10031. – P. 129–137.

2. *Gremillion, M.* Analysis of trust in autonomy for convoy operations / M. Gremillion, R. Marathe, J. Paul, J. Christensen, K. Drnec, B. Haynes, C. Atwater // Proceedings of the SPIE. – 2016. – V. 9836. – P. 127–137.

3. *Vilardell, F. Using Robotic* Operating System (ROS) to control autonomous observatories / F. Vilardell, G. Artigues, J. Sanz, A. Garcıa-Piquer, J. Colome, I. Ribas // Proceedings of the SPIE. – 2016. – V. 9913. – P. 223–229.

4. *Vedenkin, D.A.* Laboratory complex for processing of oily waste using microwave energy / D.A. Vedenkin, R.E. Samoshin, O.Y. Zuev // В сборнике 2015 International Conference on Antenna Theory and Techniques: Dedicated to 95 Year Jubilee of Prof. Yakov S. Shifrin, ICATT-2015 – Proceedings 10. -2015. - p. 396 -398.

5. *Vedenkin, D.A.* Processing of oil sludge using microwave energy / D.A. Vedenkin, R.E. Samoshin, O.Y. Zuev // В сборнике 2015 International Conference on Antenna Theory and Techniques: Dedicated to 95 Year Jubilee of Prof. Yakov S. Shifrin, ICATT-2015 – Proceedings 10. -2015. -p. 399 – 401.

6. *Веденькин, Д.А*. Лабораторный комплекс по переработке нефтесодержащих отходов с применением СВЧ технологий / Д.А. Веденькин, Г.А. Морозов, О.Г. Морозов, А.Р. Насыбуллин, Р.Р. Самигуллин, Р.Э. Самошин // Вопросы электротехнологии. – 2014. № 3(4). – С. 5-13.

7. *Морозов Г. А*. Микроволновая обработка семян хвойных пород деревьев: достигнутые результаты и направления перспективных исследований / Морозов Г. А., Седельников Ю. Е., Стахова Н. Е., Морозов О. Г., Дорогов Н. В., Бизякин А. С.// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. № 4(4) / Т. 13, С. 1197-1202

Опубликовано при финансовой поддержке АНО «Казанский Открытый Университет Талантов 2.0»

05.02.22

В.И. Гришечкин, [1]Н.П. Назарова к.биол.н., [2]Р.С. Шамсутдинов

Альметьевский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ»,
[1]кафедра Конструирования и машиностроительных технологий,
[2]кафедра Естественнонаучных дисциплин и информационных технологий,
Альметьевск, wnl_08@mail.ru, shamsutdinovrustam@yandex.ru

ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД КАК ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-44-46

В работе рассматриваются проблемы энергосбережения. Для снижения потребления электрической энергии в промышленности энергетики снижают мощность работы генераторов, в результате чего меньше сжигается топлива. Одним из эффективных способов экономии является применение в промышленности и производстве частотно-регулируемых приводов.

Ключевые слова: *электрическая энергия, частотно-регулируемый привод, эффективность, мощность.*

Получение электрической энергии сопровождается расходом природных ресурсов планеты. Поскольку большую часть электроэнергии получают, сжигая топливо, то происходит загрязнение атмосферного воздуха поллютантами, расход кислорода атмосферы, уничтожение целого ряда природных ресурсов, таких как нефть, газ, уголь, лес, которые могут быть ценным сырьем для изготовления колоссального числа ценных для человека предметов в будущем.

Следует отметить, что в современном мире используются солнечная энергия, ветровая энергия, энергия морских волн и т.д. [5, с. 214]. На основе природных источников энергии были сформированы различные электростанции: на основе ветра, приливов, геотермальные, на основе солнца и пр.[2, 47; 4, с.22].

Альтернативные источники энергии (АИЭ) имеют множество достоинств перед другими технологиями получения энергии: возобновляемость, экологичность, неисчерпаемость и доступность. Кроме того, АИЭ позволяют снизить уровень загрязнения окружающей среды [4, с.23]. Однако, не смотря на значительное число преимуществ, АИЭ имеют и недостатки: непостоянство, связанное с зависимостью от погодных условий, времени суток; имеют невысокий коэффициент полезного действия; дороговизна материалов; имеют недостаточную единичную мощность установок. Применение только одних АИЭ не помогут решить проблему энергосбережения. Для этого необходим системный подход: экологизация всех технологических процессов, применение когенерационных технологий, внедрение АИЭ.

Экономия электроэнергии является важнейшим элементом борьбы за сохранение природных ресурсов, чистоты окружающей среды для будущих поколений. Для снижения потребления электрической энергии в промышленности энергетики снижают мощность работы генераторов, в результате чего меньше сжигается топлива.

Потери электрической энергии происходят при энергопотреблении. Значительно сэкономить электроэнергию можно при использовании частотно-регулируемого асинхронного электропривода с одновременным выполнением всех требований технологических процессов [1; 7, с.24].

На наш взгляд одним из эффективных способов энергосбережения, помимо АИЭ, является использование во многих технологических мероприятиях частотно-регулируемых приводов (ЧРП).

Так, применение ЧРП на насосах гарантирует существенное сокращение расхода электрической энергии, которая потребляется электроприводом. К преимуществам ЧРП необходимо отнести следующие его характеристики: плавный запуск насосов (отсутствие гидравлических ударов в трубопроводе, снижение давления), стабильная и устойчивая работа насосных установок, автоматизация и диспетчерское управление [8], эффективная электрозащита электродвигателя, которая является одной из основ энергосбережения [3, с.48].

В емкости (резервуаре) необходимо поддерживать постоянное давление, из которой периодически расходуется воздух. В классическом случае на емкости устанавливается предохранительный клапан, который открывается при избыточном давлении и закрывается полностью при недостаточном давлении, а при этом двигатель подкачки работает постоянно, расходуя «впустую» электроэнергию. При установке ЧРП, система работает таким образом, что при уменьшении давления увеличивается частота оборота двигателя и давление повышается, а при достижении номинального давления, наоборот, частота оборотов уменьшается. Таким образом, достигается эффект экономии электроэнергии. По результатам исследований реальные цифры экономии достигают от 40 до 50 %. Эффективность работы предприятий может быть существенно увеличена за счет применения ЧРП.

Для проведения расчета рассмотрим электродвигатель мощностью (W) в 30кВт с частотой 1500 оборотов. Цена данного электродвигателя составляет 45,470 рублей за штуку (средняя).

Исходные данные для расчета:

Цена за 1 кВт по Республике Татарстан – 3,20 руб.

Количество часов работы электродвигателя – 12 часов в сутки.

Количество времени работы электродвигателя за 1 месяц, 6 месяцев и 1 год.

Рассчитаем потребление энергии за 1 день, 1 месяц, 6 месяцев, 1 год. (12 рабочих часов) без установки и с установкой ЧРП. Расчет экономической эффективности ЧРП производили согласно «Инструкции по расчету экономической эффективности применения ЧРП» [6; 8]. Так, при наличии 1 электродвигателя стоимость электрической энергии за 1 день составит:

$$Ц_д = 30\ кВт \times 12ч \times 3{,}20 \frac{руб}{кВт} = 1152\ руб$$

Результаты расчета потребления энергии за месяц, полгода и год проиллюстрированы на рис. 1.

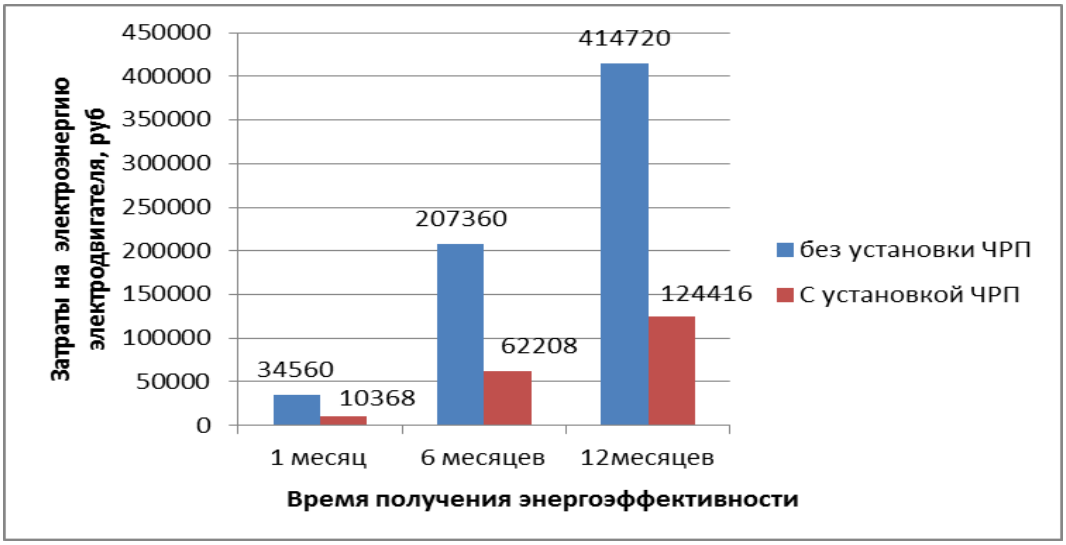


Рис. 1 – Затраты на электроэнергию до и после внедрения ЧРП

Из рисунка 1 видно, что при наличии 1 электродвигателя цена составит за 1 месяц:

$$Ц_м = 30дней \times 12ч\ \times 30кВт \times 3{,}20 \frac{руб}{кВт} = 34560руб;$$

Соответственно, за 6 месяцев:

$$Ц_{6м} = 6мес \times 30дней \times 12ч \times 30кВт \times 3{,}20\frac{руб}{кВт} = 207360\ руб;$$

и за 1 год:

$$Ц_{г} = 2 \times 207360\ руб = 414720\ руб.$$

Итак, за 1 год эксплуатации при 12 часовой работе 30 кВт двигатель израсходует 414 720 руб. без внедрения ЧРП.

После внедрения ЧРП ожидаемая экономия варьирует в пределах 40-50%. Однако мы в расчетах минимальное значение экономии, которое составит лишь 30 %. Стоимость ЧРП для данного двигателя составляет 60 тыс. руб. Следовательно, 30 % от полных затрат составит 124416 руб. – это экономия затрат на электроэнергию. С учетом вычета на ЧРП – 60 тыс. руб. получим 64416 тыс. руб. – это чистая экономия на электроэнергию.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что ЧРП окупает себя за год и в последующие годы работает только на экономию денежных средств, энергии, и, как следствие, экономичном использовании природных ресурсов.

Список литературы

1. Ведомственный руководящий документ. ВРД 39-1.10-052-2001 ОАО «Газпром». Методические указания по выбору и применению асинхронного частотно-регулируемого электропривода мощностью до 500 кВт. 2001.
2. *Канищева Т.В.* Об использовании энергии движения в альтернативных источниках энергии // Современные наукоемкие технологии. №5-2. 2014 с. 47а.
3. *Кожухова А.А., Рамазанов К.Н., Савельев И.Е.* Моделирование и исследование САУ насосной станции // Символ науки. №3-3. 2016. С. 48 – 53.
4. *Терещенко А.Е.* Альтернативные источники энергии: солнечная энергетика // Сборники конференций НИЦ Социосфера. №35. 2016 с. 22 – 25.
5. *Филиппова К. Г.* Альтернативные источники энергии // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. №1(7). 2014. С. 214 – 215.
6. *Шакарян Ю.Г.* Инструкция по расчету экономической эффективности применения частотно-регулируемого электропривода, АО ВНИИЭ. МЭИ. М. 1997.
7. *Яруллин Р.Б.* О регулируемом электроприводе техники сервиса // Электротехнические и информационные комплексы и системы. Т.11. № 1. 2015. С. 24 – 37.
8. Рекомендации по расчету экономической эффективности внедрения частотно-регулируемых электроприводов переменного тока (ЧРП) для насосных агрегатов [Электронный ресурс] // URL: http://gigabaza.ru/doc/40782.html (дата обращения: 10.04.2017).

Опубликовано при финансовой поддержке АНО «Казанский Открытый Университет Талантов 2.0»

05.02.00

В.А. Иванов, И.А. Мутугуллина

Бугульминский филиал ФГБОУ ВО «Казанского национального исследовательского технологического университета»,
Бугульма, vladivanov56@yandex.ru

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПОТОКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В КОНТУРЕ СИСТЕМЫ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ КАК ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ГИДРАВЛИКИ ПЕРЕМЕННОГО РАСХОДА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-47-49

Предлагается аналитический метод расчета потока распределения в контуре системы охлаждения поршневых двигателей внутреннего сгорания, основанный на решении простой обратной задачи гидравлики переменного расхода для коллекторных систем. Установлены аналитические зависимости между коэффициентами сопротивления, расходом, геометрией, напорной характеристикой коллектора.

Ключевые слова: *поток количества движения, коллектор, коэффициент гидравлического сопротивления, напор.*

Вопросы, связанные с определением потокораспределения в контуре жидкостного охлаждения, решаются методом математического расходомера [1,2]. Недостатком этого метода является большой объем наперёд неизвестной информации о коэффициентах сопротивления контура. Это- главная причина отказа от использования метода математического расходомера.

Алгебраическая схема расчета коллекторных систем основана на использовании трех уравнений: неразрывности, баланса импульса и баланса энергии ,выражающих общие теоремы механики жидкости [3]. В общем случае решения обратной задачи гидравлики переменного расхода известен расход в одном сечении, т.е. в сечении 2-2 или в 1-1 рис.1. Требуется найти расход за или перед тройником. Дальше считается, что в контрольном объеме, ограниченном тремя сечениями (1-1, а-а, 2-2) заданы три пьезометрические отметки h_1, h_a, h_2 и расход в сечении 2-2. Требуется найти расход Q_1 в сечении 2-2. Для этого воспользуемся уравнением импульсов (сохранения потока количества движения) и уравнением работ.

Имеем:

$$\begin{cases} (p_1 + \rho U_1^2)S_1 \pm (p_a + \rho U_a^2) * \omega * \cos\alpha = (p_2 + \rho U_2^2)S_2 \\ Q_1 H_1 \pm Q_a H_a = Q_2 H_2 \pm Q_2 h_f \end{cases} \quad (1)$$

где p - статическое давление, U-скорость, H-напор, S-площадь живой струи в соответствующих сечениях, ω – площадь сечения патрубка, h_f – потерянный напор между сечениями 1-1 и 2-2. Верхний знак в системе (1) относится к вытяжному тройнику нижний – к приточному.

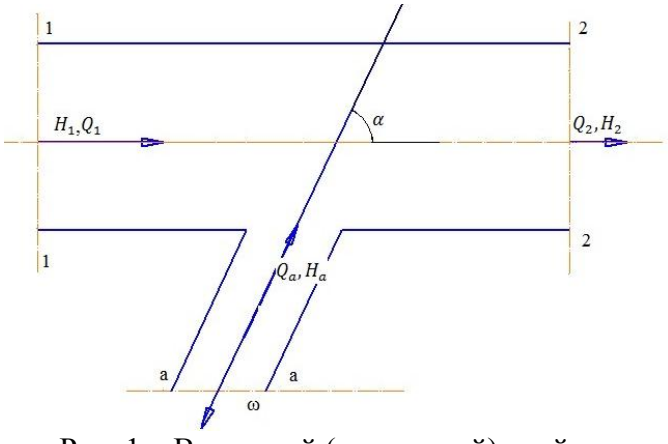


Рис. 1 – Вытяжной (приточный) тройник

Систему (1) замыкает уравнение неразрывности:

$$Q_2=Q_1\pm Q_a.$$

Из простейшего анализа уравнения неразрывности следует существование как прямых, так и обратных уклонов в потоке с переменным расходом, что делает невозможным применение аппарата гидравлики постоянного расхода при решении обратных задач.

Введем обозначения:

$Ƶ=Q_1/Q_2$, $y=S_1/S_2$, $k=S_2/\omega$

$$T_i=2gh_i\cdot S_2^{\,2}/Q_2^{\,2} \qquad (2)$$

В переменных (2) система уравнений (1) имеет вид:

$$\begin{cases} yT_1+2\frac{Ƶ^2}{y}\pm(\frac{T_a}{k}+(1-Ƶ)^2)cos\alpha=T_2+2 \\ ƵT_1+\frac{Ƶ^3}{y^2}+T_a(1-Ƶ)+k^2(1-Ƶ)^3=T_2\pm\xi+1 \end{cases}, \qquad (3)$$

где ξ – коэффициент гидравлического сопротивления на участке 1-2. Для прямого тройника ($\alpha=\pi/2$). Основная часть экспериментального материала получена на коллекторах с прямыми тройниками [4]. В этом случае уравнения (3) принимают вид:

$$\begin{cases} yT_1+2\frac{Ƶ^2}{y}=T_2+2 \\ ƵT_1+\frac{Ƶ^3}{y^2}+T_a(1-Ƶ)+K^2(1-Ƶ)^3=T_2\pm\xi+1 \end{cases} \qquad (4)$$

Система (3) неудобна по следующим соображениям: 1) она неприводима над полем комплексных чисел; 2) мы вынуждены задавать в уравнении энергии потерянный напор. Вообще говоря, коэффициент сопротивления ξ можно сделать вычисляемой величиной, если вместо уравнения энергии использовать теорему импульсов. На этом основан вывод теоремы Карно-Борда [4]. Возникает вопрос: каковы должны быть условия для потока жидкости с переменным расходом, чтобы импульс сохранялся? Изменение потока количества движения равно импульсу равнодействующих внешних сил т.е. сил давления нормального и сдвигового. Первые определяется из эксперимента, вторые представляют известную нерасчетность, так как коэффициенты Шези и модули расхода для потока с переменным расходом неизвестны.

Сузим задачу: при каких условиях можно пренебречь импульсом сил трения на стенки коллектора?

Вопрос об инвариантности потока количества движения решается с помощью теории потока на фазовой p, x плоскости. В результате для уклона i получаем следующее уравнение:

$$I\cdot Q^{-1/2}=\text{const} \qquad (5)$$

Таким образом, если выполняется (5), импульсом сил трения можно пренебречь. Тогда из теоремы импульсов, записанной в дивергентной форме:

$$\oint_S(\vec{U},\vec{n})\,\vec{U}ds+\oint_S\vec{n}*\frac{p}{\rho}ds=0 \quad , \qquad (6)$$

где S –замкнутая контрольная поверхность, $\vec{n}$ – единичный орт главной нормали, следует гидравлическая формула теоремы о сохранении потока количества движения в (3). Обозначим через β_i угол между n и x,ω_i-площадь живого сечения i – ой струи, аккретирующей или транзитной. Тогда (см.рис.2) имеем:

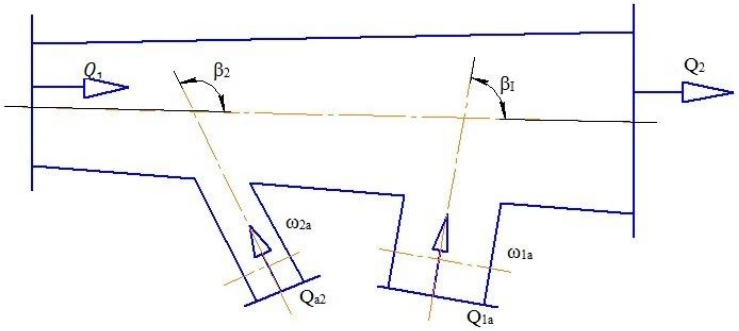


Рис. 2 - Произвольный вытяжной коллектор

$$\Sigma\omega_{ia}\cdot\cos\beta_i\left(h_i+\frac{Q_i^2}{g\omega_{ia}^2}\right)=0 \quad (7)$$

Пусть заданы:

Вектор (h_{ai}, $i \geq 1$) статических напоров в патрубках;

Два напора(h_1 и h_2) в конце и в начале коллектора.

Расход Q_2.

$Q_{ia}=\frac{Q_2-Q_1}{n}$=const, $\omega_{ia}=\omega=const,\ S_1=S_2=S,\ k=\frac{S}{\omega}$, m=n/k,

$$T_i=\frac{2gS^2}{Q_2^2}h_i \quad (8)$$

Уравнение импульсов в проекции на ось транзитной струи имеет вид:

$$T_1+2Ƶ^2+\left(mT_a+\frac{2}{m}(1-Ƶ)^2\right)\cdot cos\beta=T_2+2 \quad (9)$$

По определению [4]:

$$\xi=\frac{H_1-H_2}{Q_2^2}2gS^2=T_1-T_2-(1-Ƶ^2) \quad (10)$$

Тогда из [4] имеем:

$$\xi=1-Ƶ^2-\left(mT_a+2\frac{(1-Ƶ)^2}{m}\right)\cos\beta \quad (11)$$

Если в (12) $\beta=\pi/2$ (все вытяжные тройники прямые),то

$$\xi=I-Ƶ^2 \quad (12)$$

Формула (12) хорошо согласуется с экспериментальными данными (4) при $Ƶ \leq 0.6$. Сопоставления приведены в таб.1.

Таблица 1 – Сопоставление данных

Ƶ	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
[4]	0.7	0.64	0.6	0.65	0.75	0.85	0.92	0.96	0.99	1.0
(12)	0.19	0.36	0.51	0.64	0.75	0.84	0.91	0.96	0.99	1

Формула (12) отвечает на вопрос почему коэффициент сопротивления прямого тройника не зависит от его геометрии, а определяется только величиной коэффициента расхода, при $\beta=\pi/2$ аккретирующийся поток не вносит никакого вклада в продольный поток количества движения. При Ƶ стремящейся к 1 снизу, потери перемешивания снижаются и основную роль играет силы трения, которые в этой расчетной схеме не учитываются.

Изложенное выше позволяет решить задачу расчета вытяжного коллектора, давая явную связь коэффициента сопротивления с коэффициентом расхода, геометрией и напорной характеристикой коллектора.

Предлагаемая схема расчета коллекторных систем позволяет рассчитывать систему охлаждения поршневых и роторно-поршневых двигателей внутреннего сгорания при минимуме информации о сопротивлении ее элементов, что особенно важно на этапе проектирования и доводки двигателя.

Список литературы

1. *Лямаев Б.Ф., Небольсин Г.П., Нелюбов В.Л.* Стационарные и переходные процессы в сложных гидросистемах. Л.: Машиностроение, 1978, 190с.

2. *Кригер А.М., Дискин А.Л., Новенников А.Л., Пикус В.М.* Жидкостное охлаждение автомобильных двигателей М.: Машиностроение, 1985, 176с.

3. *Гиргидов А.Д*. Механика жидкости газа - М.: ИНФРА-М, 2015. - 704с.

4. *Чугаев Р.Р.* Гидравлика. Л.: Энергоиздат, Ленинградское отд-ние, 1982. - 672 с (с. 197).

05.02.02

Т.М. Кокина

Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО «Казанский (приволжский) федеральный университет»,
dtp777@mail.ru

УСТАНОВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕТОЧНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И МОНТАЖА ПЕРЕДАЧ ПРИВОДОВ МАШИН НА КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ТОЧНОСТЬ ВРАЩЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-50-53

В работе установлена связь между ошибками изготовления и монтажа деталей электромеханических приводов на кинематическую точность рабочих органов. Результаты могут использоваться для априорной оценки факторов при составлении модели процесса движения и снижения коэффициента неравномерности рабочих органов машин.

Ключевые слова: *кинематическая точность вращения рабочих органов, коэффициент неравномерности вращения, ошибки изготовления и монтажа передач.*

Многие технологические процессы требуют точного вращения рабочих органов в связи с особенностями их протекания. Их спектр велик. К ним можно отнести транспортирование объектов с помощью робототехнических устройств, движение роторов электрогенераторов, вытягивание пряжи при прядении, протекание процессов изготовления заготовок при штамповании, протекание процесса механической обработки детали резанием и многие другие [1], [2], [3]. По данным источника [3] коэффициент неравномерность вращения главного вала ограничивается от 0,001 до 0, 005 для металлорежущих прецизионных станков, от 0,005 до 0,015 для двигателей внутреннего сгорания и электрогенераторов, от 0,01 до 0,02 для прядильных машин, от 0,1 до 0,15 для ковочных машин и др.

Авторами Л. А. Андриенко, Н. Б. Шешулиной установлена зависимость между неравномерностью вращения валов электромеханических приводов редуктора от точности изготовления его передач [4] . У В.Н. Рудницкого определена взаимосвязь неточностей изготовления и нагрузочной способностью зубчатых передач [5]. В работе [1] дана методика определения влияния точности кинематических цепей зубо- и резьбообрабатывающих станков на параметры точности обрабатываемых изделий (зубчатых и червячных колес). Автором И. Г. Волковым в работе [6] выявлено влияние износа передач на кинематическую точность при вращении. Таким образом, снижение неравномерности вращения главного вала электромеханических приводов, включающих неточности изготовления и монтажа узлов, а так же их износ, является актуальной исследовательской задачей.

Если процесс происходит в условиях повышенной кинематической точности при вращении, то для составления модели, описывающей процесс вращения в зависимости от точности передач привода, в качестве главного фактора возможно назначение отклонения от угла поворота рабочего органа при вращении:

$$\varphi_р = \varphi_{ро} + \Delta\varphi, \qquad (1)$$

где $\varphi_р$ – угол поворота рабочего органа машины с учетом ошибки при вращении,

$\varphi_{ро}$ –идеальный угол поворота при вращении,

$\Delta\varphi$ –ошибка угла поворота при вращении.

Выбор второстепенных факторов при построении модели связан с факторами, снижающими точность углов поворота валов привода ψ_i, высчитываемые в зависимости от точности изготовления деталей привода и их монтажа на валах. Их определение является подготовительным этапом с целью выполнения априорной оценки выбираемой модели процесса вращения, а в дальнейшем построения самой модели. Определение дополнительных углов поворота ψ_i валов привода можно выполнить расчетом размерных

цепей для размеров, определяющих смещение валов и деталей на валах от геометрической оси вала в радиальном и осевом направлении. Так, для зубчатой передачи, максимальное значение кинематической погрешности высчитывается:

$$\delta\varphi_{max} = k[\sqrt{(F_{i1})^2 + (E_{\Sigma 1})^2} + \sqrt{(F_{i2})^2 + (E_{\Sigma 2})^2}] \quad (2)$$

где: к – коэффициент фазовой компенсации,

F_{i1}, F_{i2} – допуск на кинематическую погрешность зубчатой пары, мкм,

$E_{\Sigma 1}, E_{\Sigma 2}$ – допуск на суммарную погрешность монтажа, мкм.

В угловых единицах ее величина равна:

$$\delta\varphi_{угл} = 6.28\ \delta\varphi_{лин}/d, \quad (3)$$

где d – зубчатого колеса.

Кинематическая погрешность цепи по методу максимума-минимума равна:

$$\Delta\varphi_{max\Sigma} = \sum_{j=1}^{n} U_j\ \delta\varphi_{maxj} \quad (4)$$

где: U_j – передаточное отношение зубчатых колес.

В формуле (2) суммарная приведенная погрешность монтажа для косозубого колеса равна:

$$E_{\Sigma i} = \sqrt{(e_a/tg\beta)^2 + (e_p/cos\alpha_s)^2} \quad (5)$$

где: e_a, e_p – монтажное осевое и радиальное биение зубчатых колес,

β, α_s – угол наклона зуба и угол зацепления в торцевом сечении зубчатого колеса.

При этом, монтажное осевое и радиальное биение есть геометрическая совокупность их составляющих. Для радиального биения это совокупность допусков на смещения оси шейки вала, – e_{p1}, смещения оси посадочного отверстия зубчатого колеса относительно оси шейки вала, – e_{p2} и радиального смещения оси зубчатого колеса за счет радиального биения дорожек качения относительно оси шейки вала, – e_{p3}. Для осевого смещения это совокупность допусков на осевое смещение торца зубчатого колеса из-за осевого и радиального смещения дорожек качения подшипников, высчитанных с учетом геометрического расположения колеса, – e_{a1}. Кроме того, в эту совокупность входит и осевое биение торца колеса за счет отклонения от соосности посадочных отверстий подшипников в корпусе, $-e_{a2}, e_{a3}$, а также смещение за счет посадки зубчатого колеса с перекосом, $-e_{a4}$. Осевое смещение торца зубчатого колеса возможно так же за счет смещения осей делительных цилиндров, – e_{a5}, определяемую допуском на направление линии зуба F_β.

Величина кинематической погрешности двухпоточного редуктора, имеющего открытую передачу для передачи движения синхронно работающим валам расстоянием между ними около 900 мм и паразитную шестерню, приведена в таблице 1.

Таблица1

Составляющие погрешностей зубчатых колес редуктора

Зубчатые колеса	Погрешность обката	Составляющие радиального биения, мкм	Составляющие осевого биения, мкм	Суммарное радиальное биение, мкм	Суммарное осевое биение, мкм	Погрешность монтажа мкм
	F_c	$e_{p1}, e_{p2}, e_{p3}, e_{p4}, e_{p5},$	$e_{a1}, e_{a2}, e_{a3}, e_{a4}, e_{a5},$	$e_{p\Sigma}$	$e_{a\Sigma}$	E_Σ
1.	38	20, 19, 26,179, 15	28,5,4,473,7	209	476	257
2.	38	20, 27, 45,204, 15	20,44,781,64 -	235	783	327
3.	38	20,26, 20, 174, 15	28,-,724,-10	204	725	292
4.	48	20,27,25,179, 15	20,81,565, 100,-	210	715	360
5.	48	20,27,40,128, 15	20,81,565, 250,-	285	618	166

В таблице 2 представлены результаты расчетов кинематической погрешности всей кинематической цепи без учета открытой передачи со сменными шестернями. Расчет показал, что дополнительный угол закручивания составил 4º 4', что вызывает появление неравномерности вращения рабочего органа в 1,7 %. При этом не учитывался износ деталей в процессе эксплуатации, который резко снижает величину неравномерности вращения валов. Для многоступенчатых редукторов, эта цифра возрастает до 6% даже без учета износа деталей

В таблице 2 представлены результаты расчетов кинематической погрешности всей кинематической цепи.

Таблица2

Кинематические погрешности и неравномерность вращения валов редуктора

Зубчатые пары	Коэффициент фазовой компенсации К	Наибольшая кинематическая погрешность, $\Delta\varphi_{max\Sigma}$,мкм	Передаточное число U_j	Наибольшая кинематическая погрешность цепи, $\delta\varphi_{max\Sigma}$	
				мкм	град
1.	0,08	574	1,35		
2.	0,08	574	0,739		
3.	0,08	292	1		
4.	0,08	529	1		
				2310	4º 4'
Коэффициент неравномерности вращения: δ =1,7%					

С целью обоснования полученных расчетных результатов, неравномерность вращения замерялась экспериментально непосредственно в приводе рассчитываемого редуктора. На выходной вал машины устанавливался специально спроектированная металлическая обойма с прорезями, к которым подводился магнитный датчик, подсоединяемый к шлейфовому осциллографу 2.

Изменение магнитного импульса при прохождении прорези вблизи контакта фиксировалось прибором. Средняя величина величины коэффициента неравномерности при замерах составила 3,1 %

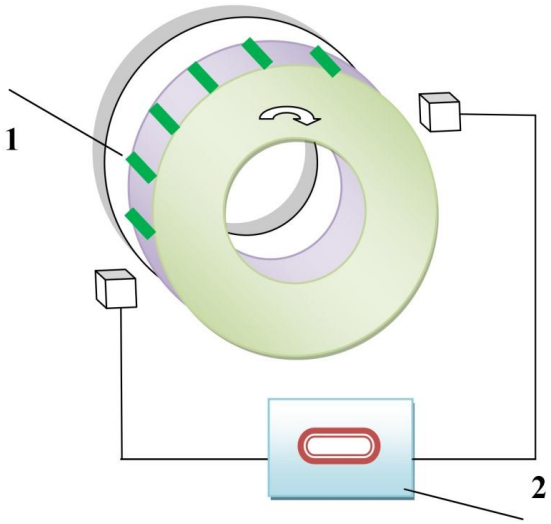


Рис 1 Схема магнитного измерительного датчика. 1-датчик 2-шлейфовый осциллограф.

Выводы по работе:

1. Разработанная методика априорной оценки факторов для оценки возможных отклонений угла вращения рабочего органа позволяет составлять выявлять факторы для составления математических моделей процесса определения кинематической точности при вращении электромеханических приводов различных машин.

Список литературы

1. http://science-bsea.narod.ru/2011/mashin_2011_1/rudnicky_vopros.htm
2. *Т.М. Кокина* «Установление зависимости неравномерности вращения валов питания и качества пряжи, полученной безверетнным прядением напневмомеханических прядильных машинах.», Научно-технический вестник Поволжья, №6, с.145-148. http://ntvp.ru/ru/archive-vypuskov
3. http://studopedia.su/10_62985_koeffitsient-neravnomernosti-vrashcheniya.html
4. *Андриенко Л. А. , Шешулина Н. Б.* Инженерный метод расчета неравномерности вращении тихоходного вала редукторов, используемых в электромеханических приводах общего машиностроения, электронный научно-технический журнал «Инженерный вестник», №6, 2015. — 92-96 С. http://engbul.bmstu.ru/doc/779601.html
5. http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/445/76445/57682?p_page=7
6. *И.Г. Волков*, Стенд для испытания плавности передачи при износе зубчатых колес. Известия Томского Ордена Трудового Красного знамени политехнического института, 1970, Т. 157, С. 102-105.

05.02.04

Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов д.т.н.

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

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ11 НА ИЗНОС БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-54-56

В статье приводятся результаты климатических условий эксплуатации на износ гребня и прокат бандажей колесных пар грузовых электровозов ВЛ11.

Ключевые слова: *электровоз, эксплуатация, условия, колесная пара, бандаж, износ, влияние*.

Согласно ГОСТ 30858–2003, износостойкость – способность материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, а износ – изменение массы изделий, их размеров, количества металла в масле или изменение параметров изделия, зависящих от износа поверхностей или сопряжений [1]. Износ бандажей – результат одновременного, совокупного действия множества факторов в процессе трения и встречается в виде проката, выбоин, подреза гребней и др. Он заключается в том, что их конфигурация по всей поверхности катания постепенно утрачивает свою первоначальную (после обточки) форму. Образуется так называемые прокат и подрез гребня на рабочей поверхности бандажа.

Он заключается в том, что их поверхность по всему кругу катания постепенно утрачивает коническую форму, превращаясь в желобообразную. Образуется так называемый прокат на поверхности бандажа. Износ бандажей является следствием воздействия двух факторов: пластической деформации, в результате которой металл выдавливается с поверхности катания к наружной грани и вершине гребня, и термического воздействия при проскальзывании колес и колодочном торможении. После чего на поверхности катания образуется твердая мартенситная структура [2].

При длительном взаимодействии колес и рельсов происходит значительная деформация бандажа и головки рельса. В этом случае циклическое действие контактных напряжений может вызвать остаточную деформацию. Хотя она не приводит к полному разрушению бандажа, однако может нарушить нормальные условия работы.

Изменение размера бандажа характеризуется интенсивностью нарастания проката, износа гребня по толщине (естественный износ), а также уменьшением толщины бандажа за счет снятого при обточках слоя металла (технологический износ), т. е. интенсивностью суммарного износа.

Прокат бандажей образуется вследствие пластической деформации металла под действием нормального давления, а также истирания частиц металла бандажа в месте контакта с рельсом под влиянием силы трения. Величина нормального давления зависит от конструкции локомотива, а сила трения – от величины нормального давления и коэффициента сцепления.

Нарастание величины проката приводит, во-первых, к уменьшению силы сцепления между колесом и рельсом и, как следствие, к увеличению склонности электровоза к боксованию. Во-вторых, начинается ускоренный износ бандажей и сокращается срок их службы.

Основной фактор, влияющий на подрез гребней, – его проскальзывание относительно рельса в результате всползания и соскальзывания. Под всползанием понимают вертикальное перемещение колеса относительно рельса, под соскальзыванием – аналогичное перемещение из-за действия сил от массы экипажа [1].

В случае всползания колесная пара переходит в режим одноточечного касания колеса с рельсом с точкой контакта, приходящейся на гребень. Наличие непрерывного всползания с одновременным соскальзыванием является основной причиной интенсивного подреза гребней бандажей колесных пар электровозов.

Результаты исследований показали, что износ бандажей зависит от многих факторов: химического состава материалов и зависящих от них прочностных свойств деталей; качества изготовления; климатических и метеорологических условий эксплуатации локомотивов; нагрузочных режимов и частоты их повторяемости (число пусков и остановок, режимы трогания с места и торможения, продолжительность движения с максимальной нагрузкой, зависящая от веса поезда и профиля пути и т. п.); насыщенности поверхности трения абразивными частицами; состоянием пути и зависящим от него динамическим нагрузкам на оборудование локомотива, а также многих других факторов [2].

Значения и комбинации этих факторов могут изменяться в широких пределах, вследствие чего локомотивы одной серии на разных железных дорогах после одинаковых пробегов ставятся на ремонт с различной степенью износа деталей и узлов [3].

Распределение износа по поверхности бандажей колесных пар в различное время года дает представление о факторах, влияющих на разрушение структуры материала и соответственно позволяет выбрать эффективные способы его снижения.

Чтобы оценить степень влияния условий эксплуатации на износ бандажей, на кафедре «Электрическая тяга» УрГУПС проанализировали изнашивание бандажей колесных пар на примере грузовых электровозов ВЛ11, приписанных к эксплуатационным депо Пермь-Сортировочная, Свердловск-Сортировочный, Смычка Свердловской дирекции тяги. Локомотивы работали на одних тяговых плечах, в одинаковых условиях.

Для измерения контролируемых параметров локомотивных бандажей использовался шаблон УТ-1. Степень влияния условий эксплуатации определялась сопоставлением числовых характеристик изменения контролируемых параметров (прокат, толщина гребня) в летний период времени (с 20 июля по 15 августа 2016 г.), при входе в зиму (с 3 по 30 ноября 2016 г.), зимний период времени (с 20 января по 16 февраля 2017 г.), при выходе из зимы (с 1 апреля по 4 мая 2017 г.). Поскольку контролируемые параметры при фиксированных значениях пробега являются случайными величинами, их зависимости от пробега определялись с помощью регрессионного анализа. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Числовые характеристики распределения величины износа гребней и проката бандажей электровозов серии ВЛ11

Контролируемый параметр	Сравниваемый период времени	Кол-во данных, N	Числовые характеристики распределения величины износа гребней и проката бандажей		
			M_x, мм	D_x, мм^2	σ_x, мм
Износ гребня	лето	1200	0,429	0,247	0,497
	вход в зиму	660	0,217	0,105	0,324
	зима	1176	0,223	0,066	0,258
	выход из зимы	612	0,245	0,087	0,296
Прокат	лето	1200	0,035	0,016	0,126
	вход в зиму	660	0,124	0,058	0,242
	зима	1176	0,220	0,083	0,288
	выход из зимы	612	0,163	0,075	0,273

Из табл. 1 видно, что износ гребней бандажей зимой был незначительным, и обточка бандажей определялась только величиной износа по кругу катания. При этом износ гребней прекращался после образования проката по кругу катания. Было установлено, что на заснеженном пути и инее на боковой грани головки рельса образуется ледяная пленка, которая является естественной смазкой, хорошо предохраняющей гребни бандажей от износа [1, 5].

При этих условиях качение бандажа быстро переходит с двухточечного на одноточечный контакт по кругу катания и износ гребня прекращается. В летний период гребень интенсивно изнашивается, когда опережает скорость нарастания проката [3]. Если сохраняется двухточечный контакт, то при полном гребне необходим начальный прокат и его величина должна составлять около 1 мм. При этой величине проката бандаж и рельс имеют одноточечный контакт по кругу катания, и гребень бандажа не будет интенсивно изнашиваться.

Низкие температуры зимой могут влиять на глубину закаленного слоя и его твердость. Белый слой является характерным проявлением образования новых структур. По мере качения бандажа по рельсу в летний период накапливаются микроскопические деформации. Когда способность к упрочнению бандажа исчерпывается, наклепанные слои разрушаются, вымываются. Жидкость, внедряющаяся летом при ударах в образовавшиеся микротрещины, ведет себя подобно клину, раздвигающему стенки трещины. Происходит перенос материала рельса на более мягкую поверхность бандажа. На поверхности рельса образуются риски в результате царапающего действия перенесенного металла, находящегося на бандаже в состоянии наклепа, поверхность катания бандажей растрескивается. Образование трещин в зимнее время является причиной повышенного износа бандажей, острые кромки оказывают режущее действие, вблизи кромок материал бандажа выкрашивается [6].

Чтобы уменьшить силу трения, интенсивность изнашивания бандажей колесных пар электровозов и рельсов в летний период необходимо применять смазку. Смазочные материалы могут быть жидкими, в виде эмульсии, газообразными, пластичными и твердыми. Важно правильно, с учетом всех особенностей эксплуатации электровозов и состояния пути, выбрать оптимальный тип смазки и использовать ее в летний период для смазывания гребней бандажей и боковых граней головок рельсов.

Некоторые данные по износу гребней и нарастанию величины проката бандажей колесных пар отличаются от основной совокупности (на опытном участке разброс значений контролируемых параметров составляет в зависимости от времени года от 0 до 1,5 мм) и средних значений (см. табл. 2). Это можно объяснить различным значением величины перекоса колесных пар в раме тележки, несовершенством способа измерения (низкая точность измерительного инструмента). Кроме того, вероятно, на локомотивах с рекуперацией наблюдается повышенный износ гребней колесных пар. Это требует тщательного изучения. Встает вопрос о необходимости создания устройства или прибора, позволяющего достоверно, с высокой точностью контактным способом производить замеры не только величины проката и толщины гребня, но и параметра крутизны гребня.

Список литературы

1. Обеспечение износостойкости изделий. Триботехнические требования и показатели. Принципы обеспечения. Основные положения. ГОСТ 30858–2003. Введ. 01.01.2006. М.: Стандартинформ, 2005. 5 с.

2. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: УрГУПС, 2009. 224 с.

3. *Буйносов А.П., Лаптев С.И.* Перспективы применения триботехнических составов для ремонта бандажей колесных пар без прекращения эксплуатации локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 6. С. 50-52.

4. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Определение параметров колесной пары при движении электровоза с помощью измерительной системы АСОК-Л // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 1. С. 50-52.

5. *Буйносов А.П. Фетисова Н.Г.* Влияние материала на износ бандажей колесных пар электровозов и рельсов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 3. С. 111-113.

6. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов и электропоездов за счет применения наноматериала // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 2. С. 186-188.

05.02.22

А.А. Швецова, Г.В. Смирнов д.т.н., П.Е. Киселёв, П.А. Шляпников

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва,
кафедра технологий производства двигателей,
Самара, lcr_063@mail.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-57-59

В работе представлен анализ деятельности крупной самарской двигателестроительной организации. Сформирована концепция интеграции ключевых показателей эффективности и вектора управления для организации деятельности предприятия. Разработан модуль автоматизированной системы управления предприятием. Проведена опытная эксплуатация представленных интеграционных решений.

Ключевые слова: *машиностроительное производство, автоматизация, ключевые показатели эффективности, вектор управления.*

В условиях кризисной экономики организация деятельности и планирование работы современных многономенклатурных машиностроительных предприятий является трудной вариативной задачей, для реализации которой необходимо затрачивать существенное количество человеческих, финансовых и интеллектуальных ресурсов.

Для обеспечения постоянного роста объёмов производства, увеличения прибыли, наращивания мощностей предприятия актуальной задача для эффективного функционирования компании становится формирование гибкой системы организации деятельности предприятия и управления производственными процессами [1]. Данную задачу многие российские предприятия решают, используя эмпирический метод перебора вариантов, что впоследствии негативно отражается на результатах их деятельности.

Оптимизация процессов планирования и управления требует использования автоматизированной системы управления (АСУ) предприятием, позволяющей собирать и систематизировать информацию по заданным критериям, выполнять анализ данных и выдавать рекомендации по возможным вариантам управленческих воздействий. Проектирование и разработка такой системы выполнялась на базе одного из крупных машиностроительных предприятий самарской области.

По результатам анализа деятельности предприятия выявлен перечень проблем методического, технического и организационного характера, негативно влияющих на процесс организации и управления:

1) Сочетание опытного, штучного, мелкосерийного и ремонтного производств в единой производственной базе. Все виды заказов выполняются силами одних и тех же специалистов. Подобная комбинация типов производств и номенклатура деталей и материалов в десятки тысяч наименований осложняют процессы планирования и управления.

2) Большое использование ручного труда в выполнении рутинных производственных и управленческих процессов. До 2010 года предприятие представляло собой четыре разные организации, расположенные на расстоянии в десятки километров. Подразделения работали в различных локальных информационных системах, что приводило к дублированию функций в различных подразделениях, выполняемых вручную.

3) Отсутствие адекватной модели планирования при сочетании различных видов производств. Большинство двигателестроительных предприятий России не используют АСУ при планировании ремонта двигателей. В настоящее время прототип результативных методик планирования и их автоматизации для подобных предприятий не найден.

4) Отсутствие методов и инструментов, обеспечивающих руководителей нужной

информацией в нужный момент времени. В ответ на запросы руководителю поступают отчёты и документы в десятки и сотни страниц, что создает неизбежные трудности для принятия верного решения, что является самой значимой функцией руководителя.

Из перечисленного можно сделать вывод, что управленческому составу предприятия необходим методико-технический аппарат, который позволил бы в режиме реального времени провести анализ состояния организации и обеспечить процесс принятия решений адекватной и достаточной информацией. Реализация поставленной задачи возможна путём интеграции вектора целей управления и системы ключевых показателей эффективности (КПЭ), получившей широкое распространение в практике западных компаний [2]. «Вектор» является упорядоченным перечнем данных, обязательным условием формирования которого является ранжирование целей по приоритетам [3]. Данные методы широко используются по отдельности в рамках решения задач по оптимизации деятельности производства [4]. В предлагаемой концепции взаимодействие систем реализовано посредством интеграции алгоритмов управления в информационную среду предприятия.

В настоящее время ведётся работа по определению КПЭ с качественными и количественными характеристиками на основе целей и миссии организации. Выбранная компания имеет иерархическую структуру организации, поэтому сформированные КПЭ для служб делятся на более мелкие и конкретные показатели для управлений, отделов, бюро и в итоге сводятся к обозначению понятных задач для каждого работника. Таким образом, переведя стратегию компании в набор показателей с учётом всех особенностей её деятельности с возможностью формирования ожидаемых результатов и чёткостью постановки задач на любом уровне, можно организовать систему, лишающую или предупреждающую все возможные риски и срывы в долгосрочной перспективе.

Опытная эксплуатация предложенного решения проведена на базе службы по информационным технологиям (ИТ). Данное подразделение отвечает за автоматизацию управленческих и производственных процессов предприятия. Проведены следующие работы:

1) определен вектор целей управления службы по ИТ (рисунок 1), проведено каскадирование целей службы на уровни подразделений (Управление 1, Управление 2); по результатам экспертных оценок каждому показателю присвоен вес, исходя из важности и приоритетности решаемой задачи. Сумма коэффициентов веса каждого подразделения составляет 1;

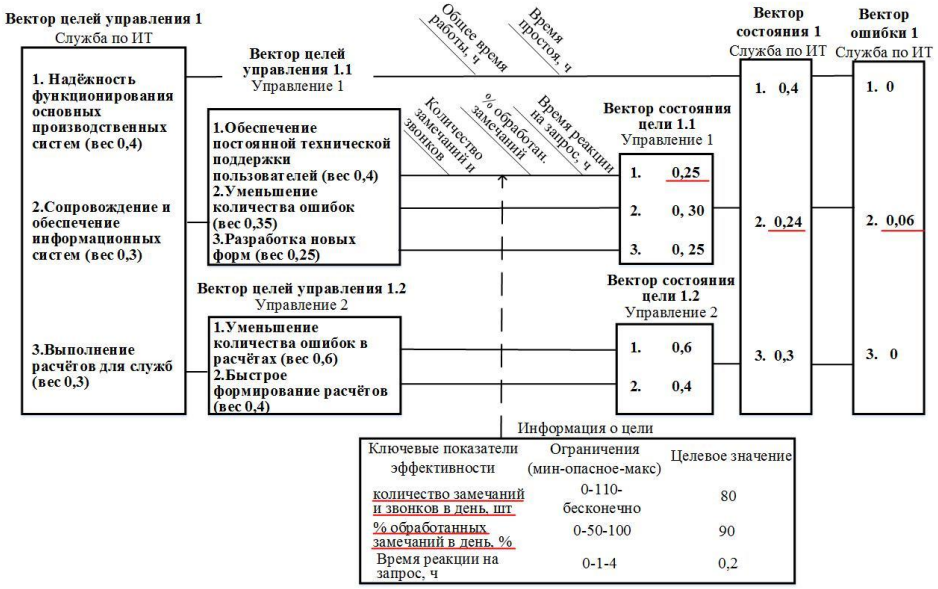


Рис. 1– Вектор целей управления службы по ИТ

2) предложен набор КПЭ цели «Обеспечение постоянной технической поддержки пользователей». Данная цель является приоритетной среди показателей Управления 1 и имеет большее влияние на общую оценку работы подразделения;

3) сформированы вектора состояния по Управлению 1, Управлению 2, на основе которых рассчитан вектор состояния службы по ИТ, проведена оценка отклонений полученных значений от цели - вектор ошибки;

4) на базе АСУ разработан модуль сбора данных по КПЭ работников технической поддержки и тестовая база данных, спроектированы экранные формы для сбора данных по другим целям вектора управления.

Анализ показателей полученных из АСУ статистических данных ежедневной работы 4 сотрудников технической поддержки за месяц выявил отставание КПЭ от целевого значения, а именно увеличенное количество замечаний и звонков и снижение процента обработанных замечаний. Отставание показателей цели «Обеспечение постоянной технической поддержки пользователей» негативно отразилось на формировании вектора состояния 1.1 Управления 1. Что привело к снижению показателя веса цели 2 в векторе состояния 1 службы по ИТ.

По результатам анализа вектора ошибки службы по ИТ выявлены отстающие показатели, определены причины отставания и приняты необходимые управленческие решения для организации более эффективной работы подразделения, а именно: проведение с работниками технической поддержки инструктажа по распределению возникающих вопросов, формированию ответов; выпуск/обновление инструкций для пользователей; увеличение штата технической поддержки, в связи с увеличением количества пользователей ИС.

Результаты изменения показателей после принятия управленческих решений и реализации первых двух составляющих показали положительную динамику в работе подразделения, а именно обеспечили снижение количества замечаний и звонков, увеличение процента обработанных замечаний, уменьшение времени реакции на запрос. Что благоприятно отразилось на деятельности, как технической поддержки, так и всей службы по ИТ. Опытная эксплуатация модуля АСУ, спроектированного на основе интеграции предложенных методик, дало положительные результаты. Дальнейшее продолжение работ направлено на проработку математического аппарата представленной методики, формирование единого информационного пространства по сбору и обработке информации и визуализацию предложенных механизмов.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1) повышение эффективности планирования деятельности подразделения путем регулирования целевых значений КПЭ и распределения приоритетов при формировании вектора целей управления;

2) сокращение управленческого персонала за счет снижения влияния человеческого фактора при принятии управленческих решений;

3) наблюдение и анализ результатов деятельности в режиме реального времени с целью оптимизации и повышения эффективности;

4) повседневная работа подразделений увязывается со стратегическими целями организации, стимулируя своевременные действия.

Полученные результаты могут быть использованы не только на предприятиях машиностроительной отрасли, но и смежных отраслей, так как представленные интеграционные решения по организации и автоматизации деятельности являются универсальными для применения.

Список литературы

1. *Вебер Ю., Гельдель Х., Шеффер У.* Организация стратегического и оперативного управления на предприятии // Проблемы теории и практики управления.– 1998.– №2.– С. 105–110.

2. *Парментер Д.* Ключевые показатели эффективности. Разработка, внедрение и применение решающих показателей/ Д. Парментер / [Пер. с англ. А. Платонова].– М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2008. – 288 с.: ил.

3. Достаточно общая теория управления. Постановочные материалы учебного курса факультета прикладной математики – процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета (1997-2005 гг.).– 2-е изд.– М.: Концептуал, 2012.– 416 с.

4. *Гагаринский А.В., Горбунова Ю.Н.* Управление производительностью труда промышленного предприятия // Вестник Самарского государственного университета.– 2013.– №7 (108).– С. 111–116.

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

05.11.07

И.И. Батыршин, О.Г. Морозов д.т.н., А.А. Иванов, А.Ж. Сахабутдинов к.ф.-м.н., А.А. Тяжелова

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

СПЕКТРАЛЬНО-ЧАСТОТНОЕ РАЗНЕСЕНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАДИОФОТОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ МИКРОВОЛНОВЫХ СИГНАЛОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-60-63

Представлены новые подходы к измерению мгновенной частоты микроволновых сигналов, основанные на преобразовании «частота-амплитуда» в классической волоконной брэгговской решетке с гауссовым контуром и в лоренцевском контуре усиления вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна в одномодомовом оптическом волокне. Подходы основаны на спектрально-частотном разнесении составляющих измеряемой микроволновой частоты перед процедурой измерительного преобразования. В первом случае используется метод аддитивного частотного разведения несущей, использование которого позволяет до трех раз повысить точность измерения «низких» микроволновых частот (0,4-4) ГГц. Во втором случае используется метод предварительного частотного расщепления компонент измеряемой частоты, использование которого позволяет до трех раз повысить отношение сигнал/шум измерения «высоких» микроволновых частот (4-10) ГГц, а относительная погрешность измерения мгновенной частоты может составить 10^{-4}.

Ключевые слова: *мгновенная частота микроволнового сигнала, радиофотонный измеритель, преобразование «частота-амплитуда», метод аддитивного частотного разведения, метод предварительного частотного расщепления*

Введение. Современные структурные решения радиофотонных систем (РФС) измерения мгновенной частоты микроволновых сигналов (ИМЧМС), основанные на преобразовании «частота-амплитуда», используют волоконные брэгговские решетки (ВБР). Это позволяет применять для регистрации прямое фотодетектирование с помощью низкочастотного фильтра и значительно снизить стоимость РФС в целом [1]. Основными метрологическими недостатками РФС ИМЧМС с ВРБ является монотонность характеристики преобразования в области ее центральной длины волны, что уменьшает точность преобразования на «низких» частотах 0,4-4 ГГц до ±200 МГц.

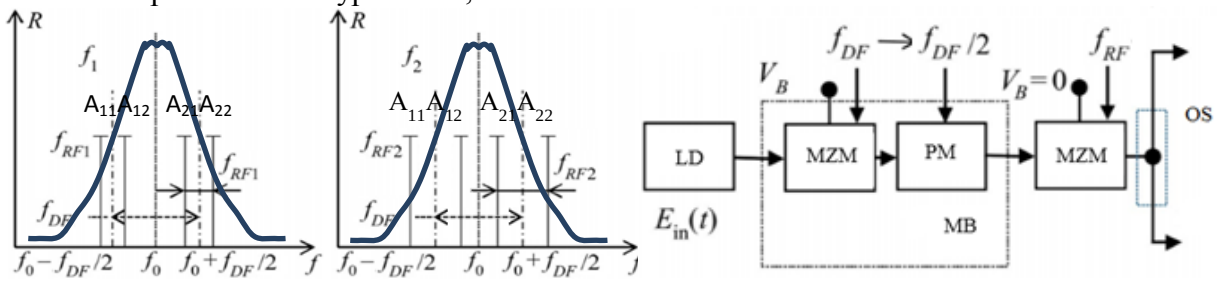
Широкое применение эффекта вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) в области сенсорных систем и бриллюэновской радиофотоники привело к появлению новых средств ИМЧМС. Они основаны на принципах сканирования всего исследуемого диапазона частот контурами усиления/поглощения ВРМБ [2]. Одним из основных преимуществ этого метода является возможность ИМЧМС одновременно нескольких различных источников с высоким разрешением, поскольку ширина контура усиления/поглощения ВРМБ достигает 20 МГц. Основным недостатком таких систем является малое отношение сигнал/шум (ОСШ) измерений в силу значительного влияния шумов фотоприемника при детектировании усиленных контуром измеряемых микроволновых частот.

Исходя из указанных недостатков обоих методов, была поставлена задача уменьшения погрешности (повышения точности и увеличения ОСШ) ИМЧМС в РФС на основе измерительного преобразования «частота-амплитуда» в контурах ВБР и усиления/поглощения ВРМБ, используя спектрально-частотное разнесение составляющих измеряемой частоты в зону максимальной линейности контура ВБР и минимальных шумов фотоприемника, регистрирующего сигнал усиления ВРМБ. Данная задача является обратной задачам двухчастотного зондирования неизвестных контуров ВБР и ВРМБ [3-5], основанного на принципах радиофотоники, опубликованных в [6-8] и реализованных в различных способах ИМЧМС [9-10] и других системах мониторинга [11-14].

Метод аддитивного частотного разведения несущей. Предварительно несущая преобразуется в двухчастотное излучение, а затем модулируется измеряемой частотой. Таким образом, частотные составляющие микроволновых сигналов аддитивно разводятся в электрооптическом модуляторе Маха-Цендера на частотные составляющие несущей, разностная частота между которыми равна полуширине контура решетки на уровне 0,5. Использование указанных операций позволяет выполнять измерения мгновенной частоты с высоким разрешением и точностью в области «низких» частот (0,4-4 ГГц) на максимально линейном участке склонов ВБР. Предложенный метод характеризуется более простой реализацией и температурной стабильностью по сравнению с методами, использующими решетки Брэгга со специальными спектральными контурами: линейным треугольным или с фазовым π-сдвигом, которые также применяются для устранения малой крутизны преобразовании «частота-амплитуда» и монотонности спектрального контура решетки в указанной области частот.

Распределение гармоник для двух различных по частоте сигналов, подлежащих измерению, f_{RF1} (рис. 1,*а*) и f_{RF2} (рис. 1,*б*), аддитивно разнесенных по частоте на f_{DF}, и структурная схема передающей части РФС ИМЧМС (рис. 1,*в*) дают полное представление о реализации метода.

Измерение мгновенной частоты осуществляется так же, как в [9-10], на разностной частоте f_{RFi} путем регистрации огибающей амплитуд разнесенных компонент в левой и правой половинах ВРБ. Однако для работы в этом случае необходимо использовать широкополосные фотоприемники с соответствующей $f_{RF\max}$ полосой, подключенные к OS, через полосовые фильтры с равномерной АЧХ и шириной полосы частот, равной половине полной ширины ВРБ по уровню 0,1.



а *б* *в*

Рис. 1 – Метод ИМЧМС с аддитивным частотным разведением:

LD – лазерный диод; MZM – модулятор Маха-Цендера; PM – фазовый модулятор; MB – блок модуляторов для амплитудно-фазового преобразования и аддитивного частотного смещения; OS – разветвитель

Амплитуда огибающей левой пары сигналов на разностной частоте определяется как:

$$U_{P1} = \sqrt{A_{11\,OUT}^2 + A_{12\,OUT}^2 + 2A_{11\,OUT}A_{12\,OUT}\cos[(\varphi_{12\,OUT} - \varphi_{11\,OUT})]}\,, \quad (1)$$

а амплитуда правой на этой же разностной частоте, как:

$$U_{P2} = \sqrt{A_{21\,OUT}^2 + A_{22\,OUT}^2 + 2A_{21\,OUT}A_{22\,OUT}\cos[(\varphi_{22\,OUT} - \varphi_{21\,OUT})]}. \quad (2)$$

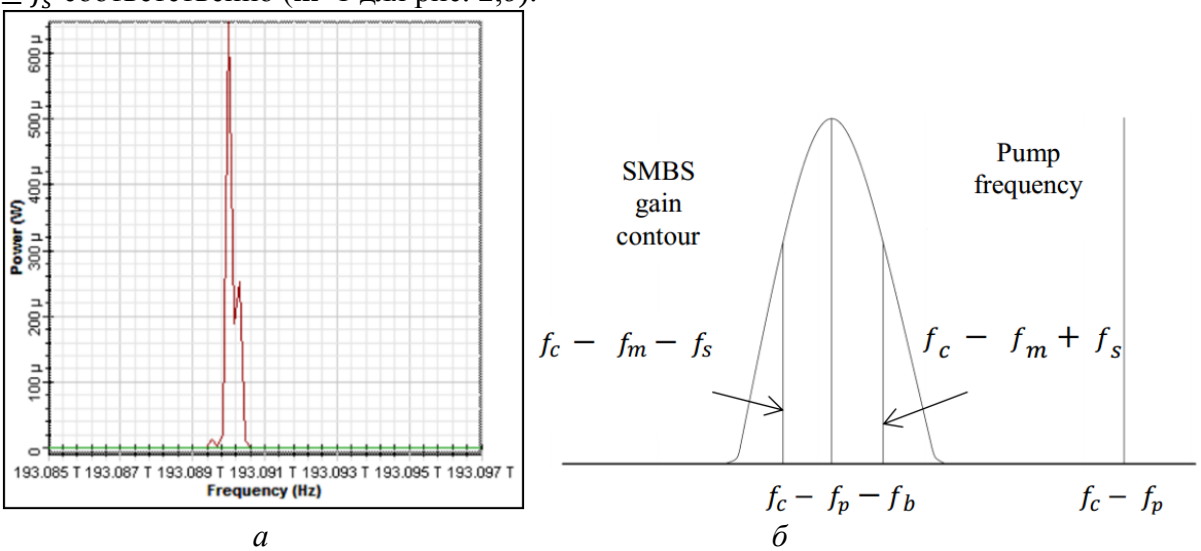
Величина, связывающая измеренные амплитуды и параметр разностной частоты, определяется как сумма (1) и (2)

$$f \to \Delta U = (U_{P1} + U_{P2})/2. \quad (3)$$

Таким образом, рассмотренные принципы могут быть использованы в качестве основы для нового дизайна РФС ИМЧМС с высоким разрешением, точностью и линейностью измерительных характеристик, особенно для микроволновых сигналов «низких» частот, что было подтверждено экспериментально в лабораториях микроволновой и волоконно-оптической метрологии НИИ ПРЭФЖС КНИТУ-КАИ. Абсолютная погрешность в области «низких» частот составила ± 40 МГц, в области высоких частот ± 120 МГц.

Метод предварительного частотного расщепления. Предварительно несущая преобразуется в двухчастотное излучение, а затем модулируется измеряемой частотой. В отличие от предыдущего метода частота расщепления составляет половину ширины контура усиления ВРМБ (от 10 до 60 МГц) и значительно меньше измеряемой частоты, что позволяет применять этот метод для всего измеряемого диапазона микроволн.

При сканировании контура усиления ВРМБ происходит изменение амплитуд частотных составляющих предварительно расщепленного сигнала измеряемой частоты в зависимости от ее относительного положения к центральной частоте контура (рис. 2,а). Когда центральная частота контура равна частоте измерения, амплитуды компонент расщепления равны. Двухчастотное излучение, усиленное в контуре и прошедшее через волокно, принимается фотоприемником. В этой ситуации измеряемая частота f_m соответствует центральной частоте контура усиления ВРМБ $f_c - f_p - f_b$ и регистрируется по амплитуде и коэффициенту амплитудной модуляции частоты биений огибающей двух компонент $f_c \pm f_m \pm f_s$ соответственно (m=1 для рис. 2,*б*).



а *б*

Рис. 2 – Взаимодействие контура усиления ВРМБ с предварительно расщепленным на две составляющие сигналом измеряемой частоты в случае ее неравенства (а) и равенства (б) центральной частоте контура

Реализация указанного метода может быть осуществлена на установке, приведенной на рис. 1,*в*. Процедура определения характеристик может быть осуществлена по любому из уравнений (1) или (2). Разностная частота расщепления лежит в области минимальных шумов фотоприемника, уровень которых в 3-6 раз меньше, чем в области «постоянного тока». Таким образом, относительная погрешность измерения центральной частоты может составить 10^{-4} и дополнительно определяется шириной линии излучения лазера, а также точностью поддержки частоты модуляции, накачки и расщепления.

Заключение. Таким образом, нами показано, что использование методов спектрально-частотного разнесения может найти широкое применение для построения радиофотонных систем измерения мгновенной частоты микроволновых сигналов с повышенной точностью, например, для программно-определяемых систем связи гражданского назначения, а также радиолокационных и других систем оборонного значения. Спектральное разрешение составляет единицы МГц по сравнению с достигнутыми значениями в десятки и сотни МГц [1, 2].

Работа выполнена при поддержке МОН РФ в рамках госзадания на выполнение НИР в КНИТУ-КАИ на 2017-2019 годы (программа «Асимметрия», задание 8.6872.2017/БЧ).

Список литературы

1. *Li Z., et al.* Photonic instantaneous measurement of microwave frequency using fiber Bragg grating // Opt. Commun. 2010. V. 283. P. 396-399.
2. *Zheng S., Ge S., Zhang X.* High-resolution multiple microwave frequency measurement based on stimulated Brillouin scattering // IEEE Photon. Technol. Lett. 2012. V. 24. № 13. P. 1115–1117.
3. *Сахабутдинов А.Ж., Нуреев И.И., Морозов О.Г.* Уточнение положения центральной длины волны ВБР в условиях плохого соотношения сигнал–шум // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18, №3–2. С. 98–102.
4. *Касимова Д.И. и др.* Оценка возможностей применения волоконных решеток Брэгга с гауссовым профилем отражения в качестве датчика температуры // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 2 (18). С. 73-81.
5. *Морозов О.Г., Морозов Г.А., Талипов А.А., Куприянов В.Г.* Определение характеристик спектра усиления Мандельштама – Бриллюэна с помощью двухчастотного зондирующего излучения // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2012. Т. 15. № 3. С. 95-100.
6. *Талипов А.А. и др.* Метод формирования двухчастотного излучения для синтеза солитонов и применения спектрально-эффективной модуляции RZ и CSRZ форматов в оптических сетях доступа // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2012. № 2 (16). С. 3-12.
7. *Севастьянов А.А. и др.* Формирование многочастотного излучения в двухпортовом модуляторе Маха-Цендера // Научно–технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 232–236.
8. *Айбатов Д.Л., Морозов О.Г., Садеев Т.С.* Преобразование спектра оптического излучения в двухканальном модуляторе Маха-Цендера и ROF-фильтр на его основе // Нелинейный мир. 2010. Т. 8. № 5. С. 302-309.
9. *Морозов О.Г. и др.* Измерение мгновенной частоты с помощью двухчастотного зондирования // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 146-149.
10. *Морозов О.Г. и др.* Измерение мгновенной частоты СВЧ-радиосигналов в оптическом диапазоне на основе преобразования «частота-амплитуда» в волоконной решётке брэгга с фазовым π-сдвигом // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 3 (19). С. 30-41.
11. *Морозов Г.А., Морозов О.Г., Насыбуллин А.Р., Самигуллин Р.Р.* Микроволновая обработка термореактивных и термопластичных полимеров // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2011. Т. 14. № 3. С. 114-121.
12. *Морозов Г.А. и др.* Резонансные методы мониторинга технологических процессов отверждения полимеров в функционально адаптивных СВЧ-реакторах // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1-2. С. 568-572.
13. *Куприянов В.Г. и др.* Волоконно-оптические технологии в распределенных системах экологического мониторинга // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 4-4. С. 1087-1091.
14. *Ильин Г.И., Морозов О.Г., Польский Ю.Е.* ЛЧМ-лидар с преобразованием частоты // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. № 12. С. 1871.

05.11.00

Д.И. Касимова, О.Г. Морозов д.т.н., В.Д. Андреев,
А.Ж. Сахабутдинов к.ф.-м.н., И.И. Нуреев д.т.н.

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

РАДИОФОТОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО КАНАЛА СВЯЗИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПЕКТРА ОТРАЖЕНИЯ ВСТРОЕННОГО БРЭГГОВСКОГО ФИЛЬТРА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-64-67

Представлены новые подходы к измерению хроматической дисперсии высокоскоростного канала связи, основанные на анализе спектра отражения брэгговского фильтра, установленного в схеме измерения отношения мощностей радиосигнала тактовой частоты после прохождения фильтра и без него. Подходы основаны на предварительной амплитудной модуляции оптической несущей и частоты тактового радиосигнала. В первом случае устраняется влияние спектрального сдвига фильтра относительно несущей, что позволяет получить выигрыш до 3 дБ (10%) по точности измерений. Во втором случае достигается выигрыш по отношению сигнал/шум измерений до 10-13 дБ, что позволяет проводить измерения хроматической дисперсии при отношении сигнал/шум 3-5 дБ. Штраф за использование дополнительных частот составляет до 1 дБ.

Ключевые слова: *хроматическая дисперсия, радиосигнал тактовой частоты, метод отношения мощностей, спектр отражения брэгговского фильтра, предварительная амплитудная модуляция, улучшение метрологических характеристик*

Введение. Хроматическая дисперсия (ХД) рассматривается как одна из основных причин, ограничивающих расстояние передачи в высокоскоростном волоконно-оптическом канале связи. Она может изменяться как в случае реконфигурации канала, так и изменения параметров окружающей среды. Измерение ХД в реальном масштабе времени привлекает интересы многих исследователей, которые разработали множество методов для ее мониторинга: пилот-сигнала, глаз-диаграммы, асинхронной выборки, радиосигнала тактовой частоты и т.д. [1, 2].

Метод радиосигнала тактовой частоты (РТЧ), выбранный нами как самый перспективный, позволяет контролировать ХД в высокоскоростных каналах связи, использующие как RZ, так и NRZ форматы амплитудной модуляции и фазовой коммутации. Основная погрешность измерений определяется уровнем вариации мощности лазера и поляризационно-модовой дисперсии (ПМД). Последняя успешная реализация метода РТЧ, с использованием встроенного брэгговского фильтра и вычисления отношения мощностей РТЧ в отфильтрованной и нефильтрованной ветвях канала мониторинга, позволила достичь измерения ХД в диапазоне от 0 до 200 пм/нс и повысить их чувствительность до 0,12 дБ/(пс/нм) [2].

Применение анализа ХД по отношению мощностей РТЧ позволило избавиться от указанных выше погрешностей измерений. При этом сильное влияние на его результаты стали оказывать нестабильность положения центральной длины волны волоконно-брэгговской решетки (ВБР) – фильтра, вследствие изменения параметров окружающей среды, и шумовые характеристики канала связи. При динамическом диапазоне измерений ХД в 30 дБ, погрешность от нестабильности центральной длины волны ВБР составляет ±1,5

дБ при изменении температуры на ±1 °С. В [2] также показано, что схема мониторинга становится неработоспособной при отношении сигнал/шум измерений меньше 15 дБ.

В настоящей статье нами предложен радиофотонный метод контроля ХД для высокоскоростного канала связи на основе анализа спектра отражения встроенного брэгговского фильтра. За прототип метода взят метод, описанный в [2], для сигналов NRZ с дифференциальной 8-разрядной (D8PSK) и квадратурной фазовой манипуляции (DQPSK). В последовательность операций метода включен анализ отраженного от ВБР сигнала оптической несущей, которая на стадии формирования данных промодулирована по амплитуде с частотой $f_{CL}/100$, где f_{CL} – частота тактового радиосигнала. Наличие боковых составляющих позволяет зондировать положение ВБР, настроенной на оптическую несущую, и вырабатывать сигнал рассогласования для ее подстройки по аналогии с радиофотонными методами интеррогации ВБР, представленных нами в [3-6]. Кроме того, в [7-8] показана возможность повышения отношения сигнал/шум измерений при обработке боковых составляющих по огибающей частоты их биений.

Структурная схема экспериментальной установки для измерения ХД. Структурная схема экспериментальной установки для измерения ХД представлена на рис. 1**.**

Непрерывный одномодовый лазер SM CW LD запускается в блок модуляторов для формирования информации, передаваемой по высокоскоростному каналу связи (Tx – Rx). Модуляторы управляются РТЧ с частотой 19 Гбит/с (RF CL) через генератор псевдослучайных битовых последовательностей PRBS. Сигнал NRZ-DQPSK с частотой 38 Гбит/с формируется синфазным/квадратурным (IQ) модулятором, а сигнал NRZ-D8PSK с частотой 57 Гбит/с формируется на выходе фазового модулятора (PM). Сгенерированный сигнал поступает в канал связи FOCL с ХД, которая может изменяться в нем в диапазоне 200 пс/нм.

В одной из ветвей канала мониторинга CLx установлена ВБР FBG с полосой пропускания 0,06 нм и отражением 20 дБ, которая центрируется на длину волны несущей.

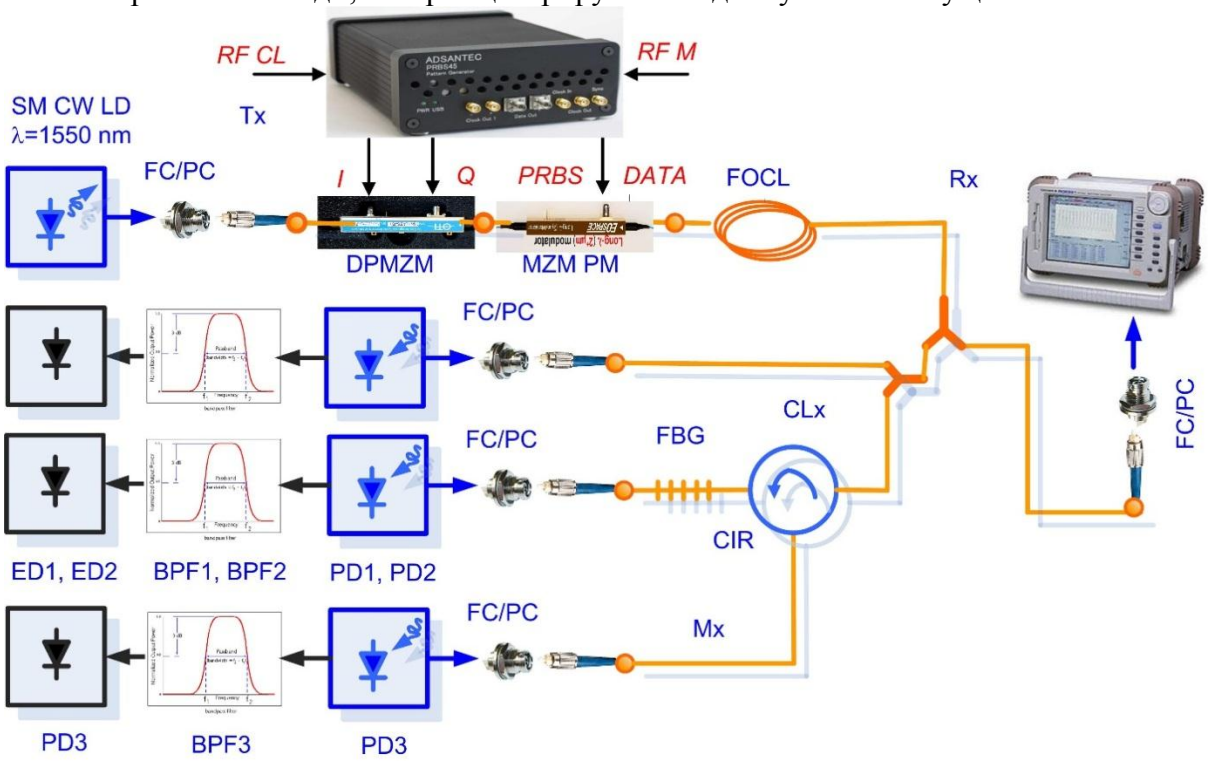


Рис. 1 – Структурная схема установки для измерения ХД

Другая ветвь канала мониторинга CLx замыкается на фотодетектор PD1 с полосой 40 ГГц. Электрический полосовой фильтр BPF1 с полосой пропускания 500 МГц и центральной частотой 19 ГГц, служит для селекции РТЧ и дальнейшего измерения его мощности на электронном детекторе ED1. Характеристика отношения мощностей РТЧ вычисляется по его отношению к сигналу ED2.

Введенный нами канал мониторинга несущей Mx содержит узкополосный фотоприемник 1 ГГц PD3, фильтр настроенный на частоту $2 \times f_{CL}/100$=380 МГц с полосой пропускания 10 МГц. В этом случае используется двухчастотное зондирование отраженного от FBG спектра. При использовании трех фильтров на частоты 0, 190 (RF M) и 380 МГц может быть реализовано трехчастотное зондирование. Процедура двухчастотного зондирования описана в [3-6]. Процедура трехчастотного зондирования относится к процедурам in-line мониторинга [9], а расположение частотных составляющих для анализа показано на рис. 2. Вычисленные по процедуре трехчастотного зондирования характеристики зависимости относительного уровня сигнала от положения центральной частоты, показаны на рис. 3. По знаку средней составляющей на частоте 190 МГц можно определить величину и направление смещения FBG.

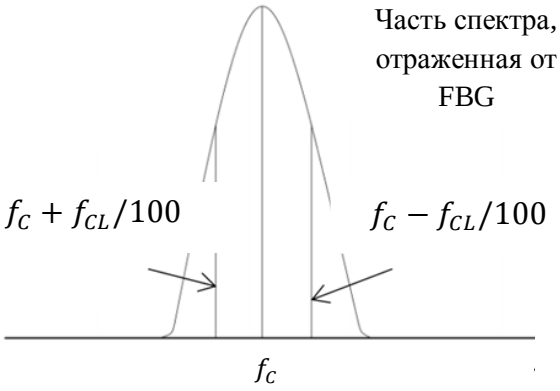


Рис. 2 – Зондирование FBG

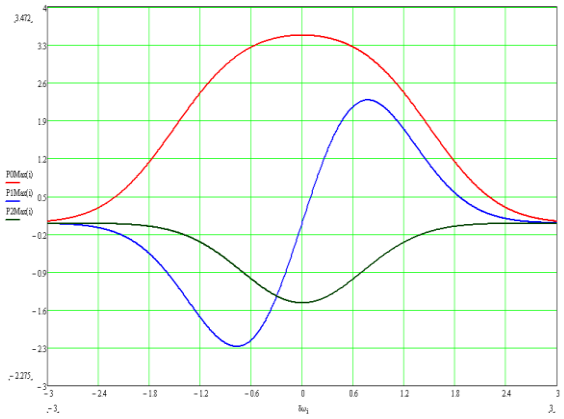


Рис. 3 – Характеристика изменения уровня сигнала для гармоник на частотах 0 (верх), 190 (середина) и 380 (низ) МГц

Таким образом учет положения FBG относительно несущей позволит снизить погрешность измерения ХД на 10% (3 дБ). При этом штраф за использование боковых составляющих на частоте 190 МГц при in-line мониторинге составит 0,5 дБ [9].

Методика повышения отношения сигнал/шум при измерении ХД на РТЧ. Процедура мониторинга несущей Mx может быть реализована для мониторинга РТЧ в структуре первой ветви мониторинга CLx. В этом случае она содержит два узкополосных фотоприемника полосой 1 ГГц и фильтры, настроенные на частоту 190 и 380 МГц с полосой пропускания 10 МГц. Процедура такого анализа относится к процедурам out-line мониторинга [9], а расположение частотных составляющих на частоте 190 МГц от частоты РТЧ, что позволяет говорить об идентичных для всех трех составляющих параметрах ХД и соответствующем одинаковым изменении их амплитуд при ее увеличении или уменьшении.

Не вдаваясь в подробности физической природы явлений, уровень основных шумов фотоприемников выше уровня фоновых шумов рассеяния в волокне и элементах установки, и определяет возможность детектирования принимаемого сигнала. Выигрыш в улучшении отношения сигнал/шум по сравнению с одночастотными измерениями на РТЧ определяется следующим выражением:

$$G = \int_{f_{CL}+\Delta f_{CL}}^{f_{CL}-\Delta f_{CL}} S(f)df \Bigg/ \left[\int_{f_{CL}/100+\Delta f_{CL/100}}^{f_{CL}/100-\Delta f_{CL/100}} S(f)df + \int_{2f_{CL}/100+\Delta f_{CL/100}}^{2f_{CL}/100-\Delta f_{CL/100}} S(f)df \right], \quad (1)$$

где $S(f)$ – спектральная плотность шумов приемника, Δf_{CL} – половина полосы пропускания фильтров BPF1, BPF2 (250 МГц), настроенных на частоту 19 ГГц, $\Delta f_{CL/100}$ – половина полосы частот фильтров, аналогичных BPF3 (5 МГц), настроенных на частоты 190 и 380 МГц. Выигрыш определяется различной полосой пропускания фильтров, природой и уровнем шумов в различных частотных областях $S(f)$ для различных типов фотоприемников (с полосами пропускания соответственно 40 и 1 ГГц). В обоих случаях присутствуют только тепловые и дробовые шумы. Учитывая приведенные данные, выигрыш в отношении

сигнал/шум может составить 10-20 раз по мощности или 10-13 дБ.

Таким образом, при использовании out-line мониторинга ХД с предварительной амплитудной модуляцией РТЧ, выигрыш по отношению сигнал/шум по сравнению с мониторингом по одной частоте РТЧ может составить 10-13 дБ, с учетом чего анализ ХД по РТЧ может проводится, начиная с классического отношения сигнал/шум в 3-5 дБ. При этом штраф за использование боковых составляющих на частоте 190 МГц при out-line мониторинге составит 0,25 дБ [9].

Заключение. Мы продемонстрировали радиофотонный метод мониторинга ХД высокоскоростного канала связи, основанный на анализе спектра отражения встроенного брэгговского фильтра при предварительной амплитудной модуляции оптической несущей и РТЧ. Результаты моделирования показывают, что предлагаемый метод in-line мониторинга позволяет по знаку составляющей на боковой частоте определить величину и направление смещения FBG. Таким образом учет положения FBG относительно несущей позволит снизить погрешность измерения ХД на 10% (3 дБ). При использовании out-line мониторинга ХД с предварительной амплитудной модуляцией РТЧ, выигрыш по отношению сигнал/шум по сравнению с мониторингом по одной частоте РТЧ может составить 10-13 дБ, с учетом чего анализ ХД по РТЧ может проводится, начиная с классического отношения сигнал/шум в 3-5 дБ. При этом штраф за использование боковых составляющих в случае in-line и out-line мониторинга составит до 1 дБ.

Работа выполнена при поддержке МОН РФ в рамках госзадания на выполнение НИР в КНИТУ-КАИ на 2017-2019 годы (программа «Асимметрия», задание 8.6872.2017/БЧ).

Список литературы

1. *Jing Yang et al.* CD-insensitive PMD monitoring based on RF power measurement // Opt. express. 2011. Vol. 19. No. 2. P. 1354-1359.
2. *Jing Yang et al.* PMD insensitive CD monitoring based on RF power ratio measurement utilizing FBG filter // Photonics Global Conference (PGC). 2010. P. 1-5.
3. *Касимова Д.И. и др.* Оценка возможностей применения волоконных решеток Брэгга с гауссовым профилем отражения в качестве датчика температуры // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 2 (18). С. 73-81.
4. *Морозов О.Г., Морозов Г.А., Талипов А.А., Куприянов В.Г.* Определение характеристик спектра усиления Мандельштама – Бриллюэна с помощью двухчастотного зондирующего излучения // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2012. Т. 15. № 3. С. 95-100.
5. *Морозов О.Г. и др.* Измерение мгновенной частоты с помощью двухчастотного зондирования // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 146-149.
6. *Айбатов Д.Л., Морозов О.Г., Садеев Т.С.* Преобразование спектра оптического излучения в двухканальном модуляторе Маха-Цендера и ROF-фильтр на его основе // Нелинейный мир. 2010. Т. 8. № 5. С. 302-309.
7. *Сахабутдинов А.Ж., Нуреев И.И., Морозов О.Г.* Уточнение положения центральной длины волны ВБР в условиях плохого соотношения сигнал–шум // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18, №3–2. С. 98–102.
8. *Сахабутдинов А.Ж. и др.* Процедура решения задач калибровки совмещенных датчиков давления и температуры // Нелинейный мир. 2015. Т. 13. № 8. С. 32-38.
9. *Dimmick T.E., G. Rossi, Blumenthal D.J.* Optical dispersion monitoring technique using double sideband subcarriers // IEEE Photon. Technol. Lett. 2000. Vol. 12. P. 900–902.

05.11.00

В.В. Киселев к.т.н., В.Н. Осколков к.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра «Конструирование и технологии в электротехнике»
Пермь, ktei@pstu.ru

КОМБИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА СИСТЕМЫ КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-68-71

Предложена универсальная модель расчета теплообмена и анализа тепловых режимов РЭС. Она объединяет такие модели как моделирование теплового режима конструктивно-функциональных модулей – системы дискретных элементов и моделирование теплового режима конструктивно функциональных модулей с высокой плотностью компоновки. Предлагаемая комбинированная модель сочетает свойства обеих моделей и пригодна также для изделий с несущими основаниями.

Ключевые слова: *радиоэлектронная аппаратура, тепловое моделирование, метод электротепловой аналогии, тепловые проводимости, температуры элементов.*

Одной из основных проблем создания высоконадежных радиоэлектронных средств (РЭС) является обеспечение нормальных тепловых режимов. Для решения этой проблемы в настоящее время разрабатываются математические методы и алгоритмы расчета и анализа тепловых режимов РЭС. В работах [1,2,] изложены методы расчета температурных полей радиоэлектронной аппаратуры, основанные на представлении РЭС различными моделями. Модели, описанные в данных статьях достаточно универсальны, одна они не позволяют адекватно описать теплообмен в таких конструкциях РЭС, как: печатные или гибридно-интегральные платы, шасси, монтажные рамы, другие несущие основания с размещенными на них ИЭТ, микросборками, микромодулями, другими. При моделировании теплообмена здесь необходимо учесть взаимные конструктивно-тепловые связи между элементами как за счет кондуктивной теплопередачи в объеме несущего основания, так и теплообмена с внешней средой.

В данной статье предлагается комбинированная модель, которая сочетает в себе свойства моделей, рассматриваемых в работах [1,2].

Расширим класс рассматриваемых устройств и, кроме перечисленных конструкций, отнесем сюда модули РЭС с плотной компоновкой. Представим обобщенную геометрическую модель таких устройств в виде системы дискретных элементов, размещенных на поверхности или в объеме несущего основания, имеющего форму параллелепипеда и квазиоднородную структуру и свойства [2]

Тепловая модель будет представлять собой модель с сосредоточенными параметрами, а при ее составлении воспользуемся методом электротепловой аналогии [3]. Уравнения для узлов тепловой схемы будут иметь вид:

для наружных элементов $\left(\forall k = \overline{1,K}\right)$:

$$P_k = \sum_{\substack{i=1 \\ i\neq k}}^{K} \sigma_{ki}^{H}\left(t_k - t_i\right) + \sigma_{kc}^{H}\left(t_k - t_c\right) + \sigma_{ok}\left(t_k - t_{ok}\right), \qquad (1)$$

$$\sigma_{ok}\left(t_k - t_{ok}\right) = \sigma_{kc}^{B}\left(t_{ok} - t_c\right) + \sum_{\substack{i=1 \\ i\neq k}}^{K} \sigma_{ki}^{B}\left(t_{ok} - t_{oi}\right) + \sum_{m=K+1}^{N} \sigma_{km}^{B}\left(t_{ok} - t_m\right); \qquad (2)$$

для внутренних элементов $\left(\forall m = \overline{K+1, N}\right)$:

$$P_m = \sum_{k=1}^{K} \sigma_{mk}^{B} \left(t_m - t_{ok}\right) + \sum_{\substack{j=K+1, \\ j \neq m}}^{N} \sigma_{mj}^{B} \left(t_m - t_j\right) + \sigma_{mc}^{B} \left(t_m - t_c\right). \qquad (3)$$

В уравнениях (1) – (3) и в тепловой схеме введены следующие обозначения $\left(\forall i = \overline{1, N}\right)$:

t_i – среднеповерхностная температура корпуса или внешней поверхности элемента; t_{oi} – среднеповерхностная температура несущего основания в месте теплового контакта с наружным элементом; P_i – мощность тепловыделений элемента; t_c – температура условной среды; σ_{oi} – проводимость теплового контакта: наружный элемент – основание; σ_{ic}^{H}, σ_{ik}^{H} $\left(k = \overline{1, K}\right)$ – тепловые проводимости (наружные) с открытых поверхностей элементов – к среде и взаимные; σ_{ic}^{B}, σ_{ij}^{B} $\left(j = \overline{1, N}\right)$ – эквивалентные проводимости (внутренние) между элементами и средой и взаимные через объем основания.

Для определения эквивалентных внутренних проводимостей необходимо решить задачу о температурном поле основания – параллелепипеда. Считаем, что параллелепипед обладает квазиоднородной структурой с анизотропными свойствами, содержит локальные внутренние и поверхностные источники теплоты. Внутренние источники имеют форму параллелепипеда, а поверхностные – прямоугольника с площадью, равной общей площади теплового контакта с наружным элементом.

Если принять допущение о независимости параметров теплообмена от температуры (линейная задача), то можно применить принцип суперпозиции температурных полей, наведенных каждым отдельным источником.

Таким образом, в качестве модели основания можно использовать модель для устройства с плотной компоновкой, приведенной в [2]. Однако, в случае поверхностного источника необходимо внести в математическую модель изменения, учитывающие отсутствие теплообмена в среду (α=0) в области U. Для этого в область U введем компенсационный источник тех же размеров, мощность которого равна тепловому потоку, отводимому в среду с этой области.

Суммарный среднеповерхностный перегрев источника:

$$\vartheta_{oi} = \sum_{j=1}^{N} F_{ji} P_{oj}^{'} = \sum_{j=1}^{N} F_{ji} \left(P_{oj} + \alpha_j S_j \vartheta_{oj}\right),$$

где $i = \overline{1, N}$; F_{ji} – тепловой коэффициент, характеризующий теплопередачу от j–го элемента к i–му; α_j– коэффициент теплоотдачи на грани, где расположен j – й источник.

После ряда преобразований получим выражения для определения σ_{ij}^{B}, σ_{ic}^{B}:

$$\sigma_{ij}^{B} = (-1)^{i+j+1} M_{ij} \Big/ D,$$

$$\sigma_{ic}^{B} = \left[\sum_{j=1}^{N} (-1)^{i+j+1} M_{ij} \left(\sum_{k=1}^{N} \alpha_k S_k F_{kj} - 1\right)\right] \Big/ D.$$

где D – главный определитель матрицы тепловых коэффициентов $[F_{ij}]$; M_{ij} – минор элемента матрицы $[F_{ij}]$.

Преобразуем теперь систему исходных уравнений относительно $t_i \left(\forall i = \overline{1, N}\right)$, которая в матричном выражении будет иметь вид:

$$\mathrm{A} \cdot \mathrm{T} = \mathrm{B}, \qquad (4)$$

где T = [t_i] – вектор неизвестных значений среднеповерхностных температур элементов; A = [a_{ij}] – матрица коэффициентов; B = [b_i] – столбец свободных членов.

Элементы матрицы А вычисляются по следующим зависимостямпри $i \neq j$ –

$$a_{ij} = C_i^B \sigma_{ij}^H + C_j^H \sigma_{ij}^B - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i,\, j}}^{N} \sigma_{lj}^H \sigma_{il}^B R_{ol},$$

при $i=j$ (диагональные члены) $$a_{ii} = \sigma_{ic} - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^{N} a_{il}.$$

Элементы столбца В: $$b_i = \sigma_{ic} t_c + C_i^B P_i - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^{N} \sigma_{il}^B R_{ol} P_l,$$

где $R_{ol} = \sigma_{oi}^{-1}$ – тепловое сопротивление контакта;

$$\sigma_{ic} = C_i^B \sigma_{ic}^H + \sigma_{ic}^B - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^{N} \sigma_{il}^B \sigma_{lc}^H R_{oc};$$

$$C_i^B = 1 + R_{oi} \sigma_{ic}^B + R_{oi} \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq i}}^{N} \sigma_{im}^B;$$

$$C_j^H = 1 + R_{oj} \sigma_{jc}^H + R_{oj} \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq j}}^{N} \sigma_{jm}^H \qquad \forall i, j = \overline{1, N}.$$

Система уравнений (4) позволяет получить математические модели теплообмена различных узлов и модулей РЭС.

1. Печатные узлы, гибридные интегральные узлы, микросборки. Если ИЭТ, другие навесные компоненты имеют небольшую высоту, то в системе уравнений (4) принимаем:

$$\sigma_{ij}^H = 0 \qquad \forall i, j = \overline{1, N}, \qquad i \neq j.$$

2. Модули РЭС с плотной компоновкой, нет наружных элементов.

Математическая модель получается после преобразования (4) при условии:

$$R_{oi} = 0, \quad \sigma_{ic}^H = 0, \quad \sigma_{ij}^H = 0 \qquad \forall i, j = \overline{1, N}, \quad i \neq j.$$

и будет иметь вид:

$$\left.\begin{array}{l} \left(\sum\limits_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \sigma_{ij}^B + \sigma_{ic}^B \right) t_i - \sum\limits_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \sigma_{ij}^B t_j = P_i + \sigma_{ic}^B t_c, \\ i = \overline{1, N} \end{array}\right\}.$$

3. Радиоэлектронные устройства – система дискретных элементов без основания.

После преобразования (4) при условии:

$$R_{oi} = 0, \quad \sigma_{ic}^B = 0, \quad \sigma_{ij}^B = 0 \qquad \forall i, j = \overline{1, N}, \quad i \neq j$$

получаем

$$\left.\begin{array}{l} \left(\sigma_{ic}^H + \sum\limits_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \sigma_{ij}^H \right) t_i - \sum\limits_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \sigma_{ij}^H t_j = P_i + \sigma_{ic}^H t_c, \\ i = \overline{1, N} \end{array}\right\}.$$

Для решения системы уравнений (4) можно использовать стандартные процедуры решения систем линейных алгебраических уравнений, а также применить метод итераций с целью учета нелинейности.

Список литературы

1. *Осколков В.Н.* О моделировании теплового режима конструктивно-функциональных модулей – системы дискретных элементов //Фундаментальные исследования. – 2014.-№ 9-11.-С.2408-2410.

2. *Киселев В.В., Ширяев Ю.Н., Осколков В.Н.* Моделирование теплового режима конструктивно функциональных модулей с высокой плотностью компоновки // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2012. – № 6 – С. 78 – 84.

3. Design and performance of a system for VLSI packaging thermal modeling and characterization / Z.J. Stasrak, J.L. Prince, B.J. Cooke, D.A. Shope // IEEE Trans. Compon. Hybrids. and Manuf. Technol. – 1987. – v. 12, N 4. – p. 628 – 636.

05.11.13

Д.В. Малых, П.Е. Денисенко, Р.И. Файзуллин

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ),
Институт радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий
Казань, drimun1993@mail.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-72-74

В работе представлены результаты расчета характеристик волоконных брэгговских решеток с фазовым сдвигом и простой метод их изготовления на одномодовом волокне с возможностью выбора центральной длины волны в широком диапазоне.

Ключевые слова: *волоконная брэгговская решетка (ВБР), фазовый π-сдвиг, матричный метод.*

Характеристики ВБР с фазовым π-сдвигом могут быть численно описаны комплексным методом, основанным на методах связанных мод и матриц передачи, которые известны как точные и эффективные методы численного моделирования. Характеристики ВБР описываются произведением матриц 2´2 каждого однородного элемента решетки, что позволяет в итоге получить полную матрицу передачи ВБР. ВБР разбивается на N однородных секций, для которых определяются коэффициенты отражения R_i и пропускания S_i как амплитуды распространяющихся вперед и назад мод после прохождения i-ой секции [1]:

$$\begin{matrix} R_i \\ S_i \end{matrix} = F_i\left(\begin{matrix} R_{i-1} \\ S_{i-1} \end{matrix}\right), \quad (1)$$

где матрица передачи каждой секции описывается выражением

$$F_{(i,\lambda)} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma_B(\lambda,i)\Delta z) - i * \frac{\sigma(\lambda,i)}{\gamma_B(\lambda,i)}\sinh(\gamma_B((\lambda,i)\Delta z) & -i\frac{k(\lambda,i)}{\gamma_B(\lambda,i)}sinh(\gamma_B(\lambda,i)\Delta z) \\ i\frac{k(\lambda,i)}{\gamma_B(\lambda,i)}sinh(\gamma_B(\lambda,i)\Delta z) & \cosh(\gamma_B(\lambda,i)\Delta z) + i * \frac{\sigma(\lambda,i)}{\gamma_B(\lambda,i)}\sinh(\gamma_B((\lambda,i)\Delta z) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Вычислим коэффициент передачи

$$T(\lambda) = \left(\left|F(\lambda)_{11} - \frac{F(\lambda)_{12}F(\lambda)_{21}}{F(\lambda)_{22}}\right|\right)^2, \quad (3)$$

Где: $k(\lambda,i) = \frac{\pi n\left(L\left(\frac{i}{N}-\frac{1}{2}\right)\right)\eta}{\lambda}$, – общий переменный коэффициент связи мод.

$\sigma(\lambda,i) = \frac{\pi n\left(L\left(\frac{i}{N}-\frac{1}{2}\right)\right)\eta}{\lambda} - \frac{\pi}{\lambda}$, – общий постоянный коэффициент связи мод.

$\Delta z = \frac{L}{N}$ –длина i -ой секции, N -количество секции, i=0…. N.

$\gamma_B(\lambda,i) = \sqrt{k^2 - \sigma(\lambda,i)^2}$ - Параметр γ_B.

Для обеспечения фазового π-сдвига введем матрицу T_φ между матрицами $F_{(i,\lambda)}$и $F_{(i+1,\lambda)}$:

$$T_\varphi = \begin{bmatrix} \exp(-\varphi i) & 0 \\ 0 & \exp(\varphi i) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Где φ – угол, на который сдвигается фаза.

После определения матриц для каждой секции можно записать:

$$F_\varphi(\lambda) = \prod_{i=0}^{\frac{N}{2}} F(\lambda,i)\begin{pmatrix} -\varphi i & 0 \\ 0 & \varphi i \end{pmatrix}\prod_{j=\frac{N}{2}+1}^{N} F(\lambda,i), \quad (5)$$

$$F_\varphi(\lambda) = F_1(\lambda,\varphi)\, T_\varphi\, F_2(\lambda,\varphi), \quad (6)$$

Исходя из вышеописанных формул получаем коэффициент передачи ВРБ с фазовым сдвигом:

$$T_\varphi(\lambda) = \left(\left|F_\varphi(\lambda)_{11} - \frac{F_\varphi(\lambda)_{12}F_\varphi(\lambda)_{21}}{F_\varphi(\lambda)_{22}}\right|\right)^2, \quad (7)$$

Используя данные [1], получим спектральные характеристики ВБР для двух значений модуляции коэффициента преломления, с фазовым сдвигом, представлены на рис.1

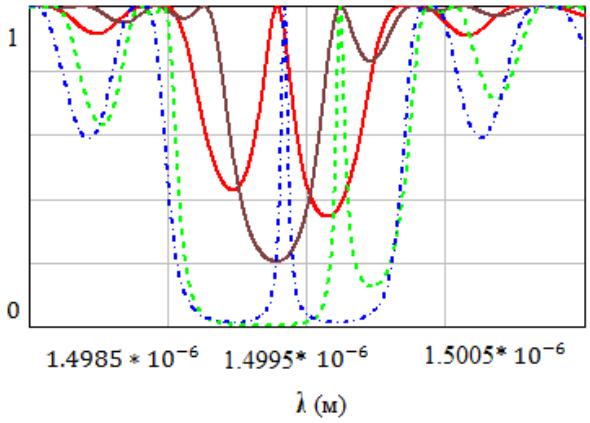


Рис. 1- Спектральная структура ВБР с фазовым π-сдвигом $\varphi = 45^o, \varphi = 90^o$
а) пунктирной линей модуляции коэффициента преломления 0.0005
б) сплошной линией модуляции коэффициента преломления 0.0002

На рис. 2 показана зависимость, полученной ширины окна прозрачности на полувысоте в зависимости от коэффициента модуляции [2].

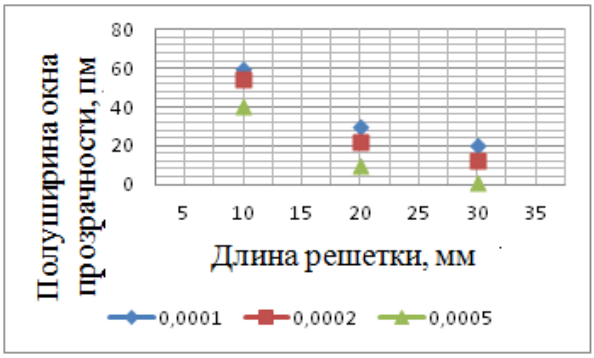


Рис. 2 - Зависимость ширины окна прозрачности решетки на полувысоте от ее длины и глубины коэффициента модуляции

Для определения временных задержек компонент отраженного спектра и значения дисперсии ВБР. Для этого необходимо знать фазовую характеристику ВБР, определяемую выражением:

$$P_\varphi(\lambda) = arctg\left(\frac{im(F_\varphi(\lambda))}{Re(F_\varphi(\lambda))}\right) \quad (8)$$

Графически зависимость фазового коэффициента отражения от длины волны в диапазоне (-π,π) представлена на рис. 3 [3].

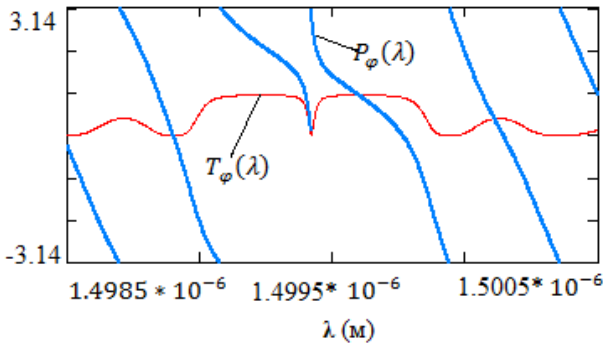


Рис. 3- $T_\varphi(\lambda)$-коэффициент отражения ВБР от длины волны,
$P_\varphi(\lambda)$-фаза коэффициента отражения от длины волны

В данной работе описывается простой метод изготовления высококачественных ВБР с фазовым сдвигом с различной центральной длиной волны решетки с использованием стандартных методов записи на оптическом волокне ВБР при последовательном двойном воздействия UV-лазера на волокно. Две стандартные ВБР записаны на одной и той же длине волны, так что они имеют пространственное перекрытие, эквивалентное одному периоду решетки. Эта процедура повышает локальный показатель преломления центрального пересечения двух ВБР, приводя к образованию фазового сдвига. Процесс изготовления не занимает много времени позволяет записать ВРБ на любой длине волны и позволяет изготовить высококачественные ВБР с фазовым сдвигом. В качестве установки для записи ВБР использовались аргоновый лазер "Инверсия" Ar–5.5–150 и интерферометр Ллойда. Для детектирования записанной ВБР использовались широкополосный источник излучения и оптический анализатор спектра [4].

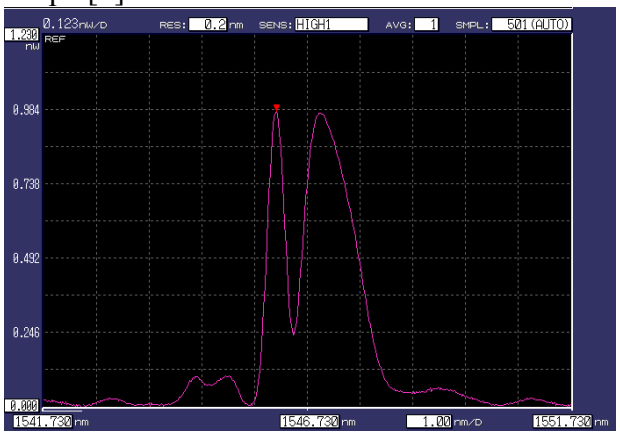


Рис. 4 – спектр ВБР сдвинутым по фазе

ВБР длиной 3 мм, была записана на одномодовом волокне с центральной длиной волны около 1546,7 нм с коэффициентом отражения 30%. После того как первая ВБР была записана, UV-лазер был заблокирован от попадания на оптическое волокно, после чего волокно с ВБР было сдвинуто относительно лазера менее чем на 3мм, после лазер снова был направлен на волокно, после чего вторая ВБР с той же центральной длиной волны была записана на тоже волокно, используя те же условия изготовления, что и раньше. Процесс изготовления останавливается после того, как центральный провал в спектральной характеристике решетки достигнет максимальной глубины, и когда пики с обеих сторон достигнут приблизительно одинаковых значений коэффициента отражения. На рис.4 показан спектр записанной ВБР. ВБР с фазовым сдвигом приблизительно вдвое превышает длину отдельных ВБР.

Результатом работы является решение актуальной научной задачи синтеза ВБР с фазовым сдвигом с возможностью изменения определенных характеристик в процессе записи. Был проведен математический анализ ВБР с фазовым сдвигом, а также реализован метод записи ВБР, который возможен с использованием аргонового лазера и интерферометрических схем записи. Данные ВБР могут найти применение в области волоконно-оптических сенсорный систем для измерения и контроля точных значений параметров физических полей.

Список литературы

1. *Куприянов В.Г.* Маломодовые методы зондирования волоконно-оптических датчиков на основе решеток Брэгга с фазовым π-сдвигом в системах охраны периметра: дис. канд. тех. наук. - К., 2013. - С. 106-108.

2. *Нуреев И.И.* Моделирование спектральных характеристик фазированных волоконных решеток Брэгга как датчиков сенсорных систем/ И.И. Нуреев // Современные проблемы науки и образования. - 2015. - № 1-1. - С. 350-350.

3. *Оввян А.П.* Расчет однородных и неоднородных брэгговских волоконных решеток / А.П. Оввян // Молодежный научно-технический вестник.-2012.-№6.

4. *Chehura, Edmon*. A simple method for fabricating phase-shifted fibre Bragg gratings with flexible choice of centre wavelength / Edmon Chehura, Stephen W. James, and Ralph P. Tatam / Proc. of SPIE. - 2009. - V. 7503. - P. 750379.

05.11.13

Р.И. Файзуллин, П.Е. Денисенко, Д.В. Малых

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)
Институт радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий
Казань, faj-renat@narod.ru

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДВУХЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВОЛОКОННОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-75-78

В работе представлены результаты дифференциального и интегрального анализа двухчастотного зондирования волоконной брэгговской решетки, и на его основе реализуется алгоритм определения параметров физических полей с оценкой критерия универсальности.

Ключевые слова: *Волоконная брэгговская решетка, волоконно оптический датчик, алгоритм, измерение.*

Описание спектральных характеристик волоконно оптических датчиков (ВОД) возможно по двум параметрам: центральная длина волны – характерно для ВОД при отсутствии возмущения, и рабочая длина волны – при изменении периода структуры, определяемой внешним возмущением.

Основной задачей мониторинга ВОД является определение сдвига спектральных характеристик по длине волны. Данная задача широко решается с применением анализаторов спектра. В статье рассматривается задача построения алгоритма обработки сигналов с волоконной брэгговской решетки (ВБР) и оценивается его универсальность.

В большинстве случаев преобразование разности амплитуд/знака фаз огибающей биений – температура, с применением анализаторов спектра нецелесообразен к применению.

Реализация измерения температуры и положения контура амплитудно-частотной характеристики ВБР, а также применимость способа для различных форм спектральных характеристик ВБР будет определять универсальность измерительной системы рис. 1.

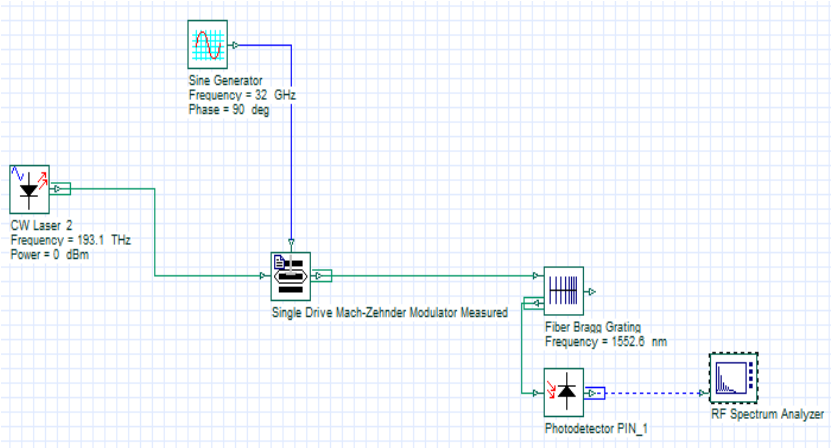


Рис. 1- Схема моделирования измерительной системы

Применяя анализ коэффициента модуляции при определении физического поля приложенного к ВОД, ставится задача решения неоднозначности определения параметров физических полей, что возможно при реализации способа определения знака разности фаз двухчастотного сигнала[2], который определяет направление степени возмущения физического поля, например для температуры: нагрев/охлаждение, для механического напряжения: растяжение/сужение.

С учетом соответствия частот и расстроек зондирующего сигнала, получили уравнения для зависимостей фаз составляющих выходного двухчастотного симметричного излучения от обобщенной расстройки, $\varphi_{1\text{вых}}(\delta_0)$ и $\varphi_{2\text{вых}}(\delta_0)$:

$$\varphi_{1\text{вых}}(\delta_0) = -\operatorname{arctg}\left(v_{\delta_0} + \Delta\delta/2\right),$$
$$\varphi_{2\text{вых}}(\delta_0) = -\operatorname{arctg}\left(v_{\delta_0} - \Delta\delta/2\right), \quad (1)$$

Результаты расчетов зависимости коэффициента разности фаз $\varphi_{\text{общ}}(\delta_0)$ при значениях расстройки $\Delta\delta = 2$ по выражению (1), представлены на рис. 2

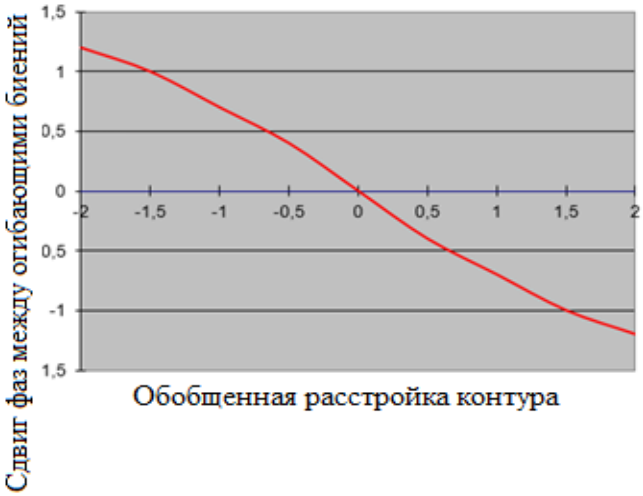


Рис. 2- Зависимость $\varphi_{\text{общ}}(\delta_0)$ при $\Delta\delta = 2$

Сформирована структура баз данных имеющие уникальные характеристики для каждого ВОД на основе ВБР:

Нулевая обобщенная расстройка огибающей контура совпадает со средней обобщенной расстройкой только в случае отсутствия климатического воздействия на ВБР или ВБР находится в состоянии равновесия. Состояние равновесия определяет степень климатического воздействия на ВБР в пределах атмосферных значений, таких как среднестатистическая комнатная температура – 25°С и среднестатистическое атмосферное давление 760 мм. рт. ст.

Необходимое разрешение измерений для разрабатываемого способа находится в диапазоне 0,67 °С. Требования к аналого-цифровым преобразователям определяются по минимально допустимой разрешающей способности параметров физических полей для промышленного применения.

С учетом вышесказанного, сформирован алгоритм расчета $f(\lambda)$ по показаниям измеряемой величины: разность амплитуд двухчастотного сигнала для спектральной характеристики ВБР известна и описывается функцией $f(\lambda)$, зависящей от длины волны λ. Центральная длина волны на пике спектральной характеристики определяет отсутствие разности амплитуд отраженного сигнала $\mathrm{A}_1 = \mathrm{A}_2 = f(\lambda_\mathrm{B})$. Для невозмущенного состояния ВБР нам известны величины амплитуд зондирующего сигнала для первой составляющей $\mathrm{A}_1 = f(\lambda_\mathrm{B} - \lambda\Delta)$ и второй составляющей $\mathrm{A}_2 = f(\lambda_\mathrm{B} + \lambda\Delta)$.

В случае воздействия возмущения на ВРБ, значения амплитуд отраженных сигналов будет отлична от исходного варианта: для первой составляющей $A_1' = f(\lambda_\mathrm{B} - \lambda\Delta)$ и второй составляющей $A_2' = f(\lambda_\mathrm{B} + \lambda\Delta)$ соответственно. При этом значения амплитуд будут отличаться. Профиль остается неизменным и испытывает только смещение вдоль волокна. Учитывая возможный уход частоты излучения передающего оптического модуля, корректировка измеренных значений будет производится по формулам:

$$A_1' = f((\lambda_{\text{ВБР}} - \lambda\Delta)k_{\text{ПОМ}}),\ A_2' = f((\lambda_{\text{ВБР}} + \lambda\Delta)k_{\text{ПОМ}}) \quad (2)$$

Произведение функции A_1', A_2' учитывает истинность длины волны излучения зондирующего сигнала, и при стабильной работе ПОМ коэффициент $k_{\text{ПОМ}} = 1$. Данное значение рассчитывается исходя из температурной зависимости рабочей среды лазерного диода.

Коэффициенты приравниваются к значениям напряжений с терморезистора. Для стабилизированного лазерного излучения, напряжение на терморезисторе равно 3 В., при этом коэффициент ухода длины волны равно 1. В этом случае отсутствует корректировка показаний измеренных амплитуд сигналов и данные поступают на дальнейшую обработку. Известно что общий вид сигнала с выхода фотодетектора определяется как:

$$S = (A_1' \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_1') + A_2' \cdot \sin(\omega_2 t + \varphi_2'))^2, \quad (3)$$

Где A_1', ω_1, φ_1' - амплитуда, частота и фаза первой составляющей двухчастотного зондирующего сигнала, A_2', ω_2, φ_2' - параметры второй составляющей двухчастотного зондирующего сигнала соответственно.

В случае когда $A_1' \neq A_2'$, на выходе фотодетектора будут присутствовать колебания огибающей сигнала биений, соответствующий разностной частоте $\omega_0 + \omega_1$ и $\omega_0 - \omega_2$. Связь частот определяется как

$$\omega_1 = \frac{c}{(\lambda_{ВБР} - \Delta\lambda)}, \ \omega_2 = \frac{c}{(\lambda_{ВБР} + \Delta\lambda)}, \quad (4)$$

где c – скорость света.

Амплитуда сигнала на выходе фотодетектора имеет колебательный вид, соответственно определив огибающую H, получим значение коэффициента модуляции $m = (H_{max} - H_{min})/(H_{max} + H_{min})$. При этом амплитуды сигнала биений будут определятся как:

$$H_{max} = A_1' + A_2', \quad (5)$$
$$H_{min} = A_1' - A_2'$$

По измеренным значениям амплитуд рассчитываем коэффициент модуляции, которая определяет степень возмущения ВБР. По соотношениям амплитуд получаем направление возмущения, увеличение или уменьшение воздействия на ВБР. При использовании ВБР с шириной 0.1-0.3 нм, разностная частота между компонентами зондирующего излучения с учетом полуширины склонов ВБР составляет ~10-30 ГГц. Эквивалентная величина коэффициенту амплитудной модуляции, разность фаз равна 0 для невозмущенной ВБР и изменялась до $\pm\pi$ при изменении коэффициента амплитудной модуляции от 1 до 0.4. Моделирование работы контроллера проходила с использованием аппаратной части в лаборатории научно исследовательского института прикладной электродинамики, фотоники и живых систем (НИИ ПРЭФЖС).

Для моделирования алгоритма проводились изменения программного кода замера уровня сигнала с выхода детекторов, поскольку имитировался двухчастотный сигнал обеспечивающий функциональный генератор. В работе используются два канала фотоприемников из четырех возможных.

Рис. 3- Экспериментальный стенд реализации алгоритма параметров физических полей на основе аппаратной части НИИ ПРЭФЖС

С применением подходов, определяемых теорией квазигармонических сигналов, реализовали такую особенность алгоритма обработки сигналов, как его универсальность и описали решение задачи неоднозначности, а следовательно, следствие повышение диапазона измерений ВОД на основе ВБР уточнением знака разности фаз двухчастотной составляющей сигнала. Для уточнения корректности работы лазера, реализовали контроль истинности частоты излучения передающего оптического модуля (ПОМ) посредством замера уровня сигнала с терморезистора ПОМ.

Список литературы

1. *Алюшина С. Г.* Методы и средства двухчастотного симметричного зондирования селективных элементов пассивных оптических сетей для контроля их спектральных характеристик и температуры: дис. канд. техн. наук. - Казань: КНИТУ–КАИ им. А.Н. Туполева. – 2013. – 59-60 с.

2. *Морозов О. Г., Айбатов Д. Л., Садеев Т. С.* Синтез двухчастотного излучения и его применение в волоконно–оптических системах распределенных и мультиплексированных измерений: Физика волновых про-цессов и радиотехнические системы. - 2010. - Т. 13. -№ 3.- С. 84–91.

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

05.13.18

[1]И.А. Акимов д.т.н., [2]Б.К. Жумашева

[1]Оренбургский государственный педагогический университет,
Физико-математический факультет,
кафедра математического анализа и методики преподавания математики,
[2]Оренбургский государственный университет, Аэрокосмический институт,
кафедра управления и информатики в технических системах,
Оренбург, akimov_ia@mail.ru, zhumasheva.bk@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕПЛООБМЕНА В МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-79-83

В данной работе представлены результаты изучения переноса тепла в многослойных ограждающих конструкциях цилиндрической формы, тепловые коэффициенты каждой из которых подчиняются различным закономерностям и имеет место идеальный тепловой контакт между соприкасающимися поверхностями.

Ключевые слова: *теплообмен, условия сопряжения, многослойные конструкции, цилиндрическая система координат, полый цилиндр, ограждающие конструкции..*

Явление переноса тепла зачастую происходит в сложных связанных системах, тепловые коэффициенты для каждой из которых подчиняются различным закономерностям и на границах соприкосновения создаются условия сопряжения. Такими задачами часто приходится встречаться при рассмотрении теплопереноса в ограждающих конструкциях летательных аппаратов, чтобы создавать нормальные условия работы лётного персонала или оградить приборы от температурных воздействий. С этой целью ограждающие конструкции летательных аппаратов делают многослойными и часто они имеют цилиндрическую форму.

В данной работе рассмотрены два цилиндрических тела (полый цилиндр с внешней стороны заключенный в оболочку). Тонкая оболочка состоит из материалов, позволяющих оберегать летательные аппараты от внешних воздействий (от высоких и низких температур, от влажности и пересыханий, от агрессивных сред и т.д.) и имеют хорошие изоляционные характеристики.

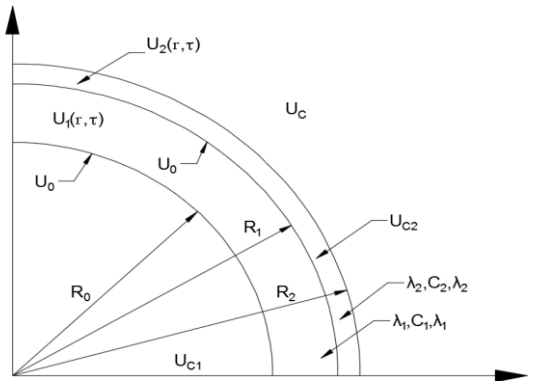


Рис. 1. Температурное поле системы двух цилиндрических тел

Постановка задачи. Пусть дан бесконечный цилиндр, окруженный тонкой оболочкой. В начальный момент времени система из двух цилиндров, имеющих одинаковую начальную температуру U_0, помещается в среду с температурой $U_c < U_0$. Теплообмен между оболочкой

и средой происходит по закону Ньютона. Найти распределение температуры в системе двух цилиндрических тел (рис. 1). Тонкую оболочку в первом приближении можно считать плоской. Тогда задача формулируется следующим образом:

$$\frac{\partial U_1(r,\tau)}{\partial \tau} = a_1\left(\frac{\partial^2 U_1(r,\tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial U_1(r,\tau)}{\partial r}\right) \quad R_0 < r < R_1, \quad \tau > 0; \tag{1}$$

$$\frac{\partial U_2(r,\tau)}{\partial \tau} = a_2\frac{\partial U_2(r,\tau)}{\partial r^2} \quad R_1 < r < R_2, \quad \tau > 0; \tag{2}$$

с НУ: $U_1(r,0) = U_2(r,0) = U_0 = const$ (3)

ГУ: $-\lambda_2 \cdot \frac{\partial U_2(R_2,\tau)}{\partial r} + \alpha\left[U_c - U_2(R_2,\tau)\right] = 0;$ (4)

и с условиями сопряжения

$U_1(R_1,\tau) = U_2(R_1,\tau);$ (5)

$$\lambda_1 \cdot \frac{\partial U_1(R_1,\tau)}{\partial r} = \lambda_2 \cdot \frac{\partial U_2(R_1,\tau)}{\partial r}, \tag{6}$$

где $U_1(r,\tau)$ - температура внутреннего слоя на глубине r в момент времени τ;

$U_2(r,\tau)$ - аналогично температура внешнего слоя;

a_1 и a_2 - температуропроводности соответственно внутреннего и внешнего слоев;

λ_1 и λ_2 - теплопроводности внутреннего и внешнего слоев;

U_0 - начальная температура изделия;

U_c - температура окружающей среды;

α - свойство среды на температурные взаимодействия;

R_0 - радиус внутренней границы полого цилиндра;

R_1 - радиус до границы сопряжения двух цилиндров;

R_2 - радиус внешней границы внешнего цилиндра.

Решение задачи. На начальном этапе находим температурный режим $U_2(r,\tau)$ на внешнем слое изделия под воздействием температуры окружающей среды U_c, т.е. закон перемещения температуры от внешней поверхности летательного аппарата до поверхности внутреннего цилиндра. Задача формулируется следующим образом:

$$\frac{\partial U_2(r,\tau)}{\partial \tau} = a_2\frac{\partial^2 U_2(r,\tau)}{\partial r^2}, \quad R_1 < r < R_2, \quad \tau > 0;$$

с НУ: $U_2(r,0) = U_0$;

ГУ: $U_2(R_1, \tau) = U_0$, $U_2(U_2, \tau) = U_c$;

Для решения данной задачи применим метод интегрального преобразования Лапласа по времени и получим

$$\int_0^\infty e^{-p\tau} \cdot \frac{\partial U_2}{\partial \tau} d\tau = a_2 \int_0^\infty e^{-p\tau} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} dr;$$

$$p\overline{U_2}(r,p) - U_0 = a_2 \cdot \frac{d^2\overline{U(r,p)}}{dr^2}; \tag{7}$$

или

$$\frac{d^2\overline{U(r,p)}}{dr^2} - \frac{p}{a^2}\overline{U_2}(r,p) + \frac{U_0}{a_2} = 0.$$

Это обыкновенное линейное неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка. Ее решение имеет вид:

$$\overline{U_2(r,p)} = Ach\left(\sqrt{\frac{p}{a_2}}r\right) + Bsh\left(\sqrt{\frac{p}{a_2}}r\right) + \sqrt{\frac{a_2}{p}}ch\left(\sqrt{\frac{p}{a_2}}x\right)\int_0^r U(\xi)sh\left(\sqrt{\frac{p}{a_2}}\xi\right)d\xi - \sqrt{\frac{a_2}{p}}sh\left(\sqrt{\frac{p}{a_2}}r\right)\times$$

$$\times\int_0^r U(\xi)ch\left(\sqrt{\frac{p}{a_2}}\xi\right)d\xi \tag{8}$$

Так как в начальный момент времени температура во всех точках одинакова и равна

U_0=*const*, то из (8) получаем решение вида

$$\overline{U_2(r,p)} = \frac{U_0}{p} + \left(A - \frac{U_0}{p}\right)\cdot e^{\sqrt{\frac{p}{a_3}}r} + \frac{A - \frac{U_0}{p} - p}{2} e^{-\sqrt{\frac{p}{a_2}}r}, \quad (9)$$

где A и B - определяются из граничных условий.

Или, обозначив через

$A_1 = A - \frac{U_0}{p}$, $AB_1 = \frac{A - \frac{U_0}{p} - p}{2}$, получим решение в виде

$$\overline{U_2(r,p)} = \frac{U_0}{p} + A_1 \cdot e^{\sqrt{\frac{p}{a_2}}r} + B_1 e^{-\sqrt{\frac{p}{a_2}}r}. \quad (10)$$

Переходя к оригиналу, получим закон перемещения температуры во внутрь оболочки изделия.

Она имеет вид

$$U_2(r,\tau) = Z^{-1}\left(\frac{U_0}{p} + A_1 \cdot e^{\sqrt{\frac{p}{a_2}}r} + B_1 e^{-\sqrt{\frac{p}{a_2}}r}\right) = U_0 + Z^{-1}M,$$

где $M = A_1 \cdot e^{\sqrt{\frac{p}{a_2}}r} + B_1 e^{-\sqrt{\frac{p}{a_2}}r}$;

$$U_2(r,\tau) = U_0 + Z^{-1}M. \quad (11)$$

Далее рассмотрим изменение температуры в слое внутреннего полого цилиндра под воздействием изменяющейся температуры $U_2(r,\tau)$.

Имеем

$$\frac{\partial U_1(r,\tau)}{\partial \tau} = a_1\left(\frac{\partial^2 U_1(r,\tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial U_1(r,\tau)}{\partial r}\right), \quad R_0 < r < R_1, \quad \tau > 0; \quad (12)$$

с НУ: $U_1(r,0) = U_0 = f(r)$,

Температура сред имеют вид $U_{c_1} = U_0 = \varphi_1(\tau)$, $U_{c_2} = U_2(r,\tau) = \varphi_2(\tau)$;

ГУ: теплообмен с внешней средой происходит по закону Ньютона

$$-\frac{\partial U(R_1,\tau)}{\partial r} + \frac{\alpha_2}{\lambda_2}\left[\varphi_2(\tau) - U(R_1,\tau)\right] = 0. \quad (13)$$

$$+\frac{\partial U(R_0,\tau)}{\partial r} + \frac{\alpha_1}{\lambda_1}\left[\varphi_1(\tau) - U(R_1,\tau)\right] = 0 \quad (14)$$

Для решения полученной задачи воспользуемся формулой конечного интегрального преобразования Ханкеля:

$$\overline{U_1(\mu_n,\tau)} = \int_{R_0}^{R_1} r U_1(r,\tau)\cdot \upsilon_0\left(\mu_n \frac{r}{R_0}\right) dr, \quad (15)$$

где ядро преобразования

$$\upsilon_0\left(\mu_n \frac{r}{R_0}\right) = \left[Y_0(\mu_n) + \frac{\mu_n}{Bi_1} Y_1(\mu_n)\right] J_0\left(\mu_n \frac{r}{R_0}\right) - \left[J_0(\mu_n) + \frac{\mu_n}{Bi_1} J_1(\mu_n)\right] Y_0\left(\mu_n \frac{r}{R_0}\right), \quad (16)$$

где μ_n - корни характеристического уравнения

$$\frac{\upsilon_0(k\mu)}{\upsilon_1(k\mu)} = \frac{\mu}{\frac{\alpha_2}{\alpha_1} Bi_1}, \quad (\alpha_1,\ \alpha_2 \text{ - коэффициент теплоотдачи слоев цилиндров}) \quad (17)$$

$$\upsilon_1(k\mu_n) = \left[Y_0(\mu_n) + \frac{\mu_n}{Bi_1} Y_1(\mu_n)\right] J_1(k\mu_n) - \left[J_0(\mu_n) + \frac{\mu_n}{Bi_1} J_1(\mu_n)\right] Y_1(k\mu_n), \quad (18)$$

$Bi_1 = \frac{\alpha_1}{\lambda_1} R_0$, $Bi_2 = \frac{\alpha_2}{\lambda_2} R_1$ - критерии БИО,

$k = \frac{R_1}{R_0}$.

Формула обращения имеет вид

$$U_1(r,\tau) = \frac{\pi^2 B^2 i_1}{2R_0^2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \mu_n^2 \overline{U_1(\mu_n,\tau)} \cdot \upsilon_0\left(\mu_n \frac{r}{R_0}\right) \left[\frac{\alpha_2}{\alpha_1} J_0(k\mu_n) - \frac{\mu_n}{Bi_1} J_1(k\mu_n)\right]^2 \times$$

$$\times \left\{\left[J_0(\mu_n) + \frac{\mu_n}{Bi_1} J_1(\mu_n)\right]^2 \left(\mu_n^2 + \frac{\alpha_2^2}{\alpha_1^2} Bi_1^2\right) - \left[J_0(k\mu_n)\frac{\alpha_2}{\alpha_1} - J_1(k\mu_n)\frac{\mu_n}{Bi_1}\right]^2 \cdot \left(\mu_n^2 + Bi_1^2\right)\right\}^{-1} \qquad (19)$$

Для решения поставленной задачи необходимо каждый член дифференциального уравнения теплопроводности умножить на ядро симметричного преобразования $r\upsilon_0\left(\mu_n \frac{r}{R_0}\right)$ и проинтегрировать в пределах от R_0 до R_1.

Собственная функция $\upsilon_0\left(\mu_n \frac{r}{R_0}\right)$ является решением уравнения Бесселя нулевого порядка при однородных граничных условиях первого рода.

При интегрировании учитывались граничных условия (13) и (14), характеристическое уравнение (17), а также соотношения

$$\upsilon_0(\mu_n) = -\frac{2}{\pi Bi_1},\ \upsilon_2(\mu_n) = \frac{2}{\pi\mu_n}. \qquad (20)$$

Тогда дифференциальное уравнение будет иметь вид

$$\frac{d\overline{U_1(\mu_n,\tau)}}{d\tau} + \frac{a_1\mu_n^2}{R_0^2}\overline{U_1(\mu_n,\tau)} - a_1 Bi_2 \cdot \upsilon_0(k\mu_n)\cdot\varphi_2(\tau) + \frac{2a_1}{\pi}\varphi_1(\tau) = 0 \qquad (21)$$

Изображение функции $f(r)$ обозначим

$$\overline{U_1(\mu_n,0)} = f(\mu_n) = \int_{R_0}^{R_1} r f(r)\upsilon_0\left(\mu_n \frac{r}{R_0}\right) dr \qquad (22)$$

Решение обыкновенного дифференциального уравнения (21) с учетом начального условия (13) будет иметь вид

$$U_1(\mu_n,\tau) = f(\mu_n)\cdot e^{-\mu_n^2 F_{0_1}} + a_1 Bi_2 \cdot \upsilon_0(k\mu_n)\int_0^{\tau} \varphi_2(t)\cdot e^{-\frac{\mu_n^2 a_1(\tau-t)}{R_0^2}} dt - \frac{2a_1}{\pi}\int_0^{\tau}\varphi_1(\tau)\cdot e^{-\frac{\mu_n^2 a_1(\tau-t)}{R_0^2}} dt \qquad (23)$$

где $F_{0_1} = \frac{a_1\tau}{R_0^2}$.

Воспользуемся формулой обращения (19), тогда получим

$$U_1(r,\tau) = \frac{2}{R_0^2}\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu_n^2 \cdot \upsilon_0\left(\mu_n \frac{r}{R_0}\right)\cdot e^{-\mu_n^2 F_{0_1}}}{\frac{\alpha_2^2}{\alpha_1^2}k^2\cdot\upsilon_0^2(k\cdot\mu_n)\left[\mu_n^2 + \frac{\alpha_2^2}{\alpha_1^2}\cdot Bi_1^2\right] - \frac{4}{\pi^2 Bi_1^2}\left(\mu_n^2 + Bi_1^2\right)} \cdot \left\{\int_{R_0}^{R_1} r f(r)\upsilon_0\left(\mu_n \frac{r}{R_0}\right) dr + \right.$$

$$\left. + aBi_2\upsilon_0(k\mu_n)\cdot\int_0^{\tau}\varphi_2(t)\cdot e^{\frac{\mu_n^2 a_1 t}{R_0^2}} dt - \frac{2a}{\pi}\int_0^{\tau}\varphi_1(t)\cdot e^{\frac{\mu_n^2 a_1 t}{R_0^2}} dt\right\} \qquad (24)$$

Таким образом, мы получим законы распространения температуры внешней среды по стенкам изделий цилиндрической формы (это могут быть корпуса космических кораблей, фюзеляжи самолетов, вертолетов или других летательных аппаратов). Зная законы распространения температуры в радиальном направлении цилиндрических тел, конструкторы могут создавать соответствующие ограждающие конструкции.

Список литературы

1. *Карташов Э.М.*. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. М: Высшая школа, 1985. – 480 с.
2. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности. М: «Высшая школа», 1967. – 599 с.
3. *Акимов И.А., Акимов А.И., Каракулина Е.О.* Исследование теплопередачи на втором этапе производства композиционных материалов методом полимеризации в установках АВТП // Научно-технический вестник Поволжья. № 1, 2015. – С.31-38.
4. *Акимов И.А., Акимов А.И., Каракулина Е.О.* Исследование и разработка математической модели на первом этапе производства некоторых типов композиционных материалов в установках Шольца // Научно-технический вестник Поволжья. № 1, 2016. – С.54-57.

05.13.00

И.И. Байнева к.т.н.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н. П. Огарева, Институт электроники и светотехники,
кафедра светотехники,

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-84-86

В работе рассмотрены вопросы проектирования оптических систем современных осветительных приборов. С учетом конструкции светодиодных модулей осуществляется моделирование светораспределения осветительных приборов. Расчет оптических элементов состоит из этапов моделирования светодиодного модуля и его оптимизации. Для моделирования и компьютерного проектирования применяется программа оптического моделирования TracePro, функциональные возможности которой рассмотрены в статье. Также приведен пример моделирования и оптимизации светодиодного модуля с зеркальным отражателем.

Ключевые слова: *осветительный прибор, светодиод, линза, отражатель, оптическая система, моделирование, проектирование.*

Светотехнические устройства являются важным элементом большого числа технических систем, включающих дорожное, жилое, промышленное освещение, светотехнические системы транспортных средств и т.д.

Светодиодная промышленность во всем мире стала в последние годы одним из самых быстро развивающихся секторов экономики. Каждые полгода параметры светодиодов (СД) и светотехнических устройств на их основе становятся на новый количественный уровень по световой отдаче, мощности излучения и световому потоку, цветовым характеристикам. По оценке компании Philips [1] ожидается снижение себестоимости СД и прогнозируется, что к 2020 г. светодиодные источники света и световые приборы на их основе займут 75 % светотехнического рынка.

Светодиодный осветительный прибор (светильник) является сложным техническим устройством, в котором источник света - светодиодный модуль (СДМ) - нельзя отделить от конструкции светильника. В нем должно быть рассчитано и взаимно согласовано множество компонентов: требования по освещенности и оптика, светодиоды и источники питания для них, режимы работы светодиодов и условия их охлаждения, охлаждающие радиаторы и корпус светильника.

Проектирование светодиодных осветительных приборов (ОП) включает процессы [2]: выбор компонентов светильника (СД, оптика, источники питания, драйверы, специальные оптические материалы и т.д.); моделирование светораспределения с учетом планируемой конструкции светильника; тепловой расчет светильника в зависимости от выбранного электрического режима работы светодиодов, их схемы расположения, выбранных компонентов конструкции; электрический расчет; разработка схемотехнических решений (плат, драйверов и т.д.); оценка конструкции светильника (корпуса, радиатора, использованной оптики) и выдача рекомендаций по её усовершенствованию на основании светотехнического, теплового и электрического расчетов; выполнение макета; измерение заявленных параметров; поиск оптимального решения по стоимости и сроку службы.

Основным этапом проектирования светодиодного светильника является светотехнический расчёт ОП. В ходе этого этапа подбирается тип СД и, если это необходимо, оптика, наиболее подходящие под задачу освещения и определяется необходимый световой поток ОП [2].

СД обладает косинусным светораспределением. Но для многих целей освещения, например, помещений с высокими пролетами или улиц, такое светораспределение не подходит. Для создания необходимого светораспределения в виде кривых силы света (КСС) (например, глубокой, концентрированной и др.) требуется специализированная оптика. Это линза или зеркальный отражатель, которые в совокупности со светодиодом (светодиодами) образуют светодиодный модуль (СДМ). Использование вторичной оптики позволяет получить требуемое светораспределение СД [3-4]. Наибольшее распространение получили линзы, использующие принцип полного внутреннего отражения, а также отражатели. Их расчет требует учёта особенностей конкретного светодиода, требуемых оптических параметров, габаритов и цены [4].

Расчет оптических элементов в общем случае состоит из нескольких этапов. На первом этапе создается модель источника света, задается светораспределение, осуществляется выбор или разработка формы и конструкции оптического элемента. Второй этап - моделирование и оптимизация полученной системы. Он осуществляется путем анализа характеристик, настройки параметров оптимизации и непосредственно самой оптимизации с получением окончательного результата [5].

Построение математических и геометрических моделей оптической системы является основой для моделирования прохождения светового луча. Оптический анализ используется для расчета их траектории движения. Также очень полезна оптимизация таких моделей.

В области оптики и оптического приборостроения используются специализированные CAE-системы (системы инженерного анализа, каждая из которых позволяет решать определенную расчетную задачу), среди которых можно выделить программу для моделирования и компьютерного проектирования оптических систем TracePro [6-9]. Программа совместима с большинством современных САПР (Autocad, КОМПАС, SolidWorks, CATIA и др.) и позволяет осуществлять обмен данными через различные форматы. Также TracePro моделирует КСС, световой поток, яркость/освещенность на отдельных рассматриваемых поверхностях трассировкой лучей методом Монте-Карло.

Процесс создания модели светильника и его элементов и анализ полученных результатов может состоять из следующих этапов [5]: создание модели СДМ (рис. 1), назначение свойств поверхностям модели; задание параметров поверхностям СД; трассировка лучей от модуля (рис. 2); построение КСС СДМ.

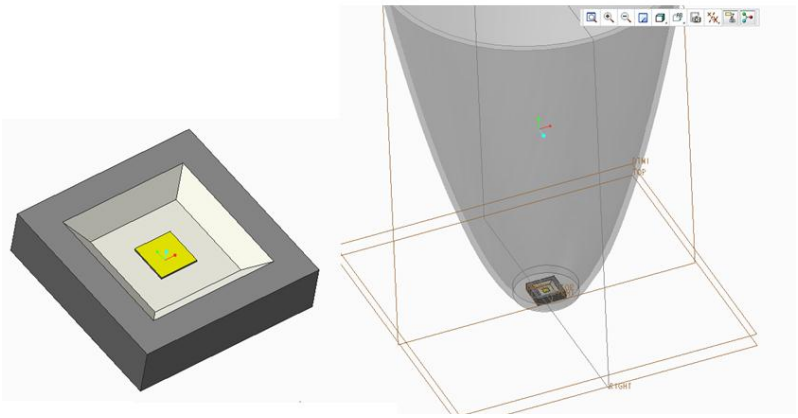


Рис. 1 – Создание модели СДМ

Для удобства разработки моделей изделий TracePro позволяет импортировать механическую составляющую из популярных САПР. Создав модель светодиодного ОП в CAD системе и импортировав ее в TracePro, разработчик значительно упростит и ускорит процесс проектирования изделия. Если полученная КСС не устраивает разработчика, т.е. не отвечает требованиям технических условий на светильник, то модель можно оптимизировать с помощью оптимизатора программы. В данном случае оптимизация заключается в изменении формы отражателя путем подстраивания под требуемую КСС. По окончании процесса оптимизации будут получены диаграммы светораспределения в 2D и 3D видах (рис. 3).

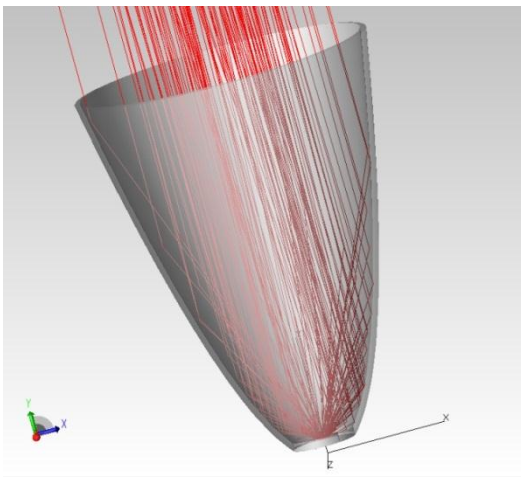


Рис. 2 – Трассировка лучей от СДМ

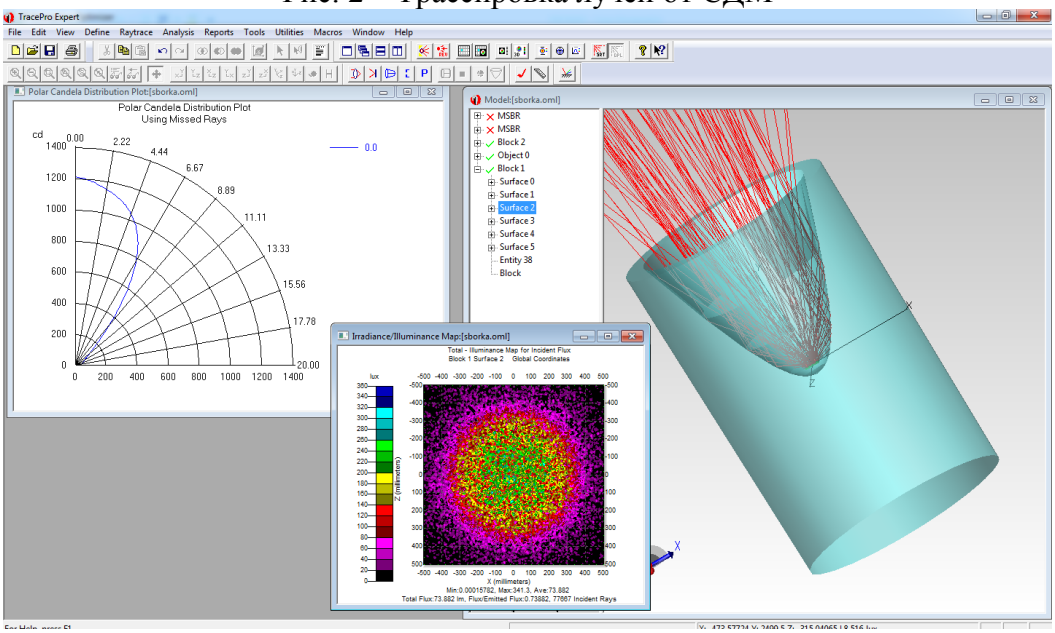


Рис. 3 – Диаграммы светораспределения СДМ

Список литературы

1. *Боровков С. А.* Опыт Philips Lighting в применении светодиодов для освещения объектов различного назначения / Светотехника. 2011, № 3. С.18-22.
2. *Bayneva I. I.* Study and review of optical systems for light emitting diodes. International Journal of Pharmacy & Technology. 2016. Vol. 8, No 3. P. 15304-15309.
3. *Bayneva I. I.* Concerns Of Design Of The Energy-Efficient Fixtures. International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10, No 3. P. 6479-6487.
4. *Байнева И. И., Байнев В. В.* Оптические системы для светодиодов // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2017. № 1 (238). С. 54-64.
5. *Байнева И. И., Байнев В. В.* Оптические системы для светодиодов // Фотоника. 2016. № 2(56). С.84-93.
6. *Байнев В. В.* Расчет и проектирование светодиодных оптических систем // Полупроводниковая светотехника. 2017. №1. С.38-41.
7. *Байнев В. В.* Компьютерное моделирование и расчет светодиодных модулей // Полупроводниковая светотехника. 2017. № 2 (46). С. 62-66.
8. *Байнев В. В.* Программная реализация моделей оптических систем для проектирования осветительных приборов // Прикладная информатика. 2017. №2(68). С.52-59.
9. Lambda Research Corporation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.lambdares.com.

05.13.00

[1]М.Р. Батюта, [1]Р.А. Кордюков, [2]А.А. Кузин, [2]Е.Н. Приблудова к.т.н.

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева,
институт радиотехники и информационных технологий,
[1]центр цифровых технологий,
[2]кафедра информационных радиосистем,
Нижний Новгород, pribludova@nntu.ru

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕДИАННОГО ФИЛЬТРА С ПРЯМЫМ ВЫЧИСЛЕНИЕМ ИНДЕКСОВ УПОРЯДОЧЕННОГО МАССИВА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-87-90

Предложена аппаратная реализация медианной фильтрации, обеспечивающая ускоренное определение медианы входного массива данных. Высокое быстродействие достигается за счет уменьшения количества операций сравнения и их параллельной реализации. Предложенные идеи могут быть использованы для эффективной реализации медианной фильтрации в реальных системах ЦОС.

Ключевые слова: *медианная фильтрация, аппаратная реализация, ЦОС.*

Введение. В настоящее время медианная фильтрация часто применяется на практике как средство предварительной цифровой обработки в радиотехнике, в системах управления, связи, цифрового телевидения.

Медианная фильтрация представляет собой метод обработки сигналов, при котором из выбранной ограниченной последовательности X входного потока данных, состоящей из нечетного числа N элементов, выбирается один, называемый медианой. Медиана представляет собой такой элемент последовательности (массива) X, для которого существуют $(N-1)/2$ элементов не меньше и $(N-1)/2$ элементов не больше его.

Для осуществления медианной фильтрации применяются алгоритмы, основанные на однократной [1] или многократной сортировке исходного массива и выборе среднего элемента, который является медианой. Реализация таких алгоритмов является весьма затратной с точки зрения времени выполнения – в худшем случае общее количество поэлементных сравнений при упорядочивании массива из числа N элементов равно N^2. С другой стороны, алгоритмы однотактной медианной фильтрации либо затрачивают большое число аппаратных ресурсов, либо ориентированы на фиксированную длину массива данных [2].

В настоящей статье решается задача разработки алгоритма медианной фильтрации с прямым вычислением индексов в упорядоченном массиве и его аппаратной реализации, позволяющей существенно сократить временные затраты на операцию фильтрации.

Описание алгоритма медианной фильтрации. Рассмотрим последовательность значений X, состоящую из N элементов. Для существенного ускорения вычислений введем некоторую числовую характеристику, позволяющую находить медиану без явной сортировки исходной последовательности. В качестве такой характеристики удобно выбрать индекс медианы в отсортированной последовательности, который можно найти заранее по формуле $r = (N-1)/2$. При этом процесс медианной фильтрации сводится к выбору элемента исходного массива с индексом r в соответствующей ему отсортированной последовательности. Чтобы осуществить такой выбор необходимо для каждого элемента исходной последовательности найти его индекс в упорядоченном массиве. Для этого воспользуемся таблицей 1.

Таблица 1 –Таблица отношений

	x_0	x_1	…	x_{N-1}
x_0	0	$p_{0,1}$	…	$p_{0,N-1}$
x_1	$p_{1,0}$	0	…	$p_{1,N-1}$
…	…	…	…	…
x_{N-1}	$p_{N-1,0}$	$p_{N-1,1}$	…	0

В таблице 1 $x_0, x_1, \ldots, x_{N-1}$ – элементы исходной последовательности X, $p_{i,j}$ – число, отображающее относительное расположение элементов x_i и x_j в отсортированной по возрастанию последовательности, i и j – индексы строки и столбца соответственно. Причем $p_{i,j} = 0$, если элемент x_i в отсортированной последовательности расположен слева по отношению к элементу x_j, что выполняется при $x_i < x_j$, и $p_{i,j} = 1$ в обратном случае, т.е. при $x_i > x_j$. В случае $x_i = x_j$ выбор порядка следования элементов x_i и x_j в отсортированной последовательности выполняется произвольно, т.к. при перестановке местами x_i и x_j в упорядоченном массиве, полученная последовательность будет идентична исходной. Элементы главной диагонали таблицы 1 заполнены нулями, т.к. не имеет смысла сравнивать элемент сам с собой.

В отсортированном массиве индекс, соответствующий элементу x_i показывает, какое количество элементов находится правее его. Т.е. сумма

$$s_i = \sum_{j=0}^{N-1} p_{i,j} \qquad (1)$$

по всем элементам i-й строки таблицы 1 и есть индекс элемента x_i в отсортированной последовательности, с помощью которого определяется медиана исходного массива.

В качестве примера построим таблицу 2 для последовательности $X = \{7, 14, 3, 14, 11\}$, вычисляя s_i по формуле (1). Поскольку для данного массива количество элементов $N = 5$, индекс медианы в упорядоченной последовательности $r = 2$.

Таблица 2 – Пример таблицы отношений

	7	14	3	14	11	s_i
7	0	0	1	0	0	1
14	1	0	1	1	1	4
3	0	0	0	0	0	0
14	1	0	1	0	1	3
11	1	0	1	0	0	2

Выбирая из таблицы 2 элемент с индексом $s_i = r = 2$, получаем медиану последовательности X, равную 11.

С другой стороны, при явной сортировке получим упорядоченную последовательность $X_s = \{3, 7, 11, 14, 14\}$. Ее средний элемент равен 11, что соответствует полученному выше результату.

Аппаратная реализация алгоритма. Пусть последовательность X поступает на вход рассматриваемого фильтра, загружаясь в N регистров.

Заметим, что значения в таблице 1 инвертированы относительно главной диагонали, поэтому для сравнения элементов последовательности будем использовать компараторы с прямым и инверсным выходами.

Вычисление индексов s_i выполним с помощью сумматоров, осуществляющих сложение результатов сравнения по каждой строке таблицы 1.

Для того чтобы по полученным индексам отсортированной последовательности произвести выбор медианы исходной последовательности, будем использовать блок

селектора. Он принимает на вход совокупность индексов s_i, производит сравнение каждого из них с индексом медианы r и коммутирует с выходом тот входной элемент x_i фильтра, которому соответствует индекс медианы.

Функциональная схема медианного фильтра, соответствующая вышеприведенному описанию представлена на рис. 1.

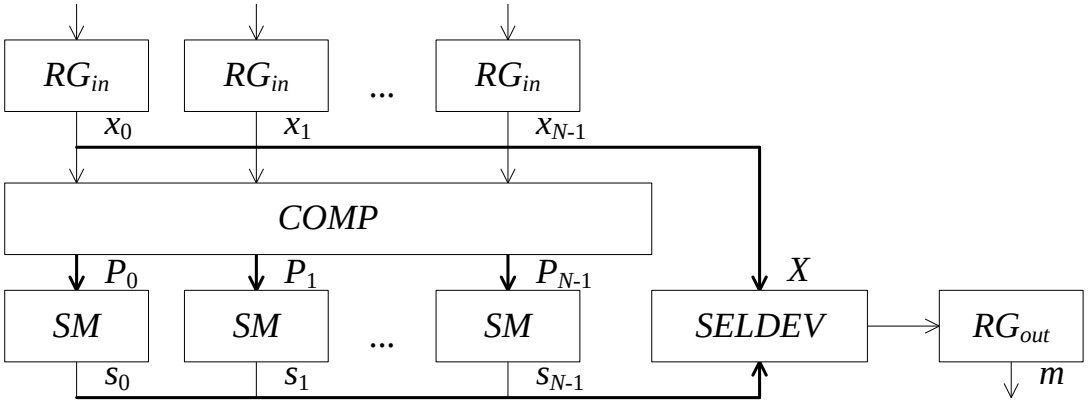


Рис. 1 – Функциональная схема медианного фильтра

На рис.1 RG_{in} – входные регистры, *COMP* – блок компараторов, *SM* – блоки сумматоров, *SELDEV* – селектор, RG_{out} – выходной регистр, P_i – множество сигналов, соответствующих i-й строке таблицы 1, причем $P_i = \{p_{i,0}, p_{i,1}, \ldots, p_{i,N-1} \setminus p_{i,i} \notin P_i\}$, m – один из элементов исходной последовательности X, являющийся ее медианой.

Такая реализация медианного фильтра позволяет получать на выходе значение медианы с задержкой в один такт относительно момента появления на выходах регистров RG_{in} элементов исходного массива. Такая скорость обусловлена параллелизмом операций сравнения.

Схема медианной фильтрации, представленная на рис. 1, была синтезирована в САПР Quartus II. Входные последовательности и результаты работы схемы для них приведены на рис. 2.

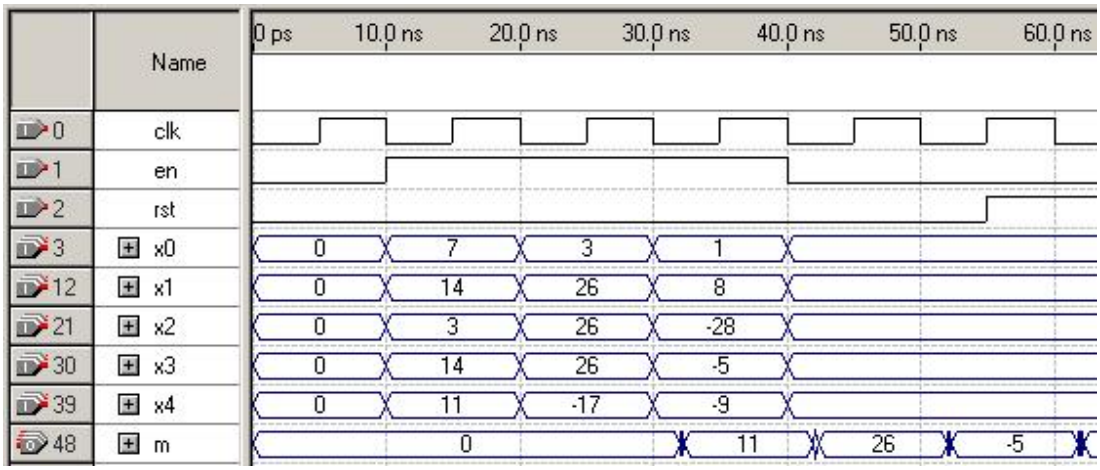
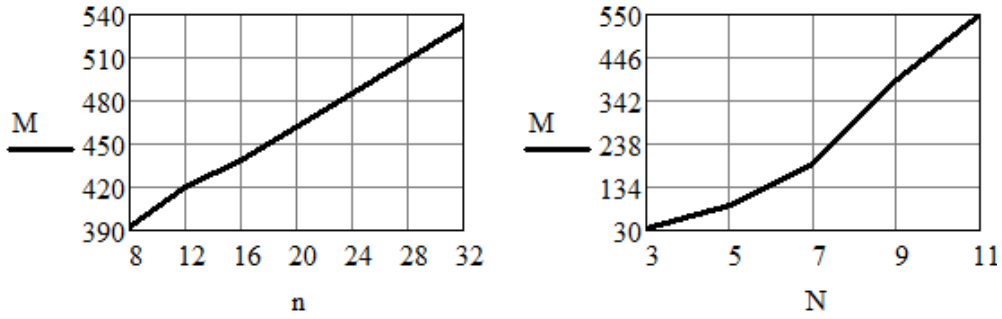


Рис. 2 – Временная диаграмма медианного фильтра

Оценка ресурсов. Оценим общее количество сравнений, которые производит блок компараторов приведенной схемы. Исключив сравнение элемента x_i с самим собой, и учитывая симметричность таблицы 1, получим количество сравнений, выполняемых схемой, равное $N(N-1)/2$. Таким образом, даже для окна небольшой размерности требуется осуществить достаточно большое число сравнений, что подразумевает существенные затраты аппаратных ресурсов. Поэтому для реализации фильтра удобно использовать ПЛИС.

При синтезе для устройств семейства STRATIX III и частоты 100 МГц были получены зависимости, показанные на рис. 3.



а) б)

Рис. 3 – Графики зависимости количества *M* макроячеек ПЛИС:
а – от разрядности входных данных *n*; б – от размерности входного массива *N*

Заключение. В современных системах ЦОС обработка обычно осуществляется с использованием ПЛИС, что дает возможность реализовывать рассмотренный фильтр в большинстве таких систем, а так же модифицировать его с учетом требований к системе. Так, например, увеличив количество селекторов до *N*, в каждом из которых индекс s_i будет сравниваться с одним из индексов элементов упорядоченной последовательности, можно реализовать устройство однотактной сортировки входного массива *X*.

Таким образом, достоинствами рассмотренной схемы по сравнению с другими вариантами реализации фильтра, является простота ввиду отсутствия явной сортировки, возможность гибкой модификации и высокое быстродействие.

Список литературы

1. *Мурсаев А. Х.* Аппаратная реализация медианного фильтра // Научное приборостроение. – 2013. – Т. 23, № 3. – С. 114–119.
2. *Воробьев Н.* Одномерный цифровой медианный фильтр с трехотсчетным окном // Новости микроэлектроники. URL: http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/99_08/stat_29.htm (дата обращения 02.05.2017).

05.13.00

Р.А. Бурнашев, М.А.А. Аль-Саеди, Д.Н. Галанин, В.О. Георгиев

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Институт вычислительной математики и информационных технологий,
кафедра «технологий программирования»

КОНЦЕПЦИИ УЧЕБНО - МАКЕТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СБОРОЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ПО СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-91-96

В статье представляются разработанные в ходе практических работ по учебным курсам «Проектирование и архитектура программных систем» и «Объектно-ориентированный анализ и проектирование» концептуальные основы построения учебно-макетных вариантов интерактивной сборочной системы, осуществляющей в автоматическом режиме сборку программных систем прикладного назначения. Система предназначена для наглядной практической демонстрации содержания основных этапов и работ при разработке сложных, критических программных средств. Приводится несколько макетных реализаций системы.

Ключевые слова: *программные средства, генератор программных систем, макетно-модельный подход, диалоговая система.*

1.Введение

В статье представляются разработанные в ходе практических работ по учебным курсам «Проектирование и архитектура программных систем» и «Объектно-ориентированный анализ и проектирование» (методическое пособие [1]) концептуальные основы построения учебно-макетных вариантов интерактивной сборочной системы, осуществляющей в автоматическом режиме (с предварительной интерпретацией и анализом фрагментов программных кодов) сборку программных систем прикладного назначения.

В статье, на данном этапе, пока не ставиться цель предоставить полную и всеобщую архитектуру и технологические принципы создания генераторов программных систем. Поставлены задачи систематизации результатов полученных в ходе проведения лекционных и практических занятий по упомянутым курсам, а также, задача обобщения и использования наработок, сделанных ранее, по формальным моделям и методам представления знаний предметных областей интерактивных систем. Решение данных задач позволит выйти на уровень выработки концептуальных основ построения макетных прототипов таких систем, и, к последующему переходу к макетным версиям генераторов ПО, с целью кодовой иллюстрации основных положений учебных курсов «Программной инженерии».

Представляемые макетные варианты системы предназначены для наглядной практической демонстрации содержания основных этапов и работ при разработке сложных, критических программных средств. К основным этапам будут отнесены: проектирование и управление проектом (административное, автоматическое или автоматизированное), тестирование создаваемой системы, ее документирование, оценка качества, оценка стоимости.

Сборка осуществляется в интерактивном взаимодействии с пользователем, идущем на профессиональном языке общения. Профессиональный язык общения построен на основе понятия интеллектуального интерфейса и реализуется на основе сочетания жестко запрограммированного диалога (на «верхнем» уровне перехода от одного этапа к другому) и «свободного» сценарного диалога общения (на «нижних», «внутриэтапных» уровнях).

Программная реализация сценарного диалога построена на основе макетного кодового представления основных формальных моделей интерактивных диалоговых систем человеко-машинного взаимодействия, представленных в авторском курсе «Проектирование человеко-

машинного интерфейса», читаемого студентам направления «Программная инженерия» Казанского (Поволжского) Федерального Университета и базовых понятий и концепций теории схем программ. Один из примеров такой программной реализации представлен в [2].

Сборка может осуществляться в нескольких режимах:

1. Режим исходных кодов;
2. Режим исполняемых кодов;
3. Сочетание исходных и исполняемых кодов.

Генерация программных систем построена на основе использования концепций «Теории схем программ», ее базисных понятий типовых конструкционных схем и методологий программной инженерии. Программная реализация системы сделана в нескольких вариантах, в зависимости от того какая формальная модель сценария диалога заложена. Опыт, полученный студентами при построении макетов, таких систем позволяет освоить, также, и основные базисные понятия учебного курса «Теория вычислительных процессов и систем», а также, овладеть практическими программистскими навыками по созданию сложных критически важных программных разработок.

Реализация систем выполнена на основе использования основных инструментальных средств языковых сред C# и JAVA.

2. СИСТЕМАТИЗАЦИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ГЕНЕРАТОРОВ ПО СЛОЖНЫХ СИСТЕМ И МЕТОДОЛОГИЙ ИХ СОЗДАНИЯ

При проектировании такого ПО как сборочный генератор сложных систем, который сам представляет собой сложную программную систему, возникают многочисленные задачи, требующие оценки количественных и качественных закономерностей процессов функционирования системы. В общем смысле — задачи моделирования. На этапах разработки технического и рабочего проектов систем, модели отдельных подсистем детализируются, и моделирование служит эффективным инструментом для решения конкретных задач проектирования, т. е. выбора оптимального варианта (из множества допустимых) решения задачи по определенному критерию, при заданных ограничениях. При моделировании сложных систем необходимо учитывать следующие их особенности:

- сложность структуры и запутанность связей между элементами, неоднозначность алгоритмов поведения при различных условиях
- большое количество параметров и переменных, неполнота и недетерминированность исходной информации
- разнообразие и вероятностный характер воздействий внешней среды.

Одним из систематических, дисциплинированных, измеримых подходов в программной инженерии к разработке программных систем можно назвать макетно-модельный подход, основанный на технологических принципах, рассмотренных в работах [3, 4].

2.1. Макетно-модельный подход.

Суть макетно-модельного подхода составляет использование методологии механизма теории схем программ, с выделением типовых схем функционального взаимодействия элементов ПО с полной или частичной формализацией их функционирования и программной реализацией макетных моделей элементов ПО. При практической программной реализации используется метод, суть которого в выполнении следующих пунктов:

1) Определение цели задачи и углубление в существо задачи.

2) Установление подцелей и разбиение задачи на подзадачи.

3) Выявление специфических особенностей разрабатываемого для решения задачи программного обеспечения.

4) Поиск эксперта, специализирующегося в области, к которой относится задача и получение его согласия на помощь в разработке системы.

5) Работа вместе с экспертом над несколькими экспериментальными примерами прикладных задач, которые должна решать разрабатываемая программная система.

6) Выбор программных средств, необходимых для создания системы. Это выбор зависит

от типа решаемой задачи, финансовых возможностей и сложности программного обеспечения.

7) Выбор технологических средств, на которых будет работать программный инструментарий, приобретение инструментальных средств.

8) Построение лабораторного прототипа системы, позволяющего успешно справляться с примерами задач, решенных в пункте (5).

9) Проектирование системы при участии эксперта. Выявление сущностей, взаимосвязей между ними, виды иерархий, классов.

10) Выполнение необходимого числа итераций разработки системы с испытанием в реальных практических условиях.

11) Разработка документации к системе.

С первых шагов реализации проекта необходимо стремиться к построению хотя бы ограниченной по возможностям, но правильно работающей макетной модели для улучшения взаимодействия с экспертом, для чего и используется макетно-модельный подход.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ КОДОВАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАКЕТОВ ГЕНЕРАТОРОВ ПО СЛОЖНЫХ СИСТЕМ.

3.1. Макет на основе модели, использующей принципы теории игр

Модель на основе теории игр не является самой распространенной формальной моделью по причине того, что основные понятия теории диалоговых игр, которые в ней используются, известны только в узких кругах. Однако это модель достаточно проста в использовании и имеет немало сходств с наиболее распространенной автоматной моделью. Описанный далее макет модели основан на статье [5]

Теория диалоговых игр — это попытка учесть идеи сценарных моделей и диалоговых грамматик в одной структуре. Предполагается, что диалоги состоят из череды так называемых игр. Каждая игра составлена из последовательности ходов, которые возможны в соответствии с набором правил (похожих на грамматики), и вся игра запланирована участвующими агентами (как в модели основанной на сценариях). Таким образом, агенты совместно используют знания (представления и цели) в ходе диалога, и игры могут быть вложенными (возможны поддиалоги) для достижения подцелей. В этой структуре ходы часто приравниваются к речевым актам. Модель довольно формально определяет ходы, допустимые для каждого из участников в данный момент игры (по правилам и в соответствии с целью) и таким образом, моделируются диалоги.

Для задания требований к диалоговой системе вводятся следующие определения.

Игровая доска определяется двумя ее частями: общая доска и личные доски:

- Общая доска. Принято представлять диалог, как взаимодействие на общей доске. Эта доска содержит упорядоченную историю ходов, идентификатор игры со связанными правилами, которые были известны до начала или стали известны в процессе диалога.
- Личная доска — личные представления каждого игрока, неизвестные другим. Это в частности предполагает игру с неполной информацией.

Ход — базовое действие игрока в игре, и оно имеет цену. Шагом игры называется интервал между двумя ходами. Игрок, который должен ходить — активный.

Когнитивный контекст — состояние личных досок и совместно принятые факты на публичной доске.

С каждом шагом игры меняется ее когнитивный контекст из-за добавления или удаления фактов на игровой доске. В этом отношении это понятие может быть отнесено к акту диалога. Формально акт диалога определен как коммуникативная функция, примененная к содержательным высказываниям. Также вводится пустой ход. Этот ход не влияет на когнитивный контекст игры, но увеличивает счетчик ходов, как любое диалоговое действие.

Вдобавок, активный игрок может сделать логический ход. Такой ход изменяет доску, применяя логическое правило. Логический ход ничего не предлагает и не увеличивает счетчик игры.

Цели. Даже если намерения напрямую не реализованы в игре, игроки имеют цели, когда играют в игру. Цели записаны в данной модели структурой игры.

Правила. Понятие «правило» сильно связано с сущностью игры. Не существует подхода, который мог бы дать чистое представление различных правил в диалоговых играх. Начальные же правила игры можно просто определить как функцию, определяющую доступные ходы. Такие правила называются эффективными — имеющими эффект.

Структуру комплекса составляют две части: генератор сценариев и диалоговая система. В практической реализации модель выглядит следующим образом:

- Имеется история диалога, в которой хранятся все фразы системы и ответы пользователя.
- Имеется функция, принимающая в качестве аргумента историю диалога и возвращающая множество допустимых ходов. Эта функция определяет так называемые правила игр.
- Каждый речевой акт заносится в историю. Если какой-то шаг не удовлетворяет правилам игры, то состояние игры откатывается на шаг назад.

Создание сценария, построенного на основе модели теории игр начинается добавлением вопросов и прочей информацией и завершается созданием конфигурационного документа сценария. Эксперт заполняет текст вопроса, правила в таблице, переход на другой сценарий диалога, справку и сообщение об ошибке. Если оставить поле «Переход» пустым, то при соответствующем ему ответе система автоматически перейдет к следующему вопросу (игрок в таком случае совершает "пустой ход").

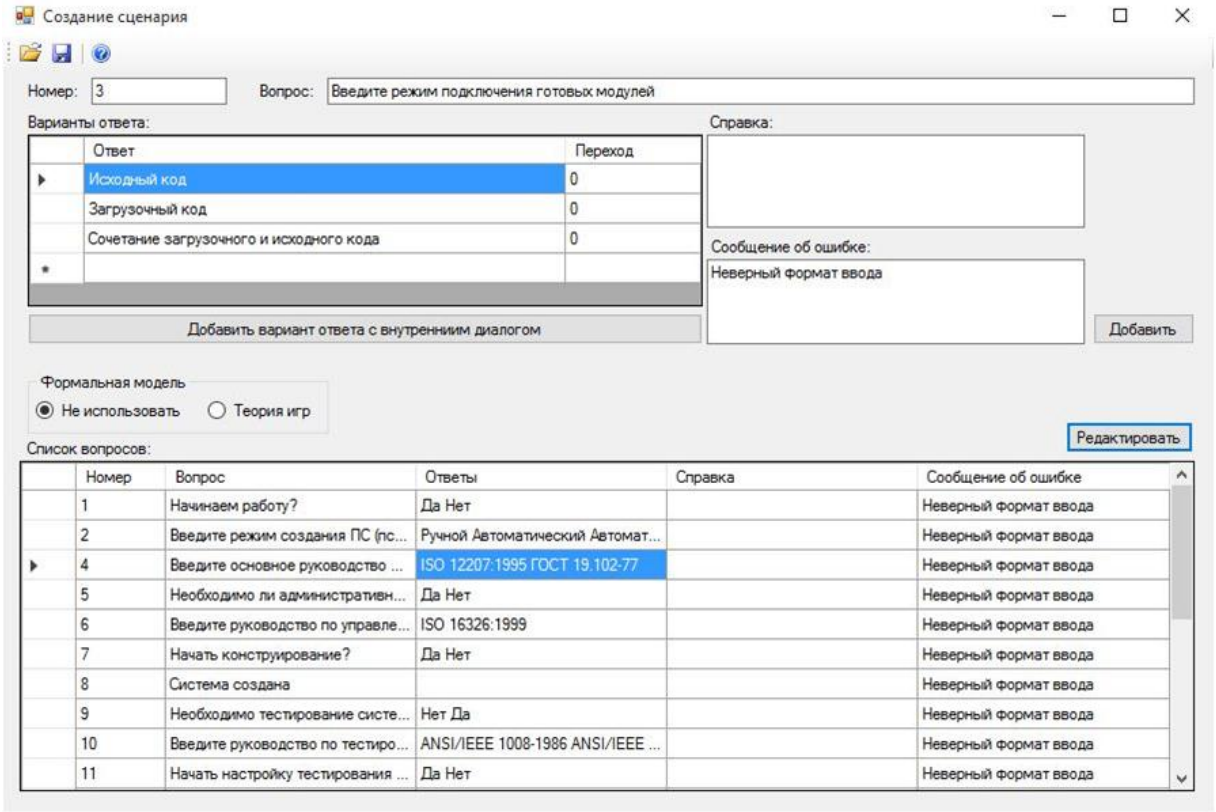


Рисунок 1. Макет модели на основе теории игр: интерфейс создания сценария.

После выполнения этих действий созданный файл можно открыть самой диалоговой системе. Пользователю предлагается пройтись по сценарию диалога и ответить на вопросы. Исходя из ответа пользователя, система переходит в необходимое состояние и записывает результаты.

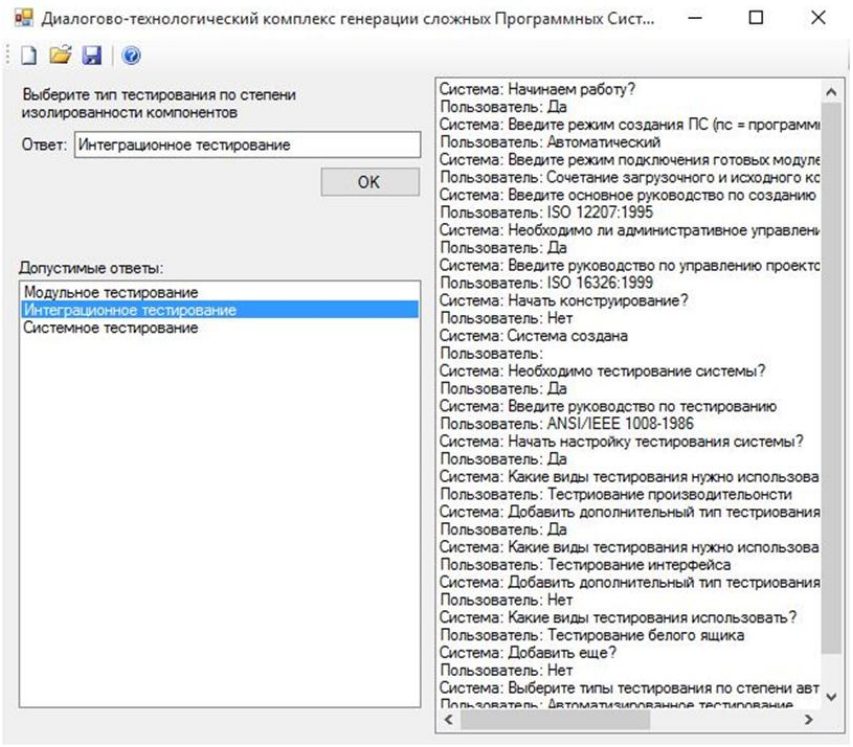


Рисунок 2. Макет модели на основе теории игр: интерфейс диалога с пользователем.

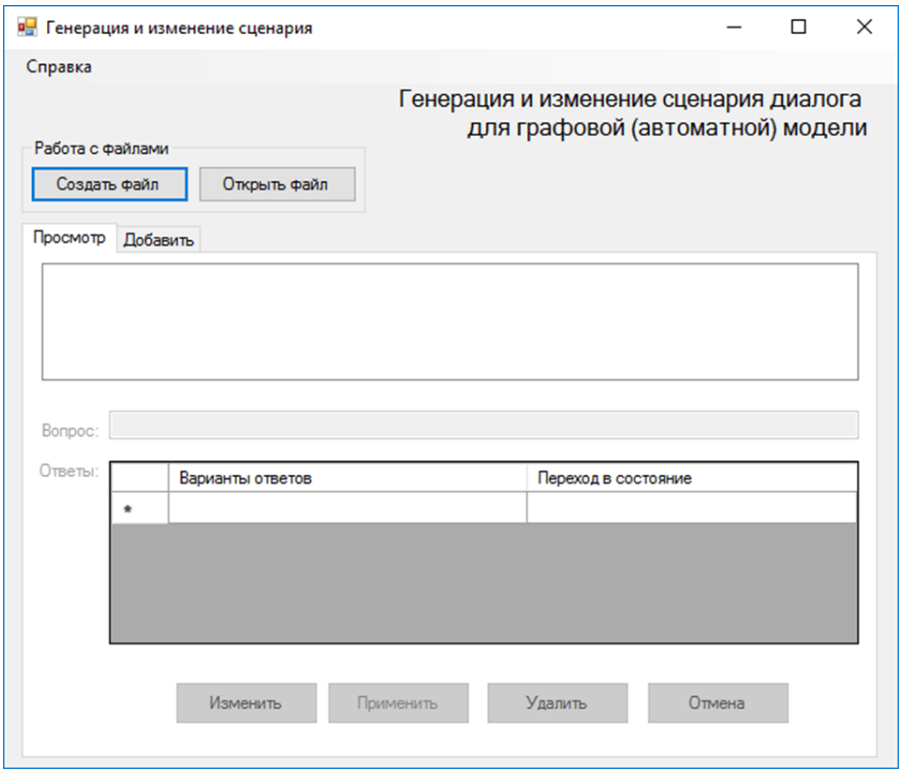


Рисунок 3. Макет графовой модели: интерфейс создания сценария.

3.2. Макет на основе графовой модели

Графовая (автоматная) модель является одной из доступных и понятных моделей для реализации программных систем. Граф — основной объект изучения математической теории графов, совокупность непустого множества вершин и наборов пар вершин (связей между вершинами).

Структуру макета составляют две части: реализация модели с заданными свойствами с помощью, так называемого, генератора сценария и применение построенного сценария в диалоговой системе. В качестве прототипной практической реализации графовой (автоматной) модели модель будет выглядеть следующим образом:

- Каждой вершине графа соответствует вопрос диалога;
- Каждому переходу в графе соответствует один из возможных вариантов ответов на вопрос, что по сути предоставляет нам возможность перемещаться в любые доступные состояния;
- Каждому вопросу, аналогично вершине графа, присваивается некоторое состояние.

Создание сценария, построенного на основе графовой (автоматной) модели начинается с создания пустого документа в формате .xml. Для записи данных состояния (вершины) графа используется поле «Вопрос», в которое записывается текст вопроса. Граф реализован таблицей с полями «Варианты ответов», «Переход в состояние». После заполнения формы необходимо нажать кнопку «Добавить вопрос». Путем таких последовательных действий с указанием номера перехода на определенное состояние для каждого варианта ответа на вопрос можно сформировать файл, в котором хранится сценарий, построенный на основе модели.

После выполнения этих действий можно открыть заполненный файл сценария в главном окне программы. После таких манипуляций пользователю предлагается пройтись по сценарию диалога и ответить на вопросы. Исходя из ответа пользователя, система переходит в необходимое нам состояние и записывает результат в «Ход диалога». В ходе диалога присутствует анализатор ошибок, который выводит в поле «Сообщение об ошибке» информацию пользователю о том, что он ввёл неверный ответ и система вновь просит его ответить на вопрос, выбрав один из предложенных вариантов ответа.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были рассмотрены концептуальные основы построения генератора ПО сложных систем как сложной системы с макетно-модельным подходом к разработке, позволяющим в краткие сроки получать базовый макет системы, пригодный для дальнейшего итеративного расширения, для тестирования и для учебных целей.

Получены макеты, которые будут в дальнейшем использованы в учебном процессе по курсам «Проектирование и архитектура программных систем», «Объектно-ориентированный анализ и проектирование» и «Конструирование программного обеспечения».

Список литературы

1. *Георгиев В.О., Поликашин Д.С., Рафиков Д.С., Бурнашев Р.А., Прокопьев Н.А.* Учебно-макетный вариант инструментальной системы «Преобразователь кода « TCJ«. Сборник.//Языки программирования и компиляторы - 2017: труды конференции/ Южный федеральный университет; под ред. Д.В. Дуброва - Ростов-на-Дону: Издательство Южного Федерального университета, 2017. - 282 с. ISBN 978-5-9275-2349-8. с. 75-78.
2. *Георгиев В. О.* Учебно-модельный вариант интерактивной системы генерации ПО сложных систем, с предварительной прединтерпретацией программных модулей // Материалы XXII Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии (ИСТ-2016)». 2016 г. с. 248-249.
3. *Георгиев В.О.* Программная инженерия: технологические принципы разработки программного обеспечения на уровне формализованного описания, на примере абстрагированной диалоговой системы // Материалы трудов международной конференции TEL'2014 «Языковая семантика: модели и технологии». 2014 г. с. 40-41.
4. *Georgiev V. O., Prokopiev N. A.* Model Approach To Interactive System Software Development // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2015. v. 10. № 24. pp. 45208-45213.
5. *Maudet. N., Evrard. F. A* Generic Framework For Dialogue Game Impementation // Proceedings of 2nd Workshop on Formal Semantics & Pragmatics of Dialogue. 1998. pp. 185-198.
6. *А. Е. Арменский.* Тензорные методы построения информационных систем. Москва: «Наука», 1989. 152 с.

05.13.00

Л.А. Галиуллин

Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
кафедра информационных систем,
Набережные Челны, galilenar@yandex.ru

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-97-99

Показано использование метода декомпозиции для технологического процесса испытаний и диагностики двигателей внутреннего сгорания. Предложена многоуровневая структура описания технологического процесса испытаний двигателей, состоящая из элементарных операций управления. Описанная методика реализована в виде программы для ЭВМ.

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, декомпозиция, операция управления, испытания двигателя.*

Разложение технологического процесса тестирования будет выполняться с целью создания графических структур, описывающих процесс тестирования. В [1] предлагается принцип разложения, который разбивает технологию процесса испытаний на модули, блоки, комплексы, графические образы и элементарные операции. Более того, элементарные операции были неделимыми элементами технологии, такими как включение тумблера, сбор сигнала с определенного устройства и т. Д. В нашем случае этот принцип несостоятелен, поскольку на технологическом языке будут использоваться графические структуры, которые Иметь большой информационный потенциал и использовать их в качестве элементарных операций, не будет оправданным. Разложение будет выполняться в увеличенных структурах [2].

Технологический процесс представлен в виде контрольных операций. Определены следующие типы управления двигателем:

1) управление скоростью коленчатого вала;
2) моделирование условий работы двигателя (таких как погодные условия, режимы работы и тп);
3) контроль температуры топлива, охлаждающей жидкости и масла;
4) управление тормозным устройством.

Приведенные контрольные операции затем также подлежит разложению [3]. Поскольку технологический процесс представляется графическими зависимостями, включающими в себя отдельные области (например, при управлении скоростью коленчатого вала, технолог будет задавать график зависимости скорости вращения от времени и, следовательно, характерные области: ускорение, торможение и режим постоянной работы), тогда целесообразно сделать разложение на них. Мы получаем элементарные компоненты, которые позволяют нам представить задачу с использованием графических образов для управления процессом диагностики двигателя, то есть с компонентами, из которых построена вся технология тестирования двигателей.

Таким образом, в соответствии с описанной методикой технология испытания двигателей состоит из четырех уровней декомпозиции и спецификация общих тестовых задач:

- общая технология (Т),
- операции управления (ОУ),
- управляющая операция для определенных устройств ($О_{jj}$),
- элементарная операция управления (ЭОУ).

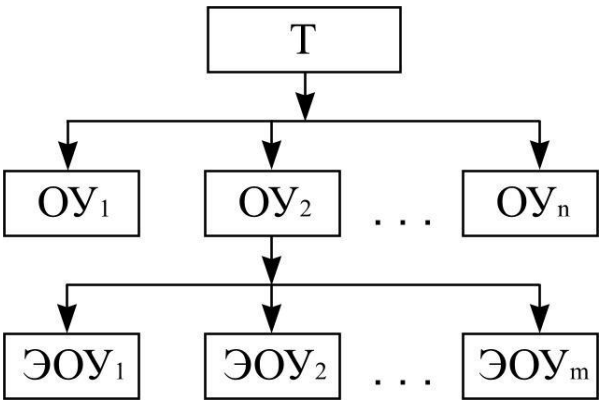


Рис. 1. Технология диагностики двигателей

Операции управления позволяют задавать режимы тестирования и получать зависимости от элементарных операций управления (ЭОУ), а оставшиеся структуры состоят их набора нижних элементов.

Элементарные операции контроля и измерения на самом деле являются сложными объектами, которые состоят из подпрограмм тестирования и диагностики двигателей для задания конкретного режима работы двигателя.

Отсюда следует, что произвольная тестовая технология Т может быть представлена как зависимость от управляющей операции У:

$$T = [У_{ij}]_{mn}, \quad (1)$$

где $[V_{ij}]_{mn}$ – набор унифицированных i-х параметрически задаваемых операций технологического управления j-го типа функциональности;

M – число операций управления для разных типов управляющих устройств;

N – число функциональных типов управляющих операций.

Произвольная параметрическая настраиваемая технологическая операция управления двигателем при тестировании задается как:

$$y_{ij} = \left\{d_{ij}^{'}; \Phi_{ij}\left(d_{ij}^{'} \mid \psi_{ij}\right); d_{ij}\right\}, \quad (2)$$

где $d_{ij}^{'}$ – управляющий входной вектор,

d_{ij} – операция управления выходными данными в векторном формате,

Φ_{ij} – функция зависимости входных данных от выходных данных,

ψ_{ij} – векторный настраиваемых параметров управления.

Технологические операции функционального типа следуют принятому принципу разложения и обобщенного цикла тестовых работ [4]. Этот тип операций включает в себя, например операцию задания режимов работы двигателя, операцию задания работы нагрузочного устройства и т.д [5].

Следовательно, если рассмотреть функциональную управляющую операцию первого типа как операцию управления частотой вращения коленчатого вала и, соответственно, принимая $j = 1$, получается элементарная произвольная операция для управления скоростью вращения коленчатого вала:

$$y_{i1} = \left\{d_{i1}^{'}; \Phi_{i1}\left(d_{i1}^{'} \mid \psi_{i1}\right); d_{i1}\right\} \quad (3)$$

Таким образом, тестовая технология Т построена из матрицы, сохраняя элементарные управляющие операции [6]. Матричные столбцы, соответственно, являются элементарными управляющими операциями определенного типа. Это разложение было выполнено

специально для использования графических изображений технологами, поэтому графический язык тестов должен быть разложен, в первую очередь, в соответствии с предлагаемым принципом декомпозиции, определенным для элементарных управляющих операций [7].

Описанная методика декомпозиции технологического процесса испытаний двигателей внутреннего сгорания реализована в виде программы для ЭВМ [8].

Список литературы

1. *Зубков Е.В.* Имитационное моделирование технологических процессов испытаний дизелей при динамических нагрузках // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. - №11-4. - С.592-593.

2. *Зубков Е.В.* Моделирование режимов работы дизеля при динамических нагрузках // Информационные технологии. Автоматизация. Актуализация и решение проблем подготовки высококвалифицированных кадров (ИТАП - 2014) Сборник материалов Международной научно-практической конференции (дистанционная форма). Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"; Информационно-образовательный центр подготовки специалиста машиностроительного профиля. – 2014. – С.117-120.

3. *Galiullin L.A., Valiev R.A.* Modeling of internal combustion engines test conditions based on neural network // International Journal of Pharmacy and Technology. – 2016. – № 3. – С.14902-14910.

4. *Валиев Р.А., Хайруллин А.Х., Шибаков В.Г.* Модели и методы синтеза алгоритмов и программ систем автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении // Вестник машиностроения. – 2015. – №6. – С.48–51.

5. *Галиуллин Л.А., Зубков Е.В.* Нейро-нечеткая настройка автоматизированной системы испытаний дизельных двигателей // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2011. - №7. – С.26-31.

6. *Zubkov E.V., Khairullin A.K.* Neural-network simulation of diesel operation under a nonsteady load // Russian Engineering Research. – 2016. - №4. – С. 262-265.

7. *Зубков Е.В.* Модуль имитационного моделирования режимов работы дизелей автоматизированной системы испытаний // Фундаментальные исследования. – 2015. - №11-1. - С.49-53.

8. *Гараев А.З., Юнусов И.Р., Галиуллин Л.А.* Проектирование информационной системы технической поддержки в виде веб-приложения // VII Камские чтения Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, в трёх частях. Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет". – 2015. – С.83-85.

05.13.18

А.И. Егунова к.и.н., А.А. Аббакумов к.т.н., М.А. Воропаева

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва, институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, vallis_nimbium@mail.ru

ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВАЯ ПОДСИСТЕМА ХРАНИЛИЩА ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-100-103

В статье рассматриваются результаты исследования по разработке информационно-поисковой подсистемы по обработке запросов на естественном языке для системы управления хранилищем электронных образовательных ресурсов. Встроенная подсистема поиска позволяет с большой долей вероятности получать необходимый результат с широким выбором ранжированных документов, соответствующих запросу пользователя.

Ключевые слова: э*лектронный образовательный ресурс, запрос на естественном языке, информационно-поисковая подсистема, автоматическое извлечение ключевых слов, дистанционное образование.*

Введение

Эпоха информатизации разнообразных областей человеческой деятельности предлагает новые ветви исследования больших массивов данных и обуславливает ряд проблем, связанных с обработкой широкого спектра неструктурированной информации. При разработке систем хранения и управления данными такого типа приходится решать задачи по определению удобного формата представления информации в БД и извлечения необходимых знаний из нее, автоматизации добавления, классификации и актуализации новых ресурсов, а также поддержки эффективных средств поиска и анализа поисковых запросов пользователя на естественном языке.

Решение задачи подбора формата хранения неструктурированных данных, представленных чаще всего в виде электронных документов, сводится к определению типа БД и выбору СУБД, направленной на необходимый функционал. В настоящее время возрос интерес к документно-ориентированным СУБД, которые способны обеспечить гибкую систему хранения документов с иерархической структурой, масштабируемость и улучшение показателей производительности при правильном использовании. На практике же в качестве основного хранилища обычно выступает реляционная СУБД, но возможны и гибридные подходы с NoSQL СУБД для работы со сложными объектами, интенсивно изменяющими свое состояние. [1]

При проектировании информационно-поисковой подсистемы разработчик должен учитывать особенности формирования поискового запроса, анализ которого без введения дополнительных ограничений на контекст требует применения методов теории искусственного интеллекта. Добавление ограничений в виде набора фильтров диктует жесткую классификацию документов по предметной области, принадлежность к которой не всегда может определить пользователь, что приводит к выводу множества нерелевантных результатов. Технология семантического поиска сводит количества нерелевантных результатов к минимуму при наличии автоматизированной разметки документа, контентом которого является онтология. Вне существования онтологии пользователь должен обладать навыками создания формального запроса, изучив предварительно формальный язык для его создания. [2]

Для эффективной работы с поисковыми системами на специализированных информационных порталах научной и учебно-методической литературы электронных образовательных ресурсов дистанционного образования в ЦРДО ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский МГУ им. Огарёва» была разработана система, обеспечивающая следующие возможности:

- дружественный интерфейс для заполнения информации о ресурсах и их отображения;
- обеспечение оперативного доступа к данным и фильтрация ресурсов по различным критериям;
- управление единым фондом хранения ЭОР с контролем процесса их формирования;
- оптимизация взаимодействия администратора и каталогизатора;
- управление системой администрирования для размещения и доступа к данным. [3]

Целью данного исследования является усовершенствование информационно-поисковой подсистемы, решающей рассмотренные проблемы в области анализа поисковых запросов пользователей, и реализация алгоритма автоматизации извлечения ключевых слов из электронных документов.

Материалы и методы

Материалами для исследования являются электронные образовательные ресурсы дистанционного образования ФГБОУ ВО «Национального исследовательского МГУ им. Н.П. Огарева». Обработка электронных материалов осуществляется с помощью методов анализа текстов на основе математических моделей.

Результаты исследования

Базовая организация существующей информационно-поисковой подсистемы показывает, что она предоставляет возможность фильтрации ресурсов по ограниченному набору критериев: типу ресурса, направлению подготовки, дисциплине, автору, названию или части названия. Использование данного подхода обеспечивают оперативный доступ к ресурсам при выборе одного или нескольких конкретных критериев. В определенных случаях пользователь затрудняется определить принадлежность ресурса к доступным фильтрам, не позволяя системе ограничить область поиска. Для решения данной проблемы создан интерфейс, выполняющий процедуру анализа запросов на естественном языке.

Одной из особенностей поисковых запросов, составленных на естественном языке, является отсутствие их выраженной структурированности, необходимой для извлечения электронных образовательных ресурсов, максимально отвечающих требованиям пользователя. Таким образом, для усовершенствования поисковой подсистемы разработан алгоритм поиска, сочетающий простоту реализации с достаточной степенью релевантности выходных данных. Алгоритм обработки поискового запроса на естественном языке включает следующие этапы:

I этап. Автоматическая предобработка запроса

- удаление пунктуации;
- парсинг поисковой строки;
- перевод букв слов в нижний регистр;
- удаление "стоп-слов";
- выделение основ слов с помощью стеммера Портера. [4]

II этап. Поиск значащих слов запроса пользователя в базе данных ключевых слов

- сопоставление значащих слов запроса ключевым словам базы данных;
- выбор документов, содержащих заданные ключевые слова.

III этап. Ранжирование документов по ключевым словам поиска

- определение количества ключевых слов в выбранных документах;
- сортировка документов по количеству ключевых слов запроса.

IV этап. Вывод результатов поиска

- отображение ранжированных документов с их метаописаниями.

На этапе автоматической предобработки запроса для удаления "стоп-слов" используется словарь служебных частей речи.

Эффективность разработанного алгоритма поиска зависит от корректности базы данных ключевых слов, автоматически генерируемой функционалом системы предобработки. Алгоритм автоматизации извлечения ключевых слов из электронных документов включает следующие этапы:

I этап. Автоматическая предобработка документа

– удаление пунктуации;
– парсинг текста;
– перевод букв слов в нижний регистр;
– удаление "стоп-слов";
– выделение основ слов с помощью стеммера Портера. [4]

II этап. Извлечение ключевых слов из обработанного документа

– ранжирование слов текста по частоте;
– исключение незначащих слов по выбранному порогу отсечения.

III этап. Обновление базы ключевых слов системы

– сопоставление значащих слов документа существующим ключевым словам;
– загрузка отсутствующих ключевых слов с соответствующей частотой встречаемости в базу данных.

На этапе извлечения ключевых слов из обработанного документа необходимо определить порог отсечения незначащих слов по частоте их использования. Пронумеровав отсортированные частоты по мере их убывания, получим порядковые номера соответствующие рангу слова.

По результатам тестирования алгоритма частота наиболее значимых слов оказалась больше значения 40. Данная частота составляет примерно 2% от всех слов электронного документа. Слова с частотой встречаемости ниже выбранного порога будут исключены на II этапе алгоритма. Зависимость ранга слова от частоты для учебно-методических пособий различных дисциплин показана на рисунках 2-3:

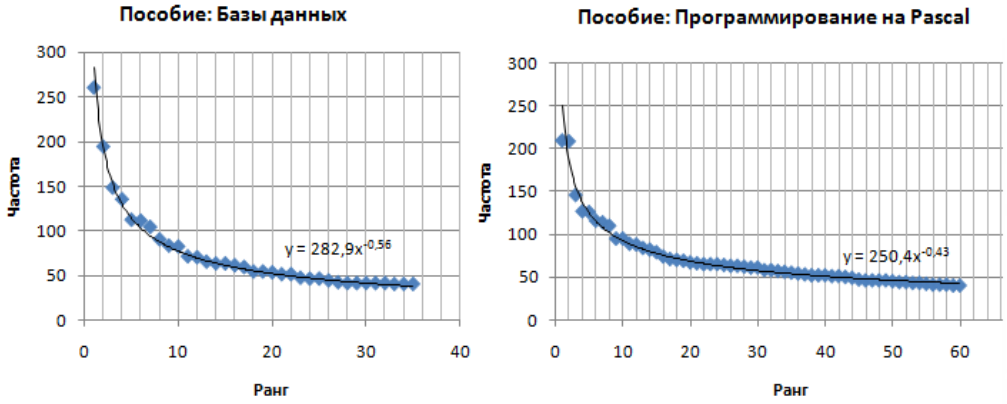


Рис. 2 — Зависимость ранга слова от частоты для учебно-методических пособий технических дисциплин

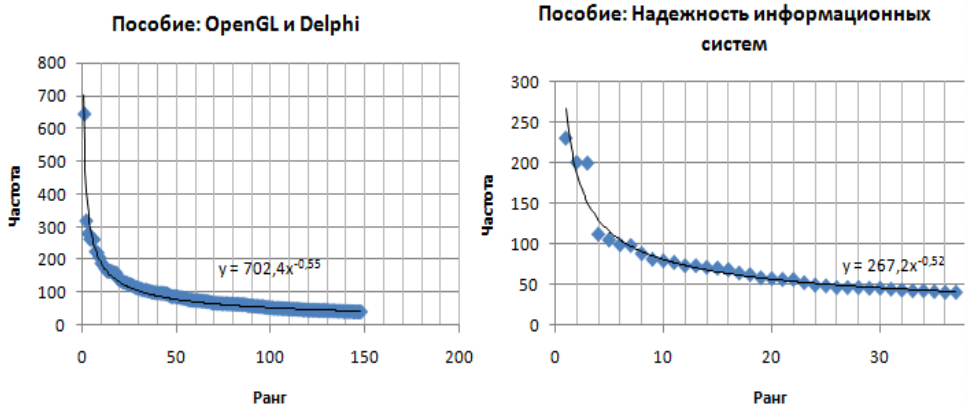


Рис. 3 — Зависимость ранга слова от частоты для учебно-методических пособий технических дисциплин

На графиках хорошо видно, что формирование словаря ключевых слов заканчивается в момент стабилизации частоты использования терминов. Резкий скачок между максимально часто употребляемыми терминами и научными оборотами характерен для всех графиков, что объясняет подход, заключающийся в ограничении базы ключевых слов для экономии места без потери эффективности.

Для пособия по базам данных были автоматически определены ключевые слова (основы слов), среди которых лидирующие позиции заняли (таблица 1):

Таблица 1 — Ключи поиска для пособия по базам данных

Ранг	Слово	Частота
1	дан	260
2	таблиц	194
3	sql	148
4	баз	135
5	значен	112
6	триггер	111
7	server	104
8	котор	90
9	файл	83
10	select	82
11	строк	71
12	столбц	70
13	тип	65
14	запрос	63
15	from	63
16	функц	61

По результатам выполнения алгоритма автоматизации извлечения ключевых слов из электронных документов видно, что данные ключи достаточно корректно отображают дисциплину "Базы данных", но требуется улучшение алгоритма для исключения слов, следующего типа: "можн" с частотой 41, "быт" - 42, "работ" - 47.

Обсуждение и заключения

Полученные исследования показали, что специализированный текст учебной литературы содержит научные термины, которые хранятся в системе в качестве ключей поиска и составляют около 2%. Поиск может выполняться на естественном языке без соблюдения правил логической согласованности терминов. При формировании информационной системы словарь ключевых слов пополняется в зависимости от тематики подгружаемых документов, проходя предварительную аналитическую обработку больших объемов неструктурированной текстовой информации. Портал позволяет с большой долей вероятности получать необходимый результат с широким выбором ранжированных документов, соответствующему запросу пользователя. Дальнейшее расширение системы предусматривает аналитическую обработку электронных образовательных ресурсов, зарегистрированных в системе, по формированию корпусов научных текстов.

Список литературы

1. *С.Д. Кузнецов, А.В. Посконин.* Распределенные горизонтально масштабируемые решения для управления данными // Труды Института системного программирования РАН, том 24, 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.ispras.ru/proceedings/docs/2013/24/isp_24_2013_327.pdf

2. *Басипов А.А., Демич О.В.* Семантический поиск: проблемы и технологии // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. управление, вычисл. техн. информ., 2012, № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://cyberleninka.ru/article/n/semanticheskiy-poisk-problemy-i-tehnologii

3. *Егунова А.И., Воропаева М.А.* Система управления хранилищем электронных образовательных ресурсов // СИНТЕЗ НАУКИ И ОБЩЕСТВА В РЕШЕНИИ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ СОВРЕМЕННОСТИ: сборник статей Международной научно - практической конференции (Уфа, 28 июля 2016г.). В 2ч. Ч.2 - Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2016.–С.22-25.

4. Стеммер Портера для русского языка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.algorithmist.ru/2010/12/porter-stemmer-russian.html

05.13.06

Е.В. Ефремов, Д.Е. Барков

Томский политехнический университет,
Физико-технический институт, кафедра электроники и автоматики физических установок,
Томск, efremov@tpu.ru

МОДИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЫПАРНОГО АППАРАТА РАДИОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-104-107

Работа посвящена усовершенствованию математической модели выпарного аппарата экстракционно-кристаллизационного передела радиохимической переработки отработанного ядерного топлива. Представленная модель позволяет наблюдать изменение концентраций компонентов в процессе выпаривания.

Ключевые слова: *математическая модель, химико-технологический процесс, выпаривание.*

В представленной в [1] модели выпарного аппарата (ВА) концентрирования реэкстракта урана плотность исходного продукта являлась входной переменной. Такой подход связан с отсутствием информации о функциональной связи между плотностью продукта с концентрациями основных компонентов в нем и его температурой. Поэтому модель ВА позволяет лишь рассчитывать изменение плотности раствора в процессе упаривания. Использование такой модели затрудняет возможность наблюдать изменение концентраций компонентов упариваемого раствора. В [2] приведена эмпирическая зависимость (1) плотности реэкстракта ρ от концентраций урана C_U, азотной кислоты C_{HNO3} и температуры T, позволяющая устранить вышеописанную проблему.

$$\rho = 10^3 \cdot \left(1.02 + 2.9 \cdot 10^{-2} \cdot C_{HNO_3} + 1.3 \cdot 10^{-3} \cdot C_U - \left(4.7 \cdot 10^{-4} + 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot C_{HNO_3}\right) \cdot T\right) \quad (1)$$

Для модификации модели, предложенной в [1], без изменения ее математического описания необходимо разработать способ расчета концентраций урана и азотной кислоты в упаренном продукте. Их линейная связь с плотностью раствора в формуле (1) позволяет сделать это. Так, если в процессе упаривания концентрации компонентов увеличились в *k*-раз, а температура раствора – в *m*-раз, то на основании (1):

$$\rho_{k,m} = c_0 + c_1 \cdot k \cdot C_{HNO_3} + c_2 \cdot k \cdot C_U - (c_3 + c_4 \cdot k \cdot C_{HNO_3}) \cdot m \cdot T \quad (2)$$

Выразим из последнего выражения коэффициент *k*:

$$k = \frac{\rho_{k,m} - c_0 + c_3 \cdot m \cdot T}{c_1 \cdot C_{HNO_3} + c_2 \cdot C_U - c_4 \cdot m \cdot T}, \quad (3)$$

откуда:

$$\begin{cases} C_U^{k,m} = k \cdot C_U \\ C_{HNO_3}^{k,m} = k \cdot C_{HNO_3} \end{cases} \quad (4)$$

В результате на каждой *i*-итерации алгоритм расчета модели должен быть следующим:

– используя формулу (1), рассчитать плотность исходного раствора с заданными температурой и концентрациям урана и азотной кислоты в нем;

– с помощью ранее разработанной модели вычислить температуру упаренного раствора и его плотность;

– используя выражения (3) и (4), рассчитать концентрацию урана и азотной кислоты в упаренном растворе.

Результаты моделирования показали принципиальную возможность использования данной модификации в случае моделирования процесса концентрирования раствора как отдельного передела при неизменности характеристик исходного продукта. Но при использовании модели ВА как модуля в технологической цепочке, допуская возможность изменения концентраций основных компонент в исходном растворе, поступающего на

выпарку, появляется сомнение о дальнейшем сохранении материального баланса по компонентам в динамике.

Вторым недостатком разработанного подхода является невозможность дальнейшего развития модели с целью учета эффектов от уноса азотной кислоты с соковым паром, добавления флегмы. Поэтому необходима следующая модификация математического описания модели.

Запишем уравнение материального баланса раствора в аппарате:

$$\frac{d}{dt}(\rho \cdot V) = \rho\frac{dV}{dt} + V\frac{d\rho}{dt} = Q_f\rho_f - Q_p\rho - W \quad (5)$$

где ρ_f , ρ – плотности исходного и кубового растворов, кг/м^3; V – объем раствора в аппарате, м^3; Q_f , Q – объемные расходы исходного и упаренного растворов, м^3/с; W – массовый расход вторичного пара, кг/с; t – время, с.

Уравнение (5) может быть записано относительно скорости изменения объема раствора в аппарате:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{\rho}\left(Q_f\rho_f - Q_p\rho - W - V\frac{d\rho}{dt}\right) \quad (6)$$

Так как плотность является функцией трех переменных, то:

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{\partial\rho}{\partial C_{HNO_3}} \cdot \frac{\partial C_{HNO_3}}{\partial t} + \frac{\partial\rho}{\partial C_U} \cdot \frac{\partial C_U}{\partial t} + \frac{\partial\rho}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (7)$$

С учетом (1), уравнения для вычисления частных производных:

$$\frac{\partial\rho}{\partial C_{HNO_3}} = 29 - 3.5 \cdot 10^{-2} \cdot T \quad (8)$$

$$\frac{\partial\rho}{\partial C_U} = 1.3 \quad (9)$$

$$\frac{\partial\rho}{\partial T} = -(4.7 \cdot 10^{-1} + 3.5 \cdot 10^{-2} \cdot C_{HNO_3}) \quad (10)$$

В соответствие с (6–10) изменение объема раствора может быть вызвано испарением, изменением расходов и плотности раствора вследствие изменения концентраций компонентов в нем и его температуры.

Дополним уравнения (6) и (7) уравнениями элементных балансов для урана и азотной кислоты:

$$\frac{d}{dt}(C_U \cdot V) = Q_f \cdot C_U^f - Q_p \cdot C_U \quad (11)$$

$$\frac{d}{dt}(C_{HNO_3} \cdot V) = Q_f \cdot C_{HNO_3}^f - Q_p \cdot C_{HNO_3} \quad (12)$$

где C_U , C_U^f – концентрации урана в аппарате и исходном растворе, г/л; C_{HNO_3}, $C_{HNO_3}^f$ – концентрации азотной кислоты в аппарате и исходном растворе, г/л.

После нахождения производной от произведения в (11) и (12) уравнения могут быть записаны относительно скоростей изменения концентраций:

$$\frac{dC_U}{dt} = \frac{1}{V}\left(Q_f \cdot C_{HNO_3}^f - Q_p \cdot C_{HNO_3} - C_{HNO_3} \cdot \frac{dV}{dt}\right) \quad (13)$$

$$\frac{dC_{HNO_3}}{dt} = \frac{1}{V}\left(Q_f \cdot C_{HNO_3}^f - Q_p \cdot C_{HNO_3} - C_{HNO_3} \cdot \frac{dV}{dt}\right) \quad (14)$$

Из выражений (13–14) следует, что концентрации будут изменяться также при изменении объема раствора, в частности вызванном изменением температуры. Такой характер изменения концентраций является допустимым, так как в рассматриваемом случае данные величины выражены в граммах на литр. Так увеличение температуры раствора вызывает увеличение его объема вследствие уменьшения плотности раствора, и тем самым приводит к уменьшению концентрации компонента, выраженного в граммах на литр. Но при этом масса компонента в растворе останется неизменной.

Запишем уравнение теплового баланса раствора в аппарате для случая идеальной теплоизоляции (пренебрегаем тепловыми потерями в окружающую среду):

$$\frac{d}{dt}(\rho V c T) = Q_f \cdot \rho_f \cdot c_f \cdot T_f - Q_p \cdot \rho \cdot c \cdot T - W \cdot (\lambda_w + c_w \cdot T) + F \quad (15)$$

где c, c_f – удельные теплоемкости упаренного и исходного растворов, Дж/кг·К; c_w – удельная теплоемкость воды, Дж/кг·К; T, T_f – температуры упаренного и исходного растворов, К; λ_w, – удельная теплота парообразования для воды, Дж/кг; F – тепловой поток от нагревателя, Дж/с.

Считая, что *c* является независимым параметром, раскроем производную в (15):

$$\frac{d}{dt}(\rho VcT) = c \cdot V \cdot T \cdot \frac{d\rho}{dt} + c \cdot \rho \cdot T \cdot \frac{dV}{dt} + c \cdot \rho \cdot V \cdot \frac{dT}{dt} \quad (16)$$

С учетом (16) перепишем уравнение теплового баланса раствора в аппарате (15) относительно скорости изменения его температуры:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho \cdot V} \cdot \left(\frac{1}{c} \cdot (Q_f \cdot \rho_f \cdot c_f \cdot T_f - Q_p \cdot \rho \cdot c \cdot T - W \cdot (\lambda_w + c_w \cdot T) + F) - V \cdot T \cdot \frac{d\rho}{dt} + \rho \cdot T \cdot \frac{dV}{dt}\right) \quad (17)$$

Тепловой поток от нагревателя *F* может быть рассчитан следующим образом:

$$F = \alpha_1 \cdot S_1 \cdot (T_H - T) \quad (18)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от медного элемента нагревателя к раствору, Дж/м^2·К; S_1 – площадь теплопередачи, м^2; T_H –температура медного элемента нагревателя, К.

Вследствие того, что тепловой поток в раствор от нагревателя передается от внешнего электрического нагревателя через массивный медный элемент, требуется учет вносимой им инерционности в процесс нагрева. Поэтому дополним математическое описание модели уравнением теплового баланса для нагревателя:

$$\frac{dT_H}{dt} = \frac{1}{c_H \cdot m_H} \cdot (H - F) \quad (19)$$

где *H* – мощность электрического нагревателя, Дж/с.

Для воспроизведения моделью пускового режима (нагрева раствора до кипения) и основной стадии упаривания, будем полагать равенство нулю массового потока вторичного пара *W* до стадии кипения. При достижении температуры кипения *W* будет рассчитываться по уравнению (17) приравняв его нулю, и тем самым обеспечивая в режиме кипения неизменность температуры раствора в аппарате, т.к. производная *dT*/*dt* будет равна нулю.

Недостаток априорной информации о функциональной зависимости температуры кипения уранового раствора от концентраций компонентов в нем и внешнего давления, вынуждают задавать эту величину как параметр модели.

В результате получим следующую систему основных уравнений модели аппарата упаривания уранового раствора (20):

$$\begin{cases} \dfrac{dV}{dt} = \dfrac{1}{\rho}(Q_f\rho_f - Q_p\rho - W - V\dfrac{d\rho}{dt}) \\ \dfrac{dC_U}{dt} = \dfrac{1}{V}(Q_f \cdot C^f_{HNO_3} - Q_p \cdot C_{HNO_3} - C_{HNO_3} \cdot \dfrac{dV}{dt}) \\ \dfrac{dC_{HNO_3}}{dt} = \dfrac{1}{V}(Q_f \cdot C^f_{HNO_3} - Q_p \cdot C_{HNO_3} - C_{HNO_3} \cdot \dfrac{dV}{dt}) \\ \dfrac{dT}{dt} = \dfrac{1}{\rho \cdot V} \cdot \left(\dfrac{1}{c} \cdot (Q_f \cdot \rho_f \cdot c_f \cdot T_f - Q_p \cdot \rho \cdot c \cdot T - W \cdot (\lambda_w + c_w \cdot T) + F) - V \cdot T \cdot \dfrac{d\rho}{dt} - \rho \cdot T \cdot \dfrac{dV}{dt}\right) \\ W = \begin{cases} 0, T < T_{кип} \\ \dfrac{1}{(\lambda_w + c_w \cdot T)} \cdot (Q_f \cdot \rho_f \cdot c_f \cdot T_f - Q_p \cdot \rho \cdot c \cdot T + F - V \cdot T \cdot c \cdot \dfrac{d\rho}{dt} - \rho \cdot T \cdot c \cdot \dfrac{dV}{dt} \end{cases} \\ \dfrac{dT_H}{dt} = \dfrac{1}{c_H \cdot m_H} \cdot (H - F) \\ \dfrac{d\rho}{dt} = \dfrac{\partial\rho}{\partial C_{HNO_3}} \cdot \dfrac{\partial C_{HNO_3}}{\partial t} + \dfrac{\partial\rho}{\partial C_U} \cdot \dfrac{\partial C_U}{\partial t} + \dfrac{\partial\rho}{\partial T} \cdot \dfrac{\partial T}{\partial t} \\ \dfrac{\partial\rho}{\partial C_{HNO_3}} = 29.36 - 3.475 \cdot 10^{-2} \cdot T \\ \dfrac{\partial\rho}{\partial C_U} = 1.313 \\ \dfrac{\partial\rho}{\partial T} = -(4.7 \cdot 10^{-1} + 3.5 \cdot 10^{-2} \cdot C_{HNO_3}) \\ F = \alpha_1 \cdot S_1 \cdot (T_H - T) \\ \rho = 10^3 \cdot \left(1.02 + 2.9 \cdot 10^{-2} \cdot C_{HNO_3} + 1.3 \cdot 10^{-3} \cdot C_U - \left(4.7 \cdot 10^{-4} + 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot C_{HNO_3}\right) \cdot T\right) \end{cases}$$

Список литературы

1 *Kozin K.A., Efremov E.V., Kabrysheva O.P., Grachev M.I.* A Computer model of the evaporator for the development of an automatic control system // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – 142. – 012043.

2 *Takahiro Chikazawa, Toshiaki Kikuchi, Atsuhiro Shibata, Tomozo Koyama, Shunji Homma* Batch Crystallization of Uranyl Nitrate // Journal of nuclear science and technology. – 2008. – Vol. 45. – № 6. – P. 582–587.

05.13.19

Т.К. Кляус, Ю.А. Гатчин д.т.н.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»,
факультет информационной безопасности и компьютерных технологий,
кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем
Санкт-Петербург, t_klyaus@corp.ifmo.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ АТАК В МОДЕЛИРОВАНИИ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-108-110

В статье рассмотрен графический подход к моделированию угроз безопасности информации в информационных системах. Предложены условия, при которых применение данного подхода является обоснованным.

Ключевые слова: *моделирование угроз, деревья атак, графы атак, угроза.*

Современный этап развития общества характеризуется существенным возрастанием понимания роли и актуальности проблем обеспечения безопасности во всех сферах жизнедеятельности [1]. Согласно прогнозам компании Cybersecurity Ventures, мировые расходы на кибербезопасность превысят 1 трлн. долларов США в течение следующих пяти лет, с 2017 по 2021 год [2]. Рост затрат на безопасность обусловлен эпидемиями компьютерных вымогательств, переориентацией вредоносного программного обеспечения с персональных компьютеров и ноутбуков на мобильные устройства, ростом атак на информационные активы предприятий и государственных органов.

Моделирование угроз информационной безопасности является универсальным инструментом анализа состояния информационной безопасности и подготовительным этапом перед определением организационных и технических мер защиты информации. Конечная цель процесса идентификации, описания и анализа возможных угроз и уязвимостей заключается в обнаружении рисков информационной безопасности и принятия соответствующих им контрмер.

В научной литературе представлено большое количество разных подходов к моделированию угроз, однако их можно разделить на две группы – составление произвольных списков угроз и анализ угроз с помощью их графического представления.

Анализ проводимых на информационную систему атак с помощью их графического представления может быть проведен с помощью построения деревьев, графов, сетей атак, а также с помощью диаграмм причинно-следственных связей.

Деревья атак представляют собой формальный методический способ описания возможных атак на систему в структурированном виде. Структура дерева атаки представляет собой иерархию узлов, позволяющую разложить абстрактную атаку или цель атаки на несколько более конкретных атак или подцелей [3]. Прототипом деревьев атак являются деревья отказов, применяющиеся в теории надежности и служащие для графического описания комбинаций событий, приводящих к отказу системы. С 1990-х годов аналогичные структуры применяются для анализа угроз и уязвимостей систем. Деревья атак были популяризированы Б. Шнайером в качестве инструмента оценки безопасности систем [4], и получили дальнейшее развитие в ряде работ, в которых были предприняты попытки устранить недостатки стандартного подхода.

Дерево атаки состоит из корневого узла, листовых узлов и узлов ветвления. Как правило, корневой узел (общая цель атакующего) отображается в верхней части дерева с ветвями,

нисходящими от корня. Листовыми узлами являются узлы, расположенные на нижних уровнях дерева и представляющие собой предпринимаемые злоумышленниками действия, которые больше не могут быть разложены на составляющие. Узлы ветвления представляют собой промежуточные состояния или подцели атакующего и обозначаются как узлы «И» или «ИЛИ». Все дочерние элементы узла «И» должны быть истинными для того, чтобы была достигнута цель или состояние данного узла. Истинное состояние узла «ИЛИ» достигается в случае, если один из его дочерних элементов принимает истинное значение.

В статье [3] проведена формализация концепций деревьев атак, неофициально введенных Б. Шнайером. Введены понятия наборов атак, атрибутов деревьев атак, определены правила преобразования деревьев атак в наборы, правила трансформации эквивалентных деревьев атак друг в друга.

Деревья атак применяются в ряде средств автоматизации моделирования угроз [5-7], в фильтрующих записи логов алгоритмах, предназначенных для расследования компьютерных инцидентов [8], в системах обнаружения вторжений.

Подход, описанный в статье [9], устраняет ряд недостатков стандартного подхода к построению деревьев атак – отсутствие отражения взаимодействия между атаками на систему и защитными мерами, предпринимаемыми для предотвращения атак, отсутствие возможности визуализации эволюции безопасности системы. В работе вводится понятие деревьев атак-защиты (attack-defense trees) и определяется новый подход к оценке безопасности информационных систем. Деревья атак-защиты представляют собой графическое отображение возможных мер, которые злоумышленник может предпринять для атаки системы, и способов защиты, используемых ее защитником. Авторы планируют расширить структуру деревьев атак-защиты до направленных ациклических графов атак-защиты для принятия во внимание порядка выполнения этапов атаки при анализе сценариев атак-защиты с вероятностной точки зрения.

Деревья атак тесно связаны с графами атак, однако различие лежит в представлении состояний и действий. Центральная тема для исследований графов атак – последовательность событий. Граф атак – это граф, представляющий собой последовательность действий нарушителя для реализации угроз [10]. Масштабируемость считается основным недостатком такого подхода к моделированию угроз.

Наиболее подробно основные подходы к синтезу и анализу графов атак рассмотрены в статье [10]. В работе рассмотрены виды графов атак, основные подходы к синтезу графов атак и соответствующие ему проблемы, системы топологического анализа защищенности, приведена общая архитектура топологического сканера безопасности.

В статье [11] графы атак рассматриваются в качестве одного из способов графического представления информации о защищенности компьютерной сети. Вершинами графа являются действия злоумышленника, выполняемые им для продвижения от одной скомпрометированной машины к другой, а дуги отражают порядок их выполнения.

В настоящей статье проанализирован ряд научных работ в области моделирования угроз и рассмотрены подходы к графическому представлению атак на информационные системы. Графы атак позволяют последовательно изучить развитие атаки, а деревья атак представляют удобный способ для систематизации различных способов атаки системы. Однако оба подхода имеют ряд недостатков. Деревья атак имеют ряд ограничений: зачастую может быть трудно разбить атаку на полностью независимые составляющие, логические выражения («И» и «ИЛИ») накладывают ограничения на количество методов, доступных для реализации подцелей узла. На практике также существует проблема корректного присвоения индикативных значений листовых узлов дерева [12]. Как было отмечено ранее, главной проблемой графов атак называют масштабируемость – построение полного графа атаки для большой сети и его изменение представляет собой задачу высокой вычислительной сложности [13]. Очевидно, что построение графов или деревьев атак при моделировании угроз безопасности информации является более трудоемким процессом, чем составление списков угроз, однако при моделировании угроз для небольшой сети или отдельной

информационной системы, а также при высокой вероятности организации целенаправленной атаки на систему, применение подобных подходов является обоснованным.

Список литературы

1. *Бузов Г.А.* Защита информации ограниченного доступа от утечки по техническим каналам. – М.: Горячая линия-Телеком, 2015. – 586 с.
2. Cybersecurity market report from the editors at Cybersecurity Ventures [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cybersecurityventures.com/cybersecurity-market-report/ - Загл. с экрана, свободный, Яз. англ. (дата обращения 01.06.2017)
3. *S. Mauw, M. Oostdjik* Foundations of attack trees // International Conference on Information Security and Cryptology. – 2005. – V. 3935. – P. 186-198.
4. *B. Schneier* Attack trees // Dr. Dobb's Journal of software tools. – 1999. – № 24(12). – P. 21-29.
5. Amenaza SecuriTree [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.amenaza.com/index.php - Загл. с экрана, свободный, Яз. англ. (дата обращения 01.06.2017)
6. ThreatModeler [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://threatmodeler.com/ - Загл. с экрана, свободный, Яз. англ. (дата обращения 01.06.2017)
7. Trike [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://octotrike.org/ - Загл. с экрана, свободный, Яз. англ. (дата обращения 01.06.2017)
8. *Nayot Poolsassit, Indrajit Ray* Investigating computer attacks using attack trees // International Foundation for Information Processing. – 2007. – V. 242. – P. 331-343.
9. *B. Kordy, S. Mauw, S. Radomirovic, P. Schweitzer* Foundations of attack-defence trees // Formal aspects of security and trust. – 2010. – V. 6561. – P. 1-16.
10. *Колегов Д.Н.* Проблемы синтеза и анализа графов атак [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.securitylab.ru/contest/299868.php - Загл. с экрана, свободный, Яз. рус. (дата обращения 01.06.2017)
11. *Новикова Е.С.* Модели графического представления информации о защищенности компьютерной сети // Инновации в науке: сб. ст. по матер. XVI междунар. науч.-практ. конф. Часть I. – Новосибирск: СибАК, 2013. – С. 116-120.
12. *Juan Lopez Jr., Jason Nielsen, Jeffrey Hemmes, Jeffrey Humphries* Using attack trees to access security controls for supervisory control ana data acquisition systems (SCADA) // Proceedings of the 7th International Conference on information warfare and security. – 2012. – P. 166 -177.
13. *Абрамов Е.С., Кобилев М.П., Крамаров Л.С., Мордвиц Д.В.* Использование графа атак для автоматизированного расчета мер противодействия угрозам информационной безопасности сети // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2014. – № 2 (151). – С. 92-100.

05.13.00

Н.А. Костарев, Н.М. Труфанова д.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, Кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА НЕФТИ В СКВАЖИНЕ С УЧЕТОМ ОТЛОЖЕНИЯ ПАРАФИНА НА СТЕНКАХ НАСОСНО – КОМПРЕССОРНОЙ ТРУБЫ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-111-114

В данной статье разработана математическая модель процессов тепломассопереноса нефти в вертикальной скважине с учетом процессов парафинообразования. Численная реализация модели осуществлялась методом конечных объемов в среде ANSYS. В результате решения получены поля скоростей и температур в поперечных сечениях скважины и по ее длине. Анализ полученных результатов позволил определить области возможного выпадения парафина на стенках насосно – компрессорной трубы и условия предотвращения процесса парафинообразования в целом.

Ключевые слова: *уравнение энтальпии - пористости, парафины, ANSYS Fluent, тепломассоперенос, АСПО, нефтяная скважина.*

Одной из самых наболевших проблем в нефтяной отрасли является выпадение парафиновых отложений на внутренних поверхностях стенок труб, по которым движется нефтяная жидкость. Решение задачи по предотвращению формирования асфальтосмолопарафиновых отложений позволит снизить текущие и капитальные затраты в технологии нефтедобычи.

Постановка задачи.

Рассматривается продольное сечение скважины глубиной 2000м. Конструкция скважины изображена на рисунке 1.

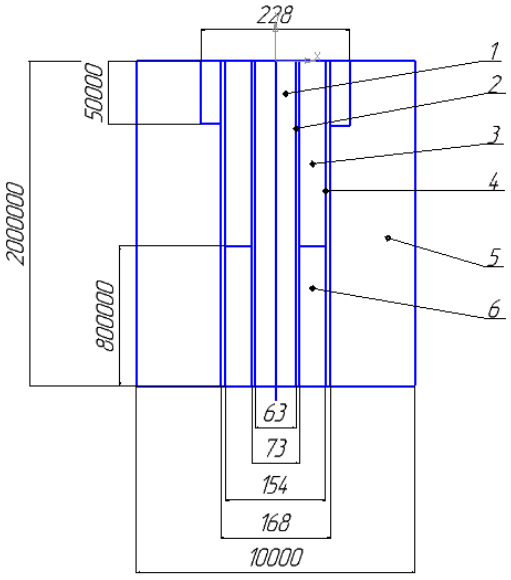


Рис. 1 Конструкция нефтяной скважины.1) Нефтяная жидкость, которая добывается насосно-компрессорной трубой; 2) Насосно-компрессорная труба; 3) Воздух в затрубном пространстве; 4) Обсадная колонна; 5) Грунт, окружающий скважину; 6) Нефтяная жидкость, в затрубном пространстве.

Математическая модель движения и теплопереноса в нефтяной скважине основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии.

Были сделаны следующие допущения: задача плоская, стационарная, течение ламинарное, теплофизические свойства твердых материалов и нефтяной жидкости не зависят от температуры, бесконечный массив земли заменен ограниченной областью, нефтяная жидкость – псевдопористая среда, где объем жидкой фракции определяется коэффициентом, значение которого лежит в диапазоне от 0 до 1 (ноль соответствует твердой среде, а единица - жидкой).

С учетом сделанных допущений система дифференциальных уравнений имеет вид

Уравнение неразрывности:

$$\rho_i\left(\frac{\partial U_i x}{\partial x}+\frac{\partial U_i y}{\partial y}\right)=0 \quad (1)$$

Уравнение движения:

$$\rho_i(U_i x\frac{\partial U_i x}{\partial x}+U_i y\frac{\partial U_i x}{\partial y})=-\frac{\partial P_i}{\partial x}+\mu_i\left(\frac{\partial^2 U_i x}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U_i x}{\partial y^2}\right) \quad (2)$$

$$\rho_i(U_i x\frac{\partial U_i y}{\partial x}+U_i y\frac{\partial U_i y}{\partial y})=-\frac{\partial P_i}{\partial y}+\mu_i\left(\frac{\partial^2 U_i y}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U_i y}{\partial y^2}\right)+k\beta\left(T-T_0\right)g \quad (3)$$

Где k – коэффициент, который для нефти равен 0, а для воздуха равен 1.

Уравнение энергии для нефтяной жидкости, с учетом механизма затвердевания/плавления:

$$\rho_H\left(U_x\frac{\partial H}{\partial x}+U_y\frac{\partial H}{\partial y}\right)=\frac{\lambda_H}{c_H}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \quad (4)$$

H – энтальпия нефти, которая вычисляется как сумма реальной энтальпии h и скрытой теплоты ΔH:

$$H=h+\Delta H \quad (5) \qquad h=h_{ref}+\int_{T_{ref}}^{T}c_p dT \quad (6) \qquad \Delta H=\alpha L \quad (7)$$

где h_{ref} –энтальпия при температуре равной T_{ref}; T_{ref} – температура окружающей среды; c_p - теплоемкость; α-коэффициент жидкой фракции, который определяется как:

$$\text{При } T_{solidus}<T<T_{liquidus} \qquad \alpha=\frac{T-T_{solidus}}{T_{liquidus}-T_{solidus}}$$

$$\text{При } T<T_{solidus} \qquad \alpha=0$$

$$\text{При } T>T_{liquidus} \qquad \alpha=1$$

$T_{solidus}$ – температура при которой происходит затвердевание; $T_{liquidus}$- температура при которой происходит плавление.

Уравнение энергии для воздуха:

$$\rho_B c_B\left(U_x\frac{\partial T}{\partial x}+U_y\frac{\partial T}{\partial y}\right)=\lambda_B\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \quad (8)$$

Плотность воздуха определяется законом Буссинеска:

$$\rho_B(T)=\rho_0\left[1-\beta(T-T_0)\right] \quad (9)$$

Уравнение теплопроводности для твердых элементов конструкции скважины:

$$\lambda_j\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right)=0 \quad (10)$$

где x, y, – декартовые координаты; i, j – индексы исследуемых областей; $U_{i\ x}$, $U_{i\ y}$ – компоненты вектора скорости; T – температура; P_i – отклонения давления от гироскопического; ρ_i – плотность среды; μ_i – вязкость среды; c_i – теплоемкость среды; λ_j – теплопроводность твердых материалов; λ_H – теплопроводность нефти; λ_B – теплопроводность воздуха; β – коэффициент объемного теплового расширения воздуха.

Система дифференциальных уравнений (1)-(10) замыкается следующими граничными условиями:

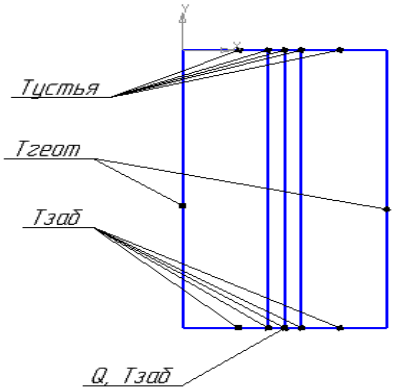


Рис. 2.Граничные условия.

На границе раздела разнородных сред задается равенство тепловых потоков и температур:

$$\lambda_n \frac{\partial T^{(n)}}{\partial x} = \lambda_{n+1} \frac{\partial T^{(n+1)}}{\partial x} \qquad (11)$$

$$T|_n = T|_{n+1} \qquad (12)$$

На границе массива земли, окружающего скважину, задается температура, соответствующая геотерме, температура на поверхности земли равна 3 ^oC:

$$T|_{гр.зем.} = T(h) \qquad (13) \qquad T|_{h=0} = T|_{устья} = 3^o C \qquad (14)$$

В забое скважины задается температура забоя (Т=100 ^oC) и расход через столб насосно-компрессорной трубы (40 т/сут):

$$T|_{h=2000} = T_{забоя} = 100^o C \quad (15); \qquad Q|_{h=0} = Q|_{h=2000} = 40\ m/cym \quad (16)$$

Результаты исследования

Задача (1) - (16) решалась численно, методом конечных элементов. Для расчетов использовалась среда инженерных расчетов ANSYS Fluen.

В работе проведено исследование процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине с учетом отложения парафина на стенках насосно – компрессорной трубы. В результате были получены температурные поля в поперечных сечениях скважины по длине и распределение температуры на внутренней стенке насосно-компрессорной трубы. Одним из условий выпадения парафина на стенки насосно-компрессорной трубы является понижение температуры нефтяной жидкости, до температуры выпадения парафина. В данной работе эта температура принималась равной 40 ^oC. При достижении нефти температуры 40 ^oC, на стенках НКТ начинают откладываться парафины.

Из рисунка 3 видно, что на кривой полученной с учетом отложения парафина возникает участок с неизменной температурой нефти при достижении температуры 40 ^oC (на высоте 1800 м).Это происходит потому что парафин прилипает к стенкам НКТ, не двигается выше по трубе и не участвует в конвективном теплообмене.

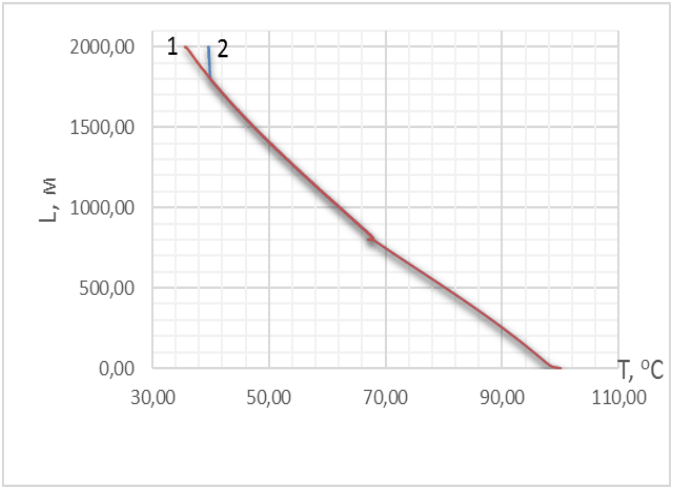


Рис. 3. Распределения температур на стенке насосно-компрессорной трубы по глубине с учетом отложения парафина и без. 1 – Кривая, полученная при расчете без учета отложения парафинов на стенке насосно – компрессорной трубы; 2 – Кривая -с учетом отложения парафинов на стенке трубы.

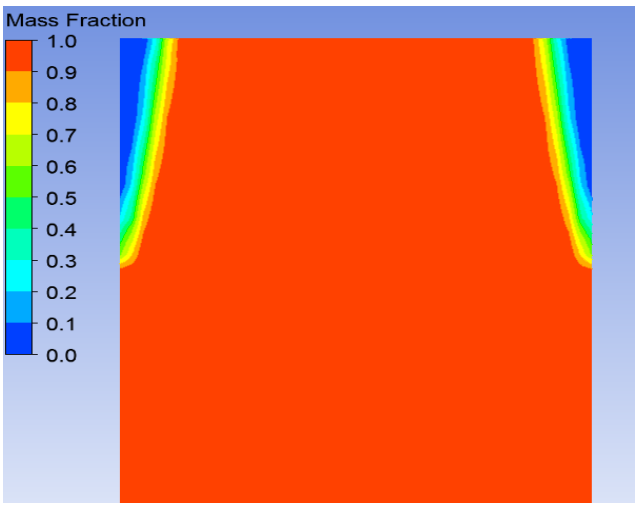


Рис. 4. Распределение жидкой и твердой фаз в насосно – компрессорной трубе.

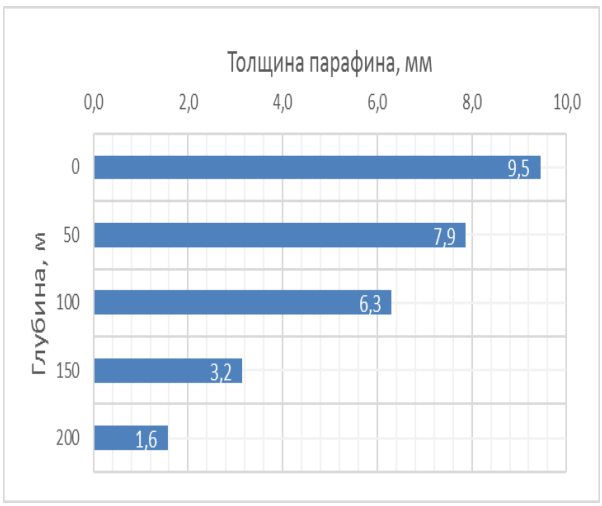


Рис. 5. Зависимость толщины парафина на стенке НКТ от глубины скважины

На рисунке 4 изображено распределение жидкой и твердой фаз в насосно – компрессорной трубе, участка от устья скважины до глубины 400 метров (масштаб по горизонтали увеличен в 5000 раз). Из рисунка видно, что на стенках НКТ находятся отложения твердого парафина, они обозначены синим цветом. Красным цветом на рисунке изображена жидкая нефть. Так же на границе между твердой и жидкой фазой имеется переходная зона, в которой присутствует как твердый парафин, так и жидкая нефть. Например, для оттенков зеленого цвета содержание жидкой фазы составляет 40-70 %. Длина участка возможного выпадения парафина равна 202 метра.

На рисунке 5 изображена зависимость толщины парафиновых отложений на стенке насосно – компрессорной трубы от расстояния от устья скважины. Как видно из рисунка, наибольшей толщины, равной 9,5 мм, парафин достигает на выходе из скважины. Кривая имеет нелинейный характер.

Разработанная математическая модель процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине позволяет учесть процесс отложения парафина на стенках насосно – компрессорной трубы. Полученные результаты позволяют оценить длину участка возможного парафинообразования, а также определить толщину парафинового слоя на стенках трубы.

Список литературы

1. *V. R. Voller. "Modeling Solidification Processes". Technical report. Mathematical Modeling of Metals Processing Operations Conference, Palm Desert, CAAmerican Metallurgical Society. 1987.*
2. *Сорокин С.А., Хавкин С.А.* Особенности физико-химического механизма образования АСПО в скважинах // Бурение и нефть. 2007. №10. С. 30-31.
3. *Малышев А.Г., Черемисин Н.А., Шевченко Г.В*. Выбор оптимальных способов борьбы с парафиногидрообразованием. Техника и технология добычи нефти, №9, 1997, с. 62 – 69
4. *Труфанова Н.М.* Переработка полимеров: учеб. пособие. Пермь:Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009 -159 с.
5. *V. R. Voller and C. R. Swaminathan. "Generalized Source-Based Method for Solidification Phase Change". Numer. Heat Transfer B,. 19(2). 175–189. 1991*

05.13.06

А.Н. Кузенков

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, kosmodila@yandex.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОМОЛА ЦЕМЕНТА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-115-117

В статье обоснована целесообразность применения метода на основе использования контрольных карт Шухарта (ККШ) для эффективного контроля качества. Определены технологические параметры, которые необходимо контролировать в рамках мониторинга качества продукции. Для осуществления эффективной классификации критических ситуаций обоснована целесообразность применения метода опорных векторов – support vector machine (SVM).

Ключевые слова**:** *контрольные карты Шухарта, помол цемента, статистическая управляемость, база знаний, контроль качества, машина опорных векторов, классификация.*

Создание автоматизированных систем использующих проверенные методы статистического контроля качества и учитывающих специфику отрасли является актуальной задачей. Самым эффективным направлением является повышение качества выпускаемой продукции. Ввиду этого проведен обзор измеримых параметров цемента, которые могут быть взяты в качестве контролируемых параметров. Хорошо зарекомендовавшим себя методом контроля качества производственных процессов является применение контрольных карт Шухарта (ККШ) [1]. Согласно ГОСТ под ККШ понимается график значений заданной характеристики группы поставленной в соответствие номеру группы [2]. Карта имеет центральную линию, построенную на основе т.н. опорного значения, в качестве которого обычно используется среднее арифметическое заданной характеристики (рис. 1). Индикатором процесса является среднее арифметическое, а индикатором изменчивости считаем стандартное отклонение б.

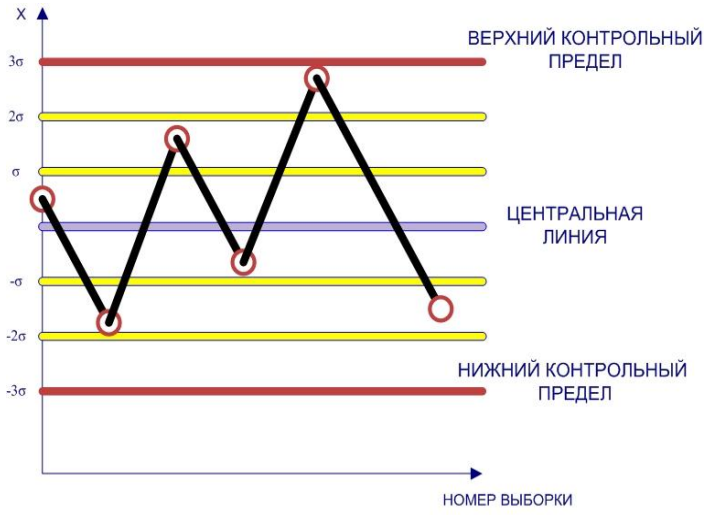


Рис. 1 – Вид контрольной карты Шухарта

Контрольные границы – коридор, внутри которого лежат значения при стабильном состояния процесса. Эти границы вычисляются по данным в процессе, и никак не связаны с допусками. Цель построения контрольных карт Шухарта - выявление точек выхода процесса из стабильного состояния для последующего установления причин появившегося отклонения и их устранения. Для осуществления контроля качества было выбрано шесть характеристик: 1) удельная поверхность цемента; 2) тонкость помола цемента, при просеивании через сито №008 (измеряется процент оставшегося материала на сите от общей массы пробы); 3) массовая доля в процентах ангидрида серной кислоты в материале; 4) массовая доля опоки в материале; 5) массовая доля оксида кальция в материале; 6) процентное содержание влаги в материале.

Контроль за процессом помола цемента осуществляется в специальном помещении, оборудованном несколькими мониторами, на которые выводятся мнемосхемы технологического производства. Оператор способен оказывать управляющее воздействие практически на любой этап процесса помола цемента (рис. 2). Он регулирует дозацию клинкера и добавок, частоту вращения ротора сепаратора, обороты вентилятора аспирационной системы (тем самым может изменять разреженность воздуха во всей системе помола).

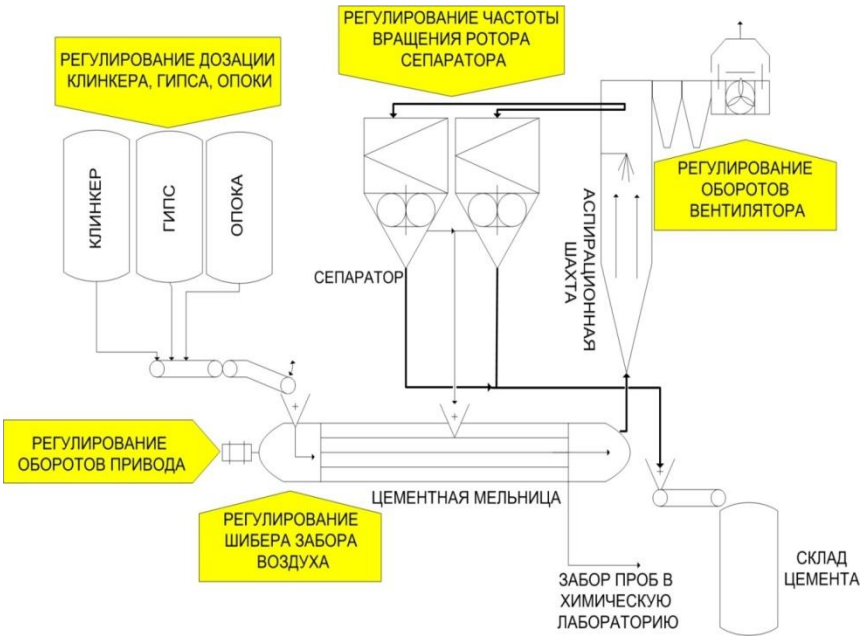


Рис. 2 – Технологическая схема помола цемента с управляющими воздействиями

Однако в силу загруженности большим объемом информации с экранов оператор не всегда способен оперативно реагировать на критические ситуации в процессе помола, и в ряде случаев не может предвидеть возникновение таких ситуаций. На основе описанных выше методик, реализуемых на производстве, формируется инструментальный и методологический набор средств и способов для отбора проб и их шкалирования.

Ключевым положением для применения статистического аппарата по методам контрольных карт Шухарта является гипотеза о нормальном распределении статистических последовательностей, использующихся в качестве области определения. Поэтому первым шагом при обработке данных будет являться проверка генеральной выборки на нормальное распределение. Согласно ГОСТ при анализе статистической выборки предлагается использовать ряд критериев для проверки данных на соответствие нормальной функции распределения [3]. Критерии проверки данных на принадлежность к нормальному закону можно проранжировать по эффективности следующим образом: критерии Хегази-Грина, Гири, Шпигельгалтера. Для проверки принадлежности статистических выборок был произведен анализ по выбранным критериям, который дал положительный результат.

Комбинируя критерии проверки гипотезы о нормальном распределении в соответствии с вышеприведенными критериями, становится возможным с достаточной степенью достоверности гарантировать применимость предлагаемого статистического аппарата к оценке параметров качества цементного производства, отсеивать некорректные параметры, делать выводы о размере статистической выборки, потребной для проведения анализа в целом.

После вычисления контрольных параметров в виде центральной линии (ЦЛ), верхнего и нижнего контрольного пределов (ВКП, НКП), получены инструменты для применения правил и генерации вывода о будущем поведении временного ряда. Однако, просто сделать вывод недостаточно, т.к. в решающих правилах возможно появление коллизий и противоречий. Эту ситуацию необходимо обработать с помощью выработки соответствующих стратегий. В течение тестирования подсистемы были выявлены многократные потери статистической управляемости. Все принятые оператором решения для возвращения процессов в состояние статистической управляемости и параметры производственного процесса (температура, скорость вращения и т.д.) занесены в базу знаний для совершенствования системы контроля качества цемента. В силу особенностей цементного производства для разрешения похожих нештатных ситуаций были выявлены различные пути их решения, вследствие чего для связи накопленных данных в базе знаний с особыми событиями, ведущими к потере статистической управляемости необходимо внедрение в систему классификатора.

Одним из наиболее эффективных методов является метод опорных векторов с построением системы классификации, называемой машиной опорных векторов (SVM) [4]. В качестве инструмента программной реализации данного метода было принято решение использовать свободно распространяемою библиотеку LIBSVM [4]. В таблице 1 представлены исходные данные модели и результаты использования SVM для технологической характеристики (показателя) «Удельная поверхность цемента», показывающие высокий уровень достоверности при классификации.

Таблица 1 – Параметры SVM для технологической характеристики «Удельная поверхность цемента»

Модель SVM	Параметр «C»	Параметр «γ»	Accuracy, %
Для правила №1	2.0	2.0	98.194
Для правила №2	2.0	0.5	97.123
Для правила №3	128	0.125	96.875
Для правила №4	8.0	0.003	97.222

Список литературы

1. *Shewart. W. A.* Economic Control of Quality of Manufactured Product. Van Nordstrom, 1931. 18p.

2. ГОСТ Р 50779.42-99. Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. – Москва: Стандартинформ 1999. – 32 с.

3. ГОСТ Р ИСО 5479-2002, Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения, М.: Изд-во стандартов, 2002. –11 с.

4. *Кузенков А.Н.* Идентификация критических ситуаций в технологическом процессе производства цемента /А.Н. Кузенков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 281–291.

05.13.06

[1]А.В. Милов, [1]В.С. Тынченко, [1]А.В. Мурыгин, [2]В.В. Тынченко

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева, институт информатики и телекоммуникаций,
[1]кафедра информационно-управляющих систем,
[2]кафедра информатики и вычислительной техники,
Красноярск, vadimond@gmail.com, 051301@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКОЙ ВОЛНОВОДНЫХ ТРАКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА[1]

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-118-121

В работе рассматривается проблема повышения качества процесса индукционной пайки волноводных трактов. В качестве решения проблемы предлагается использование методов нечеткой логики, а в качестве инструмента – программного продукта Matlab. Представляются алгоритмы работы предлагаемого метода.

Ключевые слова: *нечеткая логика, индукционная пайка, космические аппараты.*

Введение

Производство тонкостенных алюминиевых волноводных трактов с помощью индукционной пайки является трудоемким процессом [1]. В процессе спайки изделия в ручном режиме велик риск получения бракованного изделия. Для повышения качества изделий целесообразно использовать автоматизированную систему управления. В работе [2] представлены оборудование и технология для проведения процесса пайки волноводных трактов космических аппаратов. Пример волноводного тракта представлен на рисунке 1.

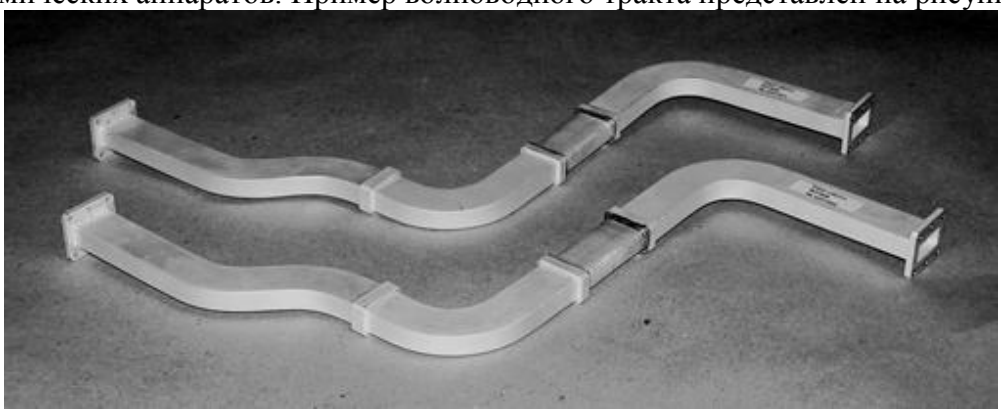


Рис. 1 – Волноводные тракты космических аппаратов

Как видно из рисунка, готовый волноводный тракт состоит из непосредственно алюминиевых труб и фланца, необходимо для их надежного соединения.

Основное целевое назначение системы волноводных трактов в конструкции КА состоит в обеспечении функционирования космического аппарата и его бортовых систем в соответствии с заданной программой функционирования, зафиксированной в технологических циклах.

Для обеспечения качественного паяного соединения необходимо выполнение определенных условий: температура в зонах максимального нагрева паяемых элементов должна быть меньше температуры их плавления; разница температур в зонах максимального нагрева на различных паяемых элементах не должна превышать 10˚ С; температура в зонах максимального нагрева паяемых элементов не должна отличаться более чем на 10˚ С от температуры в зоне пайки. [2]

[1] Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Красноярского края в рамках научного проекта № 16-48-242029

Однако программное обеспечение представленной в работе [3] системы в качестве алгоритма управления использует ПИД-регулятор [3], что не обеспечивает достаточного контроля за параметрами быстропротекающего процесса. Поэтому в данной работе предлагается использование методов нечеткой логики для управления процессом индукционной пайки волноводных трактов. [2, 3]

Предлагаемый подход

Для решения поставленных задач предлагается разработать метод

управления на основе нечеткого регулятора, который мог бы повысить качество выпускаемых волноводных трактов.

Экспериментально показано, что нечеткое управление дает лучшие результаты, по сравнению с получаемыми при классических алгоритмах управления. Очевидной областью внедрения алгоритмов нечеткой логики являются всевозможные экспертные системы, в том числе:

1. Нелинейный контроль и управление в производстве;
2. Самообучающиеся системы;
3. Системы, распознающие тексты на естественном языке;
4. Системы планирования и прогнозирования, опирающиеся на неполную информацию;
5. Финансовый анализ в условиях неопределенности;
6. Управление базами данных;
7. Совершенствование стратегий управления и координации действий, например, сложное промышленное производство.

Недостатками нечетких систем являются:

1. Отсутствие стандартной методики конструирования нечетких систем;
2. Невозможность математического анализа нечетких систем существующими методами;
3. Применение нечеткого подхода по сравнению с вероятностным не приводит к повышению точности вычислений.

Для реализации контроллера выбран алгоритм Мамдани. В качестве инструмента выбрана система компьютерной математики Matlab. [4, 5]

Нечеткий контроллер

При разработке метода управления индукционной пайкой на основе нечеткого регулятора были пройдены следующие этапы:

1. Определены входы и выходы создаваемой системы;
2. Заданы для каждой из входных и выходных переменных функции принадлежности с термами;
3. Разработана база правил выводов для реализуемой нечёткой системы;
4. Проведена дефаззификацию;
5. Проведены настройка и анализ адекватности разработанной модели реальной системе;
6. Реализован нечеткий регулятор в системе Matlab.

В рамках разработанного нечеткого контроллера определены температура трубы волновода и температура фланца.

В качестве выходной переменной выбрано напряжение на генераторе индукционного нагрева.

Термы входных и выходных переменных представлены на рисунках 2 и 3 соответственно.

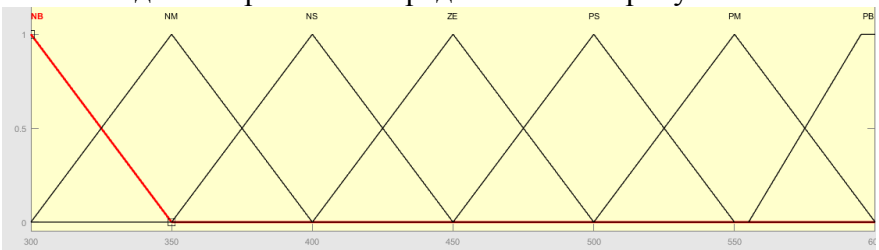


Рис. 2 – Термы входных переменных

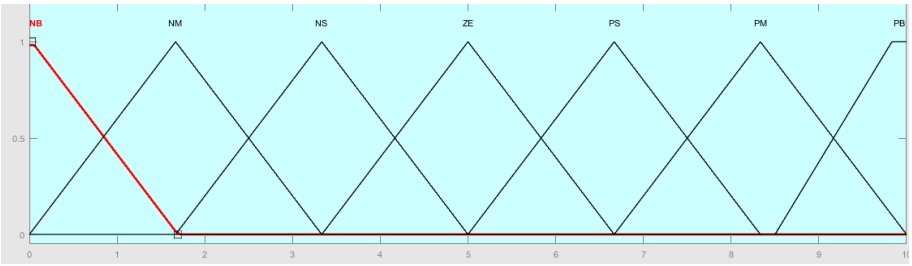


Рис. 3 – Термы выходной переменной

На рисунках 2 и 3 ось абсцисс – температура (°С), ось ординат – функция принадлежности нечеткой переменной к терму.

Расшифровка названий термов, представленных на рисунке 2: NB – температура фланца/трубы близка к нулю, NM – очень низкая, NS – низкая, ZE – средняя, PS – высокая, PM – очень высокая, PB – максимальная. Аналогичная расшифровка у термов для напряжения индуктора, представленных на рисунке 3.

Как видно из представленных выше рисунков пространство входных и выходных переменных было разбито на 7 диапазонов, в рамках которых определены лингвистические переменные.

Для составления базы правил, необходимо получить обучающие данные в виде наборов:

$$(x_1(i), x_2(i), d(i)), \quad i= 1, 2 \ldots$$

где $x_1(i)$, $x_2(i)$ – сигналы, подаваемые на вход блока нечеткого управления,

d(i) – ожидаемое выходное значение.

Задача состоит в том, чтобы сформировать такую базу правил, чтобы модуль управления формировал управляющее воздействие с наименьшей погрешностью. Для формирования базы правил необходимо:

1. Определить степени принадлежности обучающих данных к каждой области;
2. Каждому получившемуся правилу приписывается степень истинности, вычисляемая как произведение степеней принадлежности обучающих данных.

В результате получилась база правил, состоящая из 49 правил.

Дефаззификация проводится методом центра тяжести, в соответствии с алгоритмом Мамдани. [4, 5]

Численный эксперимент

Реализация контроллера проводилась на базе программного пакета Matlab, с помощью входящего в его состав модуля Simulink. Результаты моделирования процесса управления индукционной пайкой волноводных трактов космических аппаратов на основе нечеткого регулятора представлена на рисунке 3.

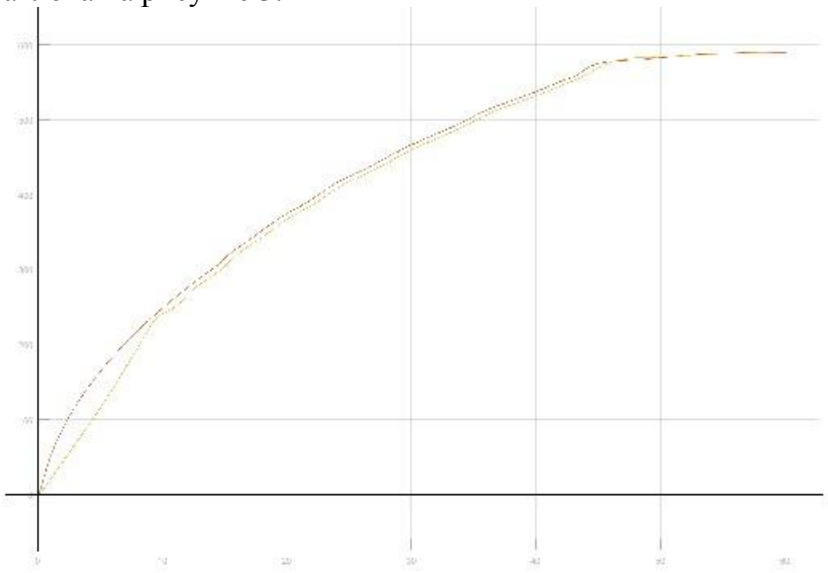


Рис. 4 – График процесса управления пайкой:
ось абсцисс – время, ось ординат – температура (°С)

Из графика, представленного на рисунке 4 видно, что при заданной пользователем скорости нагрева, а также установленной температуры стабилизации, предлагаемый подход позволит проводить качественное управление процессом индукционой пайки, при этом перерегулирование на этапе стабилизации отсутствует.

Выводы

В работе была исследована проблема качества волноводных трактов, изготавливаемых с помощью технологии индукционной пайки. Подход, с помощью которого решается данная проблема, основан на методах нечеткой логики. Разработанный метод позволяет обеспечить следующие параметры процесса пайки:

1. Температура в зонах максимального нагрева паяемых элементов волноводных трактов должна быть меньше температуры их плавления;
2. Разница температур в зонах максимального нагрева на различных паяемых элементах не должна превышать 10˚ С;
3. Температура в зонах максимального нагрева паяемых элементов не должна отличаться более чем на 10˚ С от температуры в зоне пайки.

Список литературы

1. *Вологдин В.В.* Индукционная пайка / В.В. Вологдин, Э.В. Кущ, В.В. Асамов. – Л.: «Машиностроение», 1989. – 72 с.
2. *Тынченко В.С.* Автоматизированное оборудование и технология для пайки волноводных трактов космических аппаратов / Тынченко В.С., Злобин С.К., Михнев М.М., Лаптенок В.Д., Серегин Ю.Н., Бочаров А.Н., Дубец Ю.П., Долгополов Б.Б. // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. ак. М.Ф. Решетнева, 2014. №4(56). С. 219-229.
3. Модуль взаимодействия с аппаратным обеспечением АСУ «Пайка». Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ / Тынченко В.С., Бочаров А.В., Серегин С.Н., Лаптенок В.Д. №2015611846; заявл. 11.12.2014; опубл. 06.02.2015, 1с.
4. *Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М: Горячая линия-Телеком, 2006. 452 с.
5. *Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М*. Основы теории нечетких отношений. М.: Горячая линия – Телеком, 2014. 86 с.

05.13.00

Л.А. Полякова

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики,
Санкт-Петербург, lusy.polyakova@gmail.com

ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-122-125

В работе представлены результаты разработки модели проектирования системы информационной безопасностью на основе принципов системного анализа. Проведен анализ интегрированной архитектуры системы информационной безопасности через призму системного анализа.

Ключевые слова: *информационная безопасность, проектирование системы безопасности, системный анализ.*

На современном этапе развития многие компании обеспокоены вопросом создания или модернизации существующей системы информационной безопасности (СИБ), которая должна соответствовать стандартам в области Информационной безопасности (ИБ) и отвечать тенденциям современности.

Классическое понимание процесса ИБ, заключается в совокупности трех составляющих «информации»: доступность, целостность, конфиденциальность. Вопрос ИБ является важным не только для молодых компаний, использующих в своем бизнесе современные информационные технологии, но и не менее важной эта проблема стоит перед организациями, которые приходят к пониманию необходимости модернизации, существующей СИБ.

Обострение проблемы защиты информации с одной стороны связана с необходимостью повышения эффективности СИБ, а с другой обеспечения непрерывности функционирования информационных систем. Повышение эффективности СИБ непрерывно связано с увеличивающейся потребностью в обеспечении конфиденциальности данных и четкой проработкой организационной составляющей СИБ.

Руководству компаний необходимо оценивать или учитывать, так называемые, репетиционные риски, ответственность за соблюдение конфиденциальности данных своих клиентов, партнеров, и т.д. Данные зачастую не классифицированы, то есть компания не имеет четкой картины о том, какими типами данных, со стороны их конфиденциальности, располагает. И такое положение может привести к определенному ряду проблем, начиная от неадекватности мероприятий по ЗИ и заканчивая невозможностью правовых методов расследования, при возникновении инцидентов.

Для многих компаний, жизненно важным аспектом является обеспечение непрерывности, бесперебойное функционирование информационных систем. Сбои, в работе которых, приводят к прерыванию бизнес-процессов и соответственно потерям. А в процессе обеспечения доступности данных, важную роль играют системы защиты, защищающие информационную систему от атак (например, «отказ в обслуживании» и др.)

Продуманная архитектура СИБ, а именно определенной на сколько СИБ полная, покрывает риски, избыточна или недостаточна, несет ответственность за результат. Для большинства компании типично использование политики «латания дыр». И не мало важным вопросом, является то что СИБ редко бывает обоснованной экономически.

Современные тенденции свидетельствуют, что построение эффективной СИБ, должно основываться на анализе рисков, в том числе анализ возможного ущерба, который является основным при выборе технических подсистем и их экономической обоснованности. Так же нельзя забывать о организационных мерах, создании системы управления ИБ и соблюдения принципов построения СИБ, основной - принцип комплексной «многоэшалонной» защиты.

Таким образом, при построении или модернизации СИБ целесообразно реализовывать цикл работ (рис. 1), включающий обязательный этап диагностического обследования с оценкой уязвимостей информационной системы и угроз, на основе которого производится проектирование системы, её внедрение и сопровождение.

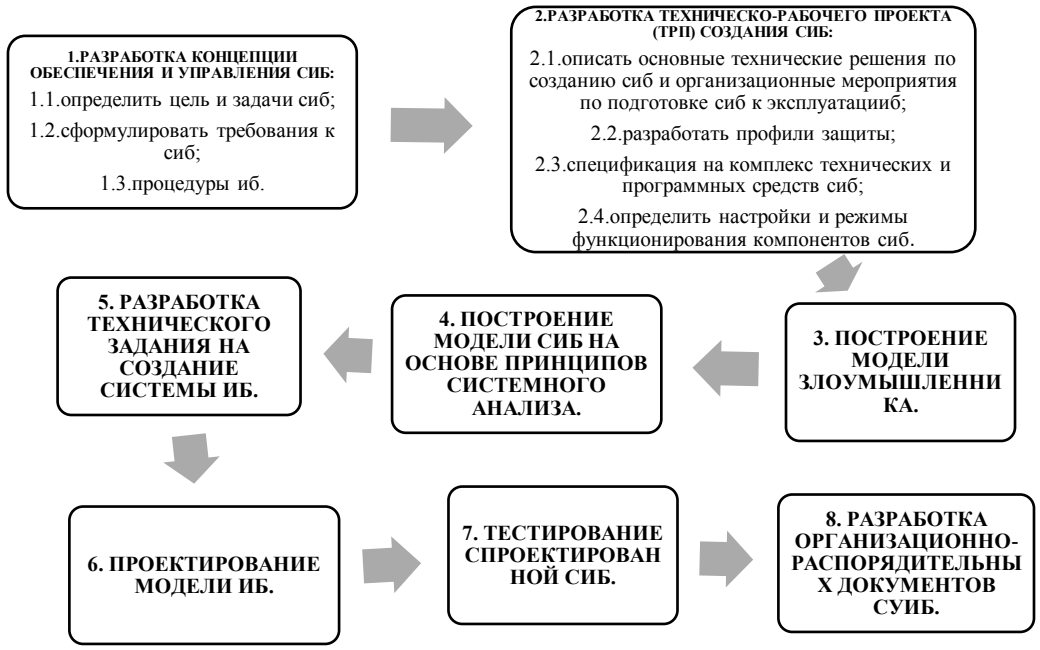


Рис. 1. Этапы проектирования СИБ.

Главным этапом построения СИБ является ее проектирование. Именно грамотное построение архитектуры СИБ посредством интегрированного решения, соблюдения баланса между уровнем защиты и инвестициями в СИБ, обеспечивает ряд преимуществ: снижение стоимости владения; повышения коэффициента возврата инвестиций при внедрении; улучшении системы управления ИБ; возможности отслеживания событий, связанных с ИБ.

Интегрированная архитектура СИБ, высокая эффективность СИБ может быть достигнута, если соблюдены такие обстоятельства, как: компоненты системы представлены качественными ращениями; функционирование, как единый «организм»; централизованное управление.

Анализ рисков, является основой построения СИБ, при этом не уменьшается значимость стоимости ее внедрения и поддержания, то есть экономической обоснованностью.

Структура интегрированной архитектуры СИБ состоит из множества подсистем: защита периметра сети и межсетевых взаимодействий; защита серверов сети; средства защиты рабочих станций; средства аудита и анализа защищенности системы; средства обнаружения атак; подсистему комплексной программной защиты; средства криптографической ЗИ; средства контроля целостности данных; управление СИБ; резервное копирование и восстановления данных; инфраструктура открытых ключей; подсистема аутентификации и идентификации.

Исходя из перечня подсистем видно, что архитектура СИБ включает в себя процедуры и процессы по обеспечению ИБ, то есть СУИБ. Целью СУИБ является систематизация процессов обеспечения ИБ. Достижение адекватности СУИБ выполняет важную роль, так как достижение ее «прозрачности», позволит четко определить взаимосвязь процессов и подсистем ИБ, ее ответственность, определить финансовые и людские ресурсы необходимые

для обеспечения защиты. Мониторингом изменений, внесенных в СИБ, обеспечением процессов политики безопасности, а также эффективным управлением в критических ситуациях занимается СУИБ.

В общем процесс УИБ строится на планировании, исполнении, контроле и техническом обслуживании всей структуры безопасности. Сложность в организации этого процесса, связано с тем что у организаций существуют бизнес-процессы, не связанные с информационными технологиями, но попадающие в сферу обеспечения ИБ, например, работа кадровой службы.

Используя принципы системного анализа, возможно разработать алгоритм построения системы, основанного на оценке рисков. Что позволит проводить эффективный мониторинг изменений, вносимых в СИБ, предоставляет преимущество в страховании информационных рисков, снижает и оптимизирует стоимость поддержки СИБ, пройти сертификацию СУИБ и дает многие другие преимущества.

Этапы проектирования СИБ:

1. Разработка концепции обеспечения и управления СИБ:

1.1 Определить цель и задачи СИБ;

2.1 Сформулировать требования к СИБ;

3.1 Процедуры ИБ;

2. Разработка техническо-рабочего проекта (ТРП) создания СИБ:

1.1 Описать основные технические решения по созданию СИБ и организационные мероприятия по подготовке СИБ к эксплуатации;

2.1 Разработать профили защиты;

3.1 Спецификация на комплекс технических и программных средств СИБ;

4.1 определить настройки и режимы функционирования компонентов СИБ.

3. Построение модели злоумышленника;
4. Построение модели СИБ на основе принципов системного анализа;
5. Разработка технического задания на создание системы ИБ;
6. Создание модели ИБ;
7. Тестирование спроектированной СИБ;
8. Разработка организационно-распорядительных документов СУИБ;

Таким образом, построение модели СИБ на основе системного анализа базируется на следующих принципах:

1. Принцип конечной цели - приоритетом построения системы, является достижение конечной цели, а именно - построения эффективной модели СИБ;
2. Принцип измерения - для определения эффективности спроектированной СИБ следует рассматривать ее как часть общей СУИБ;
3. Принцип единства - в соответствии с этим принципом, СИБ следует рассматривать как целое, состоящее из отдельных, связанных между собой процессов;
4. Принцип модульного построения - разбитие системы на модули (блоки) способствует эффективной организации анализа системы;
5. Принцип иерархии - иерархичность свойственно многим сложным системам. В соответствии с этим, введение иерархии частей СИБ и их ранжирование упрощает разработку и управление системой в целом;
6. Принцип функциональности - для избежание параллелизма в работе СИБ, функции будучи взаимосвязаны с структурой, должны быть приоритетнее;
7. Принцип развития - учет изменяемости системы, способность к развитию, адаптации, расширению;
8. Принцип централизации и децентрализации - сочетания в СИБ централизованного и децентрализованного управления, выбор которой зависит от изменения обстоятельств;
9. Принцип неопределенности - учет неопределенностей и случайностей с СИБ, вероятностный подход.

Учитывая вышеизложенное, процесс проектирование СИБ должен быть организован так, чтобы система:

- отвечала техническим требованиям и ограничениям, а также придерживалась установленным характеристикам на всех стадиях жизненного цикла системы;
- соответствовала цели и задачам компании, обеспечивала необходимую функциональную поддержку бизнес-процессов;
- учитывала возможность использования существующих микросистем;
- обеспечивала развитие, адаптацию и модернизацию системы, обеспечивая эффективность механизмов СУИБ и ресурсами;
- обеспечивала заданный уровень ИБ.

Список литературы

1. *Полякова Л.А.* Использование принципов системного анализа на этапе проектирования системы информационной безопасности // Актуальные проблемы военной науки и политехнического образования ВМФ -2016. - № Пункт 2/В 2016. - С. 274-280
2. Курс «Безопасность информационных технологий». — Учебный центр «Информзащита».
3. Федеральный закон от 20 февраля 1995 г. № 24-ФЗ «Об информации, информатизации и защите информации» (принят государственной Думой 25 января 1995г.).
4. Федеральный закон № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации».

05.13.00

С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков, В.А. Алексеева

Университет ИТМО

МОДЕЛЬ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СКЕЙЛИНГОВОГО ВИДА ПРИ УСЛОВИИ γ=3β

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-126-128

Рассмотрен метод построения непараметрического уравнения, удовлетворяющего масштабной гипотезы, в основе которого лежит феноменологическая теория критической точки Мигдала А.А. и гипотеза Бенедека. Показано, что если критические индексы коэффициента изотермической сжимаемости γ и линии насыщения β удовлетворяют условию $\gamma=3\beta$, а критический индекс критической изотермы $\delta=4$, то масштабная функция химического потенциала, рассчитанная на основе феноменологической теории Мигдала А.А., совпадает с масштабной функцией Безверхого-Мартынца-Матизена. Предложенный метод апробирован на примере построения масштабного уравнения аргона.

Ключевые слова: *критические индексы, масштабная гипотеза, аргон, феноменологическая теория Мигдала, гипотеза Бенедека, линия псевдокритических точек*.

Проблеме построения физически обоснованного непараметрического уравнения скейлингового вида в настоящее время посвящено значительное количество работ [1–6]. При этом наибольший интерес вызывает построение этих уравнений в переменных плотность-температура (ρ–T). Обусловлено это тем обстоятельством, что именно в этих координатах строятся фундаментальные (ФУС) и широкодиапазонные уравнения состояния, удовлетворяющие требованиям масштабной гипотезе [1]. В работе рассмотрен один из вариантов ее решения на основе феноменологической теории критической точки Мигдала А.А. [7] и гипотезы Бенедека.

$$h(x) = A\left[\left(x + x_q\right)^{\gamma} - \left(x_q - x_0\right)^{\gamma}\right], \qquad (1)$$

где $h(x)$ – масштабная функция химического потенциала μ; $x = \tau / |\Delta\rho|^{1/\beta}$; β и γ – критические индексы; A, x_0 и x_q – постоянные; $\tau = (T - T_c)/T_c$; $\Delta\rho = \rho/\rho_c - 1$; ρ_c и T_c – критические температура и плотность.

В работе [1] сформулирована теорема, согласно которой термодинамическая функция X в асимптотической окрестности критической точки удовлетворяет гипотезе Бенедека об одинаковом характере поведения на критической и околокритической изохорах и имеет особенность в критической области:

$$X = A|\Delta\rho|^{-\phi/\beta}\left(x + x_x\right)^{-\phi}, \qquad (2)$$

то уравнение состояния в физических переменных ρ–T, рассчитанное на основе феноменологической теории критических явлений, представленной в виде

$$\Delta\mu \cdot X^{(\gamma+\beta)/\phi} = \varphi_1 m + \varphi_4 \cdot m^4, \qquad (3)$$

где $m = \Delta\rho \cdot X^{\beta/\phi}$, удовлетворяет, во-первых, всем степенным законам масштабной теории критических явлений и, во-вторых, на линии $x = -x_x$, если $\rho \neq \rho_c$, равенствам [8, 9]:

$$\left(\partial T/\partial s\right)_{\rho} = 0 \text{ и } \left(\partial\rho/\partial p\right)_T = 0. \qquad (4)$$

Наложим на коэффициенты φ_i уравнения (3) следующее условие $\varphi_1 \neq 0$, $\varphi_5 \neq 0$ и $\varphi_3 = 0$ [1].

Тогда, согласно феноменологической теории Мигдала А.А. [7] масштабная гипотеза может быть сформулирована в виде уравнения:

$$\Delta\mu \cdot K_T^{(\gamma+\beta)/\phi} = \varphi_1 m + \varphi_4 \cdot m^4, \qquad (5)$$

где

$$m = \Delta\rho \cdot K_T^{\gamma/\beta}. \quad (6)$$

Зависимость (2) в случае $X = K_T$ примет вид ($x_1 = x_x$) [1]:

$$K_T = A\left|\Delta\rho\right|^{-\gamma/\beta}\left(x + x_1\right)^{-\gamma}. \quad (7)$$

Подставим в выражения (5) и (6) зависимость (7) и в результате получим:

$$\Delta\mu = \Delta\rho \cdot \left|\Delta\rho\right|^{\delta-1}\left[A_1\left(x + x_1\right)^{\gamma} + A_2\left(x + x_1\right)^{\gamma-3\beta} \right]. \quad (8)$$

Если критические индексы γ и β удовлетворяют неравенству $\gamma \neq 3\beta$, то на термодинамической поверхности образуется геометрическое место точек, удовлетворяющих условию (4), и теорема (2), (3) [1] выполняется. Однако в случае $\gamma = 3\beta$ масштабная функция химического потенциала, входящая в выражение (8), преобразуется к виду

$$h(x) = A_1\left(x + x_1\right)^{\gamma} + A_2. \quad (9)$$

Так как на линии насыщения $x = -x_0$ должно выполняться требование $h\left(x = -x_0\right) = 0$, то выражение (9) необходимо привести к следующему виду:

$$h_1(x) = A_1\left[\left(x + x_1\right)^{\gamma} - \left(x_1 - x_0\right)^{\gamma} \right]. \quad (10)$$

Из равенств Гриффитса: $2 - \alpha = \beta\delta + \beta$; $\gamma = \beta\delta - \beta$, при $\gamma = 3\beta$ получим:

$$\delta = 4,\ \alpha = 2 - 5\beta. \quad (11)$$

Поиск параметров функции (11) осуществлялся по методике, предложенной в работе [1]. В результате, уравнение состояния, рассчитанное на основе уравнения (8) с масштабной функцией (10), имеет вид [10]:

$$\pi = 1 + c_0 \cdot \tau - c_1 \cdot \tau^2 + \omega\Delta\rho \cdot \left|\Delta\rho\right|^{\delta-1} h\left(x\right) - \left|\Delta\rho\right|^{\delta+1} a\left(x\right). \quad (12)$$

Здесь $h\left(x\right) = h_1\left(x\right)$ при значении $A_1 = u_0 / k$; $k = \left(b^2 - 1\right)^{\beta} / x_0^{\beta}$; $b^2 = \left(\delta - 1\right) / \left(\delta - 1\right) / \left(1 - 2\beta\right)$; u_0 – индивидуальный параметр; $\omega = \rho / \rho_c$; $a\left(x\right)$ – масштабная функция свободной энергии:

$$a\left(x\right) = -\frac{u_0\beta}{k \cdot x_1^{2\beta}}\left|\Delta\rho\right|^{\delta+1}\left[\left(x + x_1\right)^{2-\alpha} \times \right.$$
$$\left. \times\left(\frac{1}{2 - \alpha} + \sum_{n=1}^{N}\left(-1\right)^n \frac{\left(2\beta - 1\right)\ldots\left(2\beta - n\right)}{n!\left(2 - \alpha - n\right)}\left(\frac{x}{x + x_1} \right)^n \right) - \left(x_1 - x_0\right)^{\gamma} \right]. \quad (13)$$

Апробация уравнения (12) проводилась при значениях критических индексов (11) и значении $N = 10$ на примере описания экспериментальной информации о равновесных свойствах аргона [10, 11]. Параметрам уравнения (12) присвоены следующие значения: c_0=6,0848383475; c_1=14,123060650534; u_0=20,979336882246; x_0=0,12; x_1=0,8426624543090813; T_c=150,66K; p_c=4,8634МПа; ρ_c=535,1 кг/м^3; α=0,1; β=0,38; γ=1,14.

Давление p и изохорная теплоемкость C_v, рассчитанные на основе уравнения состояния (12), в области сильно развитых флуктуаций плотности описывается в основном в пределах экспериментальной погрешности (рис. 1 и рис. 2).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что, во-первых, масштабная функция химического потенциала (1) в переменных плотность-температура, является физически обоснованной при значениях критических индексов δ=4 и α=2-5β. Во-вторых, масштабное уравнение состояния, разработанное на основе (1) количественно верно передает термическую и калорическую поверхности в асимптотической окрестности критической точки.

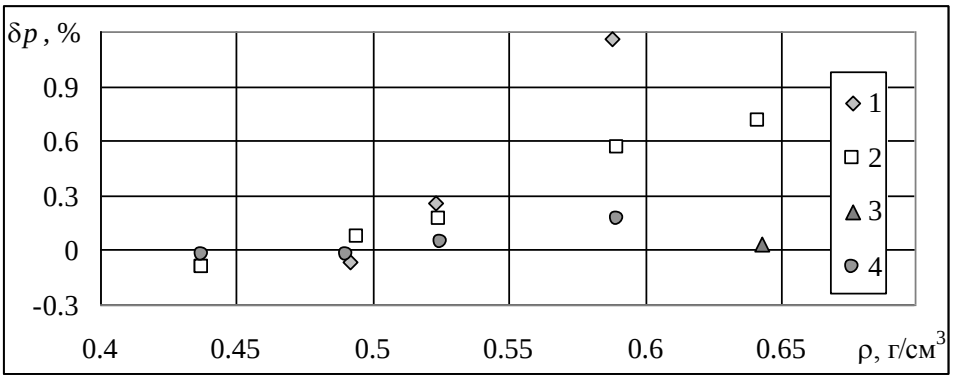


Рис. 1. Отклонения значений давления, рассчитанных по масштабному уравнению состояния аргона, от данных [12] на изотермах: 1 – 158,15 К; 2 – 153,15 К; 3 – 150,65 К; 4 – 151,65 К

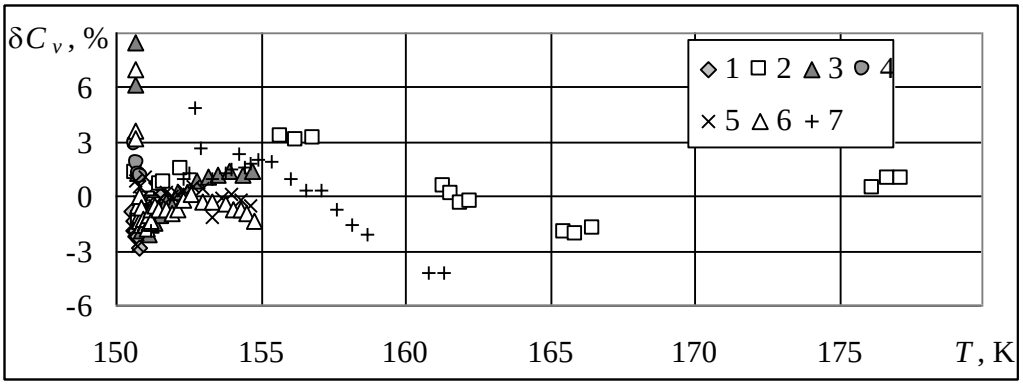


Рис. 2. Отклонения значений изохорной теплоемкости, рассчитанных по масштабному уравнению состояния аргона, от данных [11] на изохорах: 1 – 0,4576 г/см^3; 2 – 0,4736 г/см^3; 3 – 0,4973 г/см^3; 4 – 0,5344 г/см^3; 5– 0,5419 г/см^3; 6 – 0,5655 г/см^3; 7 – 0,531 г/см^3

Список литературы

1. *Kudryavtseva I.V., Rykov S.V.* A Nonparametric Scaling Equation of State, Developed on the Basis of the Migdal's Phenomenological Theory and Benedek's Hypothesis // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2016, Vol. 90, No. 7, pp. 1493–1495.

2. *Bezverkhy P.P., Martynets V.G., Bondarev V.N.* // Russian Journal of Physical Chemistry A. 2014. Т. 88. № 4. С. 566–572.

3. *Рыков С.В., Кудрявцева И.В.* // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-8. С. 1687-1692.

4. *Rizi A., Abbaci A.* Thermodynamic Equation of State for the Critical Region of Argon // Journal of Molecular Liquids. 2012. V. 171. P. 64–70.

5. *Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А.* // Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 4.

6. *Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В.* Непараметрическое масштабное уравнение состояния, не содержащее дифференциальных биномов // Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 7.

7. *Мигдал А.А.* Уравнение состояния вблизи критической точки // ЖЭТФ. 1972. Т. 62. № 4. С. 1559–1573.

8. *Rykov V.A., Varfolomeeva G.B.* // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 1985. Т. 48. № 3. С. 341-345.

9. *Рыков В.А.* О гипотезе «псевдоспинодальной» кривой // Журнал физической химии.. 1986. Т. 60. № 3.

10. *Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Рыков В.А., Полторацкий М.И.* // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 3. С. 138–140.

11. *Анисимов М.А., Ковальчук Б.А., Рабинович В.А., Смирнов В.А.* // Теплофизические свойства веществ и материалов. – М.: Изд-во стандартов. – 1978. – Вып. 12. – С. 86–106.

12. *Michels A., Levelt J.M., Wolkers G.I.* // Physica – 1958. V. 24, № 8. P. 679–687.

05.13.18

С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков, А.В. Свердлов, А.А. Шеламов

Университет ИТМО

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНИИ ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-129-131

Рассмотрена взаимосогласованная система уравнений, описывающая линию фазового равновесия в диапазоне температур от тройной точки до критической точки. При этом использовалась модель среднего диаметра линии насыщения f_d, удовлетворяющая в асимптотической окрестности критической точки зависимости $f_d \square \tau^{2\beta}$. Выполнена апробация данного подхода на основе экспериментальной информации о давлении p_S и плотности насыщенного пара ρ^- и насыщенной жидкости ρ^+ R1234yf Показано, что предложенная модель линии фазового равновесия передает p_S, ρ^-, ρ^+ R1234yf в пределах их экспериментальной погрешности.

Ключевые слова: *средний диаметр, линия упругости, линия насыщения, критическая точка, хладон R1234yf.*

В последнее время идет дискуссия о том, каким законом описывается поведение среднего диаметра f_d:

$$f_d=(\rho^- + \rho^+)/2\rho_c - 1, \quad (1)$$

линии насыщения в асимптотической окрестности критической точки. В рамках масштабной теории [1] получила обоснование модель Вегнера, в которой поведение диаметра f_d описывается зависимостью:

$$f_d \approx A \cdot \tau^{1-\alpha} + .., \quad (2)$$

а в начале этого века получил обоснование подход к описанию критических явлений в жидкости, в котором поведение f_d описывается зависимостью [2]:

$$f_d = B \cdot \tau^{2\beta} + .., \quad (3)$$

где A и B – постоянные коэффициенты.

Если модель (2) прошла проверку при описании линии насыщения большего круга веществ на протяжении последних 50 лет (см., например, [3]), то модели (3) посвящено сравнительно небольшое число работ [3–5]. При этом исследуется собственно линия насыщения, а для того, чтобы дать обоснованный ответ на то, какая из моделей более обоснована с точки зрения современной физики, необходимо рассматривать линию фазового равновесия, то есть включать в модель (3) линию упругости $p= p_s(T)$.

Независимо от того, какая модель (2) или (3) имеет место, давление p_S в окрестности критической точки в соответствии с требованиями масштабной теории критических явлений [6] описывается следующей зависимостью:

$$p_s(T) = p_c \cdot \left[1 + a_1\tau + a_2|\tau|^{2-\alpha} + a_3|\tau|^{2-\alpha+\Delta} + ...\right], \quad (4)$$

где $\tau=T/T_c - 1$.

При температурах близких к температуре тройной точки (ρ_T, T_T) линия упругости должна удовлетворять зависимости:

$$\ln\left[p_s(T)/p_c\right] \square T^{-1}. \quad (5)$$

Условиям (4) и (5) удовлетворяет следующее уравнение для линии упругости [7]:

$$p_s(T) = p_c \, e^{-\frac{a_0 T_c \tau^2}{T}} \left(1 + a_1\tau + a_2\tau^{2-\alpha} + a_3\tau^{2-\alpha+\Delta} + \sum_{m=4}^{8} a_m \tau^{s(m)}\right). \quad (6)$$

Здесь a_i – постоянные коэффициенты; Δ – «неасимптотический» критический индекс; $s(m) \in N$. Критические параметры заданы в соответствии с работой [8]: 367,849 К; 33,82 Бар; 478,0 кг/м^3; а критические индексы приняты равными [9]: α=0,11; β=0,325; γ=1,24; Δ=0,50.

Коэффициенты уравнения линии упругости, определенные на основе экспериментальной информации о давлении p_S и плотности насыщенного пара ρ^-, и насыщенной жидкости ρ^+ R1234yf, равны: a_0=9,6; a_1=7,372380051; a_2=13,56131453; a_3=–51,55109891; a_4=27,08989558; a_5=–17,09807090; a_6=3,118079383; a_7=–62,62564644; a_8=221,5868107; S(4)=2; S(5)= 3; S(6)= 5; S(7)=7; S(8)=9.

Как известно, плотности насыщенной жидкости ρ^+ и насыщенного пара ρ^- одновременно входят в уравнение Клапейрона-Клаузиуса:

$$dp_s/dT = r(T)\cdot\left(1/\rho^+ - 1/\rho^-\right)/T, \qquad (7)$$

где $r(T)$ – теплота парообразования.

Так как теплота парообразования r связана с теплотой r^* известным соотношением: $r = r^*(1-\rho^-/\rho^+)$, то из (7) непосредственно следует выражение для плотности насыщенного пара [10]:

$$\rho^- = \frac{T}{r^*(T)}\left[\frac{dp_s}{dT}\right]. \qquad (8)$$

Производную $p'_s(T)=dp_s/dT$, которая входит в уравнение (8) найдем на основе уравнения (6), а уравнение для «кажущейся» теплоты парообразования r^*, зададим в виде зависимости [11]:

$$r^*(T) = \frac{p_c}{\rho_c}\left(d_0 + d_1|\tau|^{\beta} + d_2|\tau|^{\beta+\Delta} + d_3|\tau|^{1-\alpha} + \sum_{n=4}^{8} d_n|\tau|^{m(n)}\right), \qquad (10)$$

где $m(n)\in N$ – массив из натуральных чисел.

Постоянным коэффициентам d_n присвоены следующие значения: d_1=9,27454575553; d_2=3362,34171071; d_3=–6814,99337625; d_4=4010,02892857; d_5=304961,559559; d_6=–29065,5117378; d_7=3232,96259223; d_8=–278923,153170; m(4)=1; m(5)= 2,325; m(6)=2,65; m(7)=3,975; m(8)=2,3.

Для того, чтобы удовлетворить модели (3), зададим функцию $\rho^+(T)$ в виде следующей зависимости [11]:

$$\frac{\rho^+}{\rho_c} = 1 + A_1|\tau|^{\beta} + A_2|\tau|^{\beta+\Delta} + A_3|\tau|^{2\beta} + A_4|\tau|^{1-\alpha} + \sum_{i=5}^{11} A_i|\tau|^{k(i)}, \qquad (11)$$

где A_i – постоянные коэффициенты; $m_i\in N$.

Для того чтобы удовлетворить модели (3) коэффициенты (10) должны удовлетворять следующим условиям: $A_1=d_1/a_1$, $A_2=d_2/a_1$, $A_3=(d_1/a_1)^2$.

Постоянные коэффициенты d_n находятся на массиве экспериментальной информации о плотности ρ^+ и им присвоены следующие значения: A_1=1,258012431721; A_2=456,072759061563; A_3=1,582595278365; A_4=–920,918678204521; A_5=351,706693073; A_6=1943,50013268; A_7=–9133,04975403; A_8=22234,6673888; A_9=–30551,9865615; A_{10}=22325,9149207; A_{11}=–6747,63489524; k(5)=1; k(6)=1,325; k(7)=1,65; k(8)=1,975; k(9)=2,3; k(10)=2,625; k(11)=2,95.

В отличие от известных уравнений линии фазового равновесия, система уравнений (5), (8), (10), удовлетворяющая модели (3), качественно [12, 13] и количественно верно передают окрестность критической точки (рис. 1, 2 и 3). Так опытные данные о плотности ρ^+, относящиеся к асимптотической окрестности критической точки холодильного агента R1234yf воспроизводятся в рамках модели (3) со среднеквадратической погрешностью: по плотности $\delta\rho^{(sk)}$=0,39% и по температуре $\delta\rho^{(sk)}$=0,32% (рис. 3).

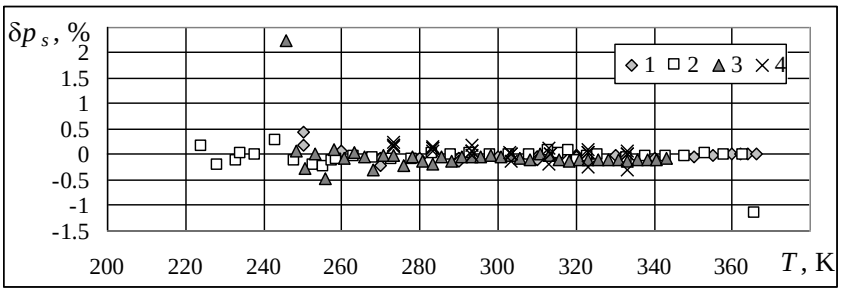


Рис. 1. Относительные отклонения значений давления p_s, рассчитанных по уравнению (6), от экспериментальных данных: 1 – Richter M. (2011); 2 – Di Nicola G. (2010); 3 – Fedele L.(2011); 4 – Lai N.A. (2011)

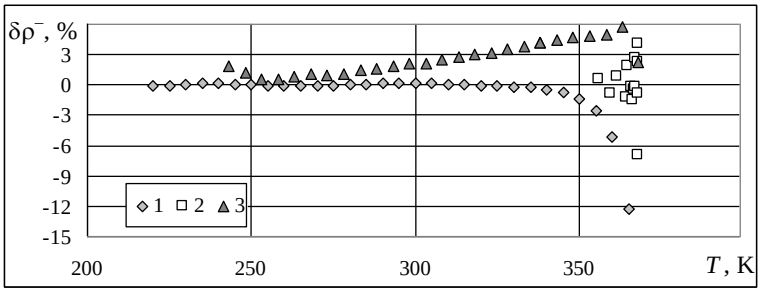


Рис. 2 Отклонения плотности ρ^-, рассчитанной по уравнению (8), от данных: 1 – Lai N. (2011); 2 – Tanaka K. (2010); 3 –Fedele L. (2011).

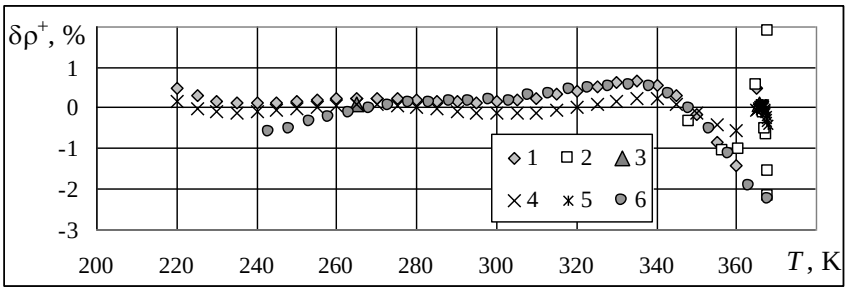


Рис. 3. Отклонения значений плотности ρ^+, рассчитанных по уравнению (11), от данных: 1 – Lai N. (2011); 2 – Tanaka K. (2010); 3 – Hulse R. (2009); 4 – Richter M. (2011); 5 – Fedele L.(2011); 6 – Akasaka R. (2010)

Список литературы

1. *Vorob'yev V. S., Rykov V. A., Ustyuzhanin E. E., Shishakov V. V., Popov P.V., Rykov S. V.* // J. Phys.: Conf. Ser.. 2016. V. 774. 012017.
2. *Orkoulas G., Fisher M. E., Panagiotopoulos A. Z.* // Phys. Rev. E, 2003. V. 63. 051507.
3. *Ustyuzhanin E.E., Shishakov V.V., Abdulagatov I.M., Popov P.V., Rykov V.A., Frenkel M.L.* // Rus. J. Phys. Chem. B. 2012. V. 6. No. 8, P. 912–931.
4. *Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А.* // Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 3
5. *Cerdeirina C., Anisimov M., Sengers J.* // Chem. Phys. Lett. 2006, 424, P. 4-6, P. 414-419.
6. *Ма Ш.* Современная теория критических явлений. М.: Мир. 1980. 298 с.
7. *Козлов А.Д., Лысенков В.Ф., Попов П.В., Рыков В.А.* // ИФЖ. 1992. Т. 62. № 6. С. 840-847.
8. *Akasaka R., Tanaka K., Higashi Y.* // Int. J. Refrig. 2010. V.33. P. 52–60.
9. *Kudryavtseva I.V., Rykov S.V.* // Rus. J. Phys. Chem. A, 2016, Vol. 90, No. 7, pp. 1493–1495.
10. *Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А.* // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 4. С. 10.
11. *Рыков В.А., Рыков С.В.,* Устюжанин Е.Е. // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 6. С. 27-29.
12. *Шишаков В. В.* // Дис. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. М.: МЭИ, 2014. – 230 с.
13. *Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В.* // Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 9.

05.13.01

[1]Ю.С. Таскина, [1]В.С. Тынченко, [2]В.В. Бухтояров, [3]С.В. Тынченко

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева, институт информатики и телекоммуникаций,
[1]кафедра информационно-управляющих систем,
[2]кафедра безопасности информационных технологий,
[3]кафедра информатики и вычислительной техники,
Красноярск, vadimond@mail.ru, vladber@list.ru, 051311@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К АВТОМАТИЗАЦИИ ПЛАНОВО-ЗАКУПОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-132-135

В работе рассматривается проблема планирования закупочной деятельности на розничном торговом предприятии. В качестве средства прогнозирования предлагается использование технологий нейросетевого моделирования, а в качестве инструмента создания программного приложения – объектно-ориентированного языка программирования C++. В работе производится выбор эффективной структуры искусственных нейронных сетей для поставленной задачи. Представляются алгоритмы работы предлагаемой автоматизированной системы и ее внешний вид.

Ключевые слова: *прогнозирование, закупки, искусственные нейронные сети, планирование.*

Введение

В последнее десятилетие стремительно развивается сектор малого и среднего бизнеса, ориентированный на розничную торговлю товарами бытового и профессионального назначения. Существенный вклад в успешное развитие таких предприятий вносит уровень качества осуществления планово-закупочной деятельности, в рамках которой планируется продажа товаров и производятся закупочные операции. Правильное планирование позволяет организациям в рамках ограниченности и высокой стоимости складских площадей удовлетворить существующий на рынке спрос. [1]

Предприятия малого бизнеса не располагают большими финансовыми возможностями и работают с привлечением средств кредитных организаций, поэтому осуществление закупочной деятельности производится в рамках имеющегося лимита свободных денежных средств.

Таким образом актуальной представляется задача применения методов интеллектуального анализа продаж товаров, с целью прогнозирования спроса на них и построения с использованием современных алгоритмов системы автоматизации планово-закупочной деятельности торгового предприятия.

Предлагаемый подход

Для решения поставленных задач предлагается разработать автоматизированную систему, которая могла бы не только прогнозировать продажи товаров, но и формировать закупочный лист исходя из свободного бюджета предприятия, выделяемого под закупку товаров.

Прогнозирование будет основываться на данных по продажам прошлых периодов, хранимых в реляционных таблицах базы данных в системе «1С:Предприятие 8.3», так как подавляющим большинством предприятия малого бизнеса используется именно такая система автоматизации фирмы «1С». [2]

В качестве алгоритмического обеспечения процесса прогнозирования в системе предлагается использовать технологию нейросетевого моделирования.

Алгоритмическое обеспечение системы автоматизации

В системе автоматизации планово-закупочной деятельности предлагается использовать многослойную искусственную нейронную сеть. При использовании такой технологии требуется решить две задачи:

1. Выбрать структуру искусственной нейронной сети – количество слоев и количество нейронов на них;
2. Обучить нейронную сеть для каждого из товаров, реализуемых торговым предприятием.

Для выбора эффективной структуры нейронной сети с использованием аналитической платформы Deductor проведены исследования трех нейросетевых моделей с одним, двумя и тремя слоями по пять нейронов на каждом слое. [3]

Для проведения экспериментальных исследований использовались данные о продажах товаров торгового предприятия прогрессивного растениеводства «Гидропоника 24» г. Красноярска, которое занимается продажей товаров для культивации растений и относится к сфере малого бизнеса.

При прогнозировании временных рядов, к которым относятся продажи товаров, целесообразно использовать методы предварительной обработки данных для удаления аномальных значений и сглаживания, а также методы повышения размерности задачи такие как метод погружения в лаговое пространство или метод скользящего окна.

Для определения размера скользящего окна требуется выявить наличие внутренней зависимости в данных с применением авторегрессионного анализа. [4]

В результате такого анализа для предприятия «Гидропоника 24» было выявлено наличие сезонности с годичным циклом повторяемости. Пример функции автокорреляции для одного из более реализуемых товаров «Комплект удобрений Plagron Hydro» представлен на рисунке 1.

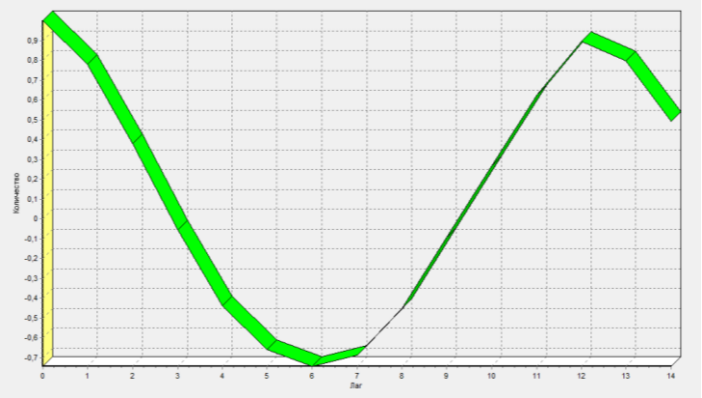


Рисунок 1 - Автокорреляция данных

Таким образом при анализе качества трех исследуемых структур нейронных сетей был использован размер скользящего окна равный 12 периодам (месяцам).

При проведении ряда численных экспериментов в среднем по всей номенклатуре высоко- и среднереализуемых товаров наилучший результат показала сеть с двумя слоями по пять нейронов на каждом.

Например, для товара «Комплект удобрений Plagron Hydro» ошибка прогнозирования составила 3,7% на тестовой выборке. Диаграмма рассеяния показана на рисунке 2.

С учетом лимита денежных средств на закупку товаров предлагается внедрить в разрабатываемое приложение функцию расчета прогноза закупки в пределах доступных денежных средств предприятия.

Если для сформированной системой схемы закупки товаров средств, которыми располагает организация, достаточно, то закупка производится в полном объеме. В случае, если объем денежных средств, требующихся для закупки, превышает лимиты предприятия, то количество приобретаемых товаров необходимо снижать соразмерно дефицита бюджета организации.

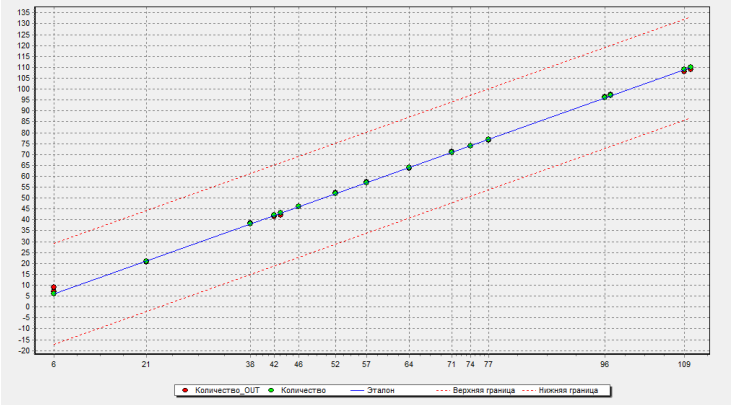


Рисунок 2 – Диаграмма рассеяния двухслойной нейронной сети

Коэффициент такого уменьшения может быть рассчитан в соответствии со следующей формулой:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_i}{Lim},$$

где

k – коэффициент уменьшения количества закупаемых товаров;

$\sum_{i=1}^{n} C_i$ – сумма затрат на товары;

Lim – объем доступных денежных средств;

C_i – затраты на покупку i-го товара (i=1…n);

n – количество товаров.

Тогда объем закупаемых товаров каждого вида для удовлетворения ограничения по объему бюджета организации необходимо уменьшить в k раз, округляя в меньшую сторону до целого значения, для обеспечения не нарушения ограничения:

$$\widehat{C_i} = mod\left(\frac{C_i}{k}\right),$$

где

$\widehat{C_i}$, руб. – новый объем затрат на закупку i-го товара;

C_i, руб. – объем затрат на закупку i-го товара;

k – коэффициент уменьшения.

Введение такого преобразования позволит формировать закупки оптимального состава в рамках ограниченного бюджета организации.

Программное обеспечение автоматизированной системы

Диаграмма состояний системы, реализованная в терминах языка унифицированного моделирования UML, представлена на рисунке 4.

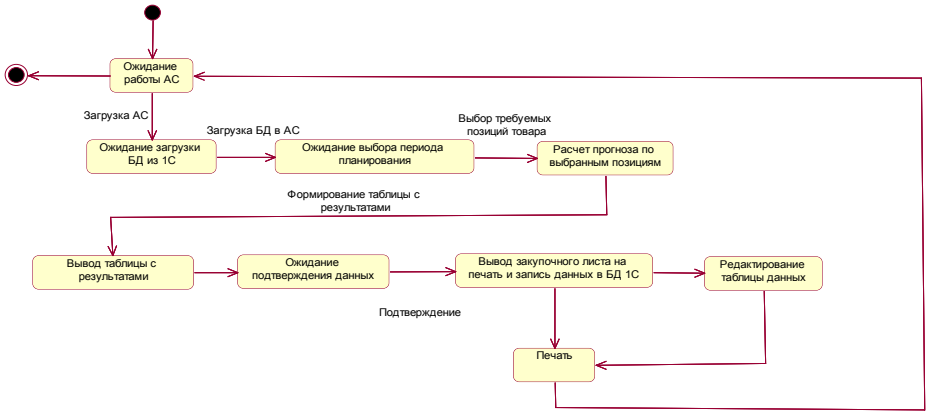


Рисунок 4 – Диаграмма состояний автоматизированной системы

Внешний вид разработанной автоматизированной системы представлен на рисунках 5.

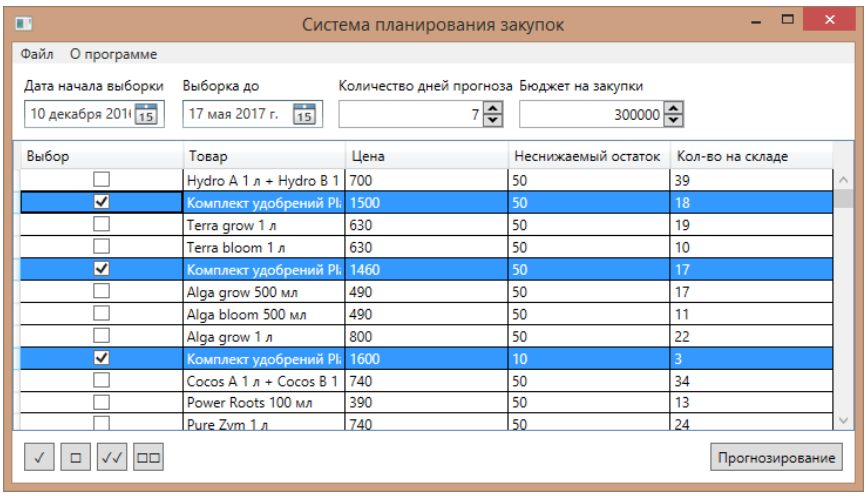


Рисунок 5 – Интерфейс автоматизированной системы

В системе имеется возможность устанавливать периоды прогноза и выборки прошлых продаж. Установка ограничения денежных средств увеличивает вероятность точности планирования закупки товаров. В окне прогноза можно ознакомиться с графиками прогноза продажи товара и статистикой прошлых продаж. Кнопка «Сформировать закупочный лист» выгружает спрогнозированные данные в форму закупочного листа.

Применение такой системы позволит предприятиям малого бизнеса в условиях ограниченности денежных средств реализовывать эффективные планы закупок, обеспечивающие текущий рыночный спрос и минимальные затраты на хранение товара.

Выводы

В работе было проведено исследование проблемы планово-закупочной деятельности на предприятии розничной торговли. Предложенный подход основывается на использовании нейросетевого метода прогнозирования.

Разработанное программное обеспечение позволяет в автоматизированном режиме составлять закупочный лист в рамках свободного бюджета организации.

Список литературы

1. Intuit. Лекция предсказания финансовых временных рядов (http://www.intuit.ru/studies/courses/2255/139/lecture/20571?page=2)

2. *Arjan J. Van Weele*. Purchasing and supply chain management: analysis, strategy, planning and practice [Text] / J. Arjan / Cengage Learning EMEA: ISBN:978-1-4080-1896-5 / 2010. P- 385

3. *Рутковская, Д.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст]: Пер. с польск. / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.

4. Портал по вопросам автоматизации процесса закупки, электронный ресурс (http://www.k_press.ru)

05.13.18

М.А. Форгани

Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Лаборатория комбинаторной алгебры,
Екатеринбург, majid.forqani@gmail.com

ВЫДЕЛЕНИЕ НОВЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МУТАЦИИ В БЕЛКЕ ВИРУСА ГРИППА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-136-138

В данной работе описывается новый вычислительный метод, используемый для анализа последовательности белка и изучения его мутаций. Предлагаемый новый гибридный метод, основан на объединении методов, исследователей Г. Ву и Ш. Янем (Wu Guang & Yan Shaomin), и метода глобальных дескрипторов. Этот гибридный метод использован для сортировки последовательностей гемагглютинина вируса гриппа H1N1 в течение периода с 2009 до 2017 года. По результатам вычислительных экспериментов видно, что эта комбинация методов позволяет выявить новую информацию для использования в различных задачах, таких как прогноз типа фолдинга белка, изучение и моделирование эволюции белков и их классификации.

Ключевые слова: *выделение признаков, глобальные дескрипторы, вирус гриппа, принцип случайности, гемагглютинин*.

Введение

Начиная с 1999 года, ведется разработка вычислительных метода на основе принципов перестановки и случайности для анализа первичной структуры белков. В работе [1] описаны два метода. Первый метод связан с расчетом предсказуемых и непредсказуемых участков аминокислотных пар в белке. Второй касается расчета ранга аминокислотного распределения в белке. Проводился анализ белков, часто мутирующих с течением времени, таких как гемагглютинин вирусов гриппа А. Признаки этих методов позволяют анализировать стабильность белков, используя числовое измерение. Затем сравниваются значения, представляющие разные белки своей группы, оцениваются мутации, влияющие на белки, выявляются тенденции мутации в белках, рассчитывается мутационная периодичность и прослеживается процесс мутации по времени [1]. Назовем эти методы – методами Wu&Yan – по именам авторов, исследователей Wu Guang и Yan Shaomin.

Ниже, в работе описывается методика, направленная на улучшение характеристик метода Wu&Yan с помощью метода глобальных дескрипторов. Также описываются вычислительные эксперименты, основанные на применении новой методики.

Материалы и методы

Методы Wu&Yan основаны на случайности распределения аминокислоты и аминокислотных пар. В случае использования распределения аминокислоты, определяются два значения вероятности – теоретическое и фактическое. Если эти две вероятности равны, то аминокислота называется предсказуемой, а, если нет, то непредсказуемой. Таким образом можно разделить белок соответственно на предсказуемую и непредсказуемую части [1].

Для вычисления теоретической вероятности понадобится рассмотреть все варианты распределения и выбрать тот, который имеет максимальную вероятность. Чем больше количество аминокислоты одного типа в последовательности, тем сложнее вычислить все варианты распределения, что является недостатком метода. В настоящей работе предлагается рекурсивный алгоритм для таких вычислений.

Второй подход, описанный в работе [1], построен на основе количества пар аминокислот. Как и в предыдущем случае, каждая пара аминокислот имеет два значения, так называемые предсказуемая и фактическая частоты. Разница между фактическими и предсказуемыми частотами рассматривается как мера структурной стабильности пары аминокислот. При этом чем меньше разница, тем стабильнее конструкция аминокислотной пары. Величина разницы между фактическими и предсказуемыми частотами, если отсортировать её по времени, может выявить направление будущих мутаций. С помощью этой разницы можно группировать пары аминокислот на три группы: первая та, в которой фактическая частота аминокислотных пар меньше, чем предсказуемая, вторая, у которой фактическая частота больше, чем предсказуемая, и, наконец, третья, чья фактическая частота равна её предсказуемой [1].

В свою очередь эти группы можно изучить с помощью глобальных дескрипторов. Глобальные дескрипторы – это компактное представление свойства, которое может принимать разные значения. Глобальные дескрипторы состоят из трех векторов: композиция (К), переход (П), распределение (Р) (далее вектора КПР). Вектор К описывает процентную долю групп свойств аминокислот в последовательности, в то время как вектор П вычисляет процент транзитов между аминокислотами разных групп свойств, а вектор Р показывает расположение первой позиции, 25%, 50% 75% и 100% количества аминокислот каждой конкретной группы свойств в последовательности. Эти вектора показали эффективность в классификации белковых последовательностей, таких, как: (1) изучение тропизма носителя [2]; (2) прогнозирование РНК-связывающих белков [3]; (3) функциональная классификация белка [4], а также (4) прогнозированиие белков главного комплекса гистосовместимости [5].

Признаки, полученные с помощью векторов КПР из группировки признаков на основе методов Wu&Yan для аминкослот и аминокслотных пар, называются гибридными признаками. Они содержат в себе компактную статистическую информацию об этих группах и их распределениях в белке. В действительности, гибридные признаки – это признаки, извлеченные векторами КПР из группировки признаков, полученных на основе методов Wu&Yan и можно их рассматривать как признаки признаков.

Результаты

Чтобы продемонстрировать эффективность новых признаков, они были применины для сортировки около 4000 последовательностей белка гемагглютинина вируса H1N1 в период с 2009 до 2017 гг. (Данные получены из Национального центра биотехнологической информации. – [6]). С использованием признаков, основанных на частоте аминокислотных пар метода Wu&Yan и их гибридных признаков с применением метода главных компонентов на этих признаках, были получены следующие иллюстрации, показывающие мутации белков за определенный период.

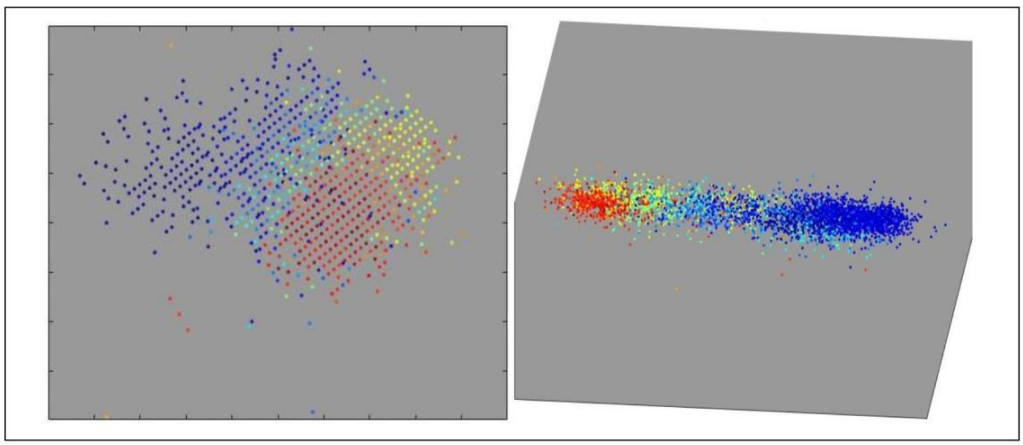


Рис. 1– Иллюстрация сортировки гемагглютинина вируса гриппа

На рис.1 слева – результат для признаков Wu&Yan, справа – результат гибридных признаков. Цветами показаны индексы месяца, синий – первый месяц периода, красный – последний.

Результаты показывают, что гибридные признаки захватывают больше информации и эффективнее демонстрируют изменения в белках во времени.

Дополнительно для экперимента были классификацированы гемагглютинины вируса гриппа H5N1 на основе носителя с использованием нейронной сети прямого распостранения. Новые признаки в классификации показали меньшую среднеквадратичную ошибку, чем признаки Wu&Yan. Кроме того, гибридные признаки показали корреляцию около 0.5 со свойством заряда. Это указывает на возможность того, что они содержат в себе и информацию о физико-химических свойствах аминокислоты.

Заключение

Поскольку подходы Wu&Yan основаны на распределении аминокислот и очень чувствительны к их изменению, в работе были выделены гибридные признаки, которые дают более стабильную статистическую информацию. Демонстрация сортировки гемагглютинина вируса гриппа показаывает взаимоотношение новых признаков с мутациями. Выбор признаков зависит от цели исследования, но, тем не менее, эффективность новых признаков позволяет предположить, что они могут быть хорошим выбором для решения таких задач как: прогноз типа фолдинга белка, изучение и моделирование эволюции и классификации белков.

Список литературы

1. *Wu G., Yan SM.*: Mutation trend of hemagglutinin of influenza A virus: a review from a computational mutation viewpoint // Acta Pharmacologica Sinica, 2006. 27(5): p. 513-526.
2. *Eng C.L. , Tong J.C., Tan T.W.*: Predicting host tropism of influenza A virus proteins using random forest // BMC medical genomics, 2014. 7(3): p. S1.
3. *Han L.Y., et al.*: Prediction of RNA-binding proteins from primary sequence by a support vector machine approach // Rna, 2004. 10(3): p. 355-368.
4. *Cai C., et al.*: SVM-Prot: web-based support vector machine software for functional classification of a protein from its primary sequence // Nucleic acids research, 2003. 31(13): p. 3692-3697.
5. *Cui J., et al.*: Prediction of MHC-binding peptides of flexible lengths from sequence-derived structural and physicochemical properties // Molecular immunology, 2007. 44(5): p. 866-877.
5. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genomes/FLU (дата обращения 02.05.2017).

05.13.18

М.К. Хасанов

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,
кафедра прикладной информатики и программирования,
Стерлитамак, hasanovmk@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКАЧКИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ПЛАСТ С УЧЕТОМ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-3-139-141

На основе представленной математической модели исследуются особенности образования газогидрата диоксида углерода при закачке углекислого газа в природный пласт, насыщенный метаном и водой. Показано, что в зависимости от давления инжекции гидратообразование может происходить как в протяженной области, так и на фронтальной поверхности.

Ключевые слова: *математическая модель, газогидраты, фильтрация.*

Введение. На сегодняшний момент одним из явлений, напрямую влияющих на климатические условия нашей планеты, считается парниковый эффект. По мнению ряда исследователей стратегия борьбы с усилением парникового эффекта должна заключаться в принятии комплекса мер, среди которых можно выделить снижение концентрации CO_2 за счет регулярного его удаления из атмосферы. Выделенный при этом углекислый газ предлагается размещать в пористые коллекторы, в частности, в истощенные месторождения углеводородного сырья [1-2]. Поскольку при достаточно длительном хранении диоксида углерода в виде флюида существует опасность эмиссии газа в атмосферу, то в этой связи в ряде работ изучается потенциальная возможность подземного захоронения CO_2 в твердой газогидратной форме [3-4]. Основным аргументом в пользу захоронения CO_2 в газогидратном состоянии является способность гидратов связывать значительное количество газа в малом объеме [5].

В настоящей работе исследуется математическая модель образования гидрата CO_2 при закачке углекислого газа в истощенное месторождение углеводородов.

Постановка задачи. Пусть полубесконечный горизонтальный пористый пласт (занимающий полупространство $x>0$) в начальный момент насыщен водой с исходной насыщенностью S_{l0} и метаном, давление p_0 и температура T_0 которых в исходном состоянии соответствуют условиям существования смеси воды и метана. Положим, что через границу ($x=0$) закачивается углекислый газ, давление p_w и температура T_w которого соответствуют условиям существования смеси газообразного диоксида углерода и его гидрата и поддерживаются на границе постоянными.

Будем пренебрегать перемешиванием газов, и предполагать устойчивость фронта вытеснения метана углекислым газом. Это обусловлено ламинарностью течений в природных пластах, а также тем, что вязкость CO_2 превышает вязкость метана. Кроме того, вследствие непрерывной закачки интенсивность массопереноса, обусловленного фильтрацией газов в проницаемой пористой среде, значительно превышает интенсивность массопереноса обусловленного диффузией.

Будем полагать, что в пласте образуются три характерные области. В первой (ближней) области поры насыщены углекислым газом и его гидратом, во второй (промежуточной) области присутствуют вода, углекислый газ и его газогидрат в состоянии термодинамического равновесия, а в третьей (дальней) области поры насыщены метаном и водой. Соответственно существуют две подвижные межфазные поверхности: между дальней и промежуточной областями, где начинается переход воды в гидрат, и между ближней и промежуточной областями, на которой заканчивается процесс образования гидрата.

Основные уравнения. Для описания процессов тепломассопереноса при закачке CO_2 в пористый пласт примем следующие допущения. Скелет пористой среды, вода и гидрат несжимаемы, пористость постоянна, метан и углекислый газ являются калорически совершенными газами, вода неподвижна (т.к. рассматривается случай, когда величина исходной водонасыщенности не превышает 0.2).

Система основных уравнений, описывающая процессы фильтрации и теплопереноса в пористой среде представляет собой законы сохранения масс и энергии, закон Дарси и уравнение состояния:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_g m S_g\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho_g m S_g \upsilon_g\right)=\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_h m S_h G\right),\ \frac{\partial}{\partial t}\left(m\rho_l S_l\right)=\frac{\partial}{\partial t}\left(m(1-G)\rho_h S_h\right),$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho cT)+\rho_g c_g m S_g \upsilon_g \frac{\partial T}{\partial x}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial x}\right)=\frac{\partial}{\partial t}\left(m\rho_h S_h L_h\right),\qquad m S_g \upsilon_g=-\frac{k_g}{\mu_g}\frac{\partial p}{\partial x} \tag{1}$$

$$p=\rho_g R_g T,\ k_g=kS_g.$$

где m – пористость; G – массовая концентрация углекислого газа в гидрате; p – давление; T – температура; k – абсолютная проницаемость пласта; υ_g, k_g, c_g и μ_g – соответственно скорость, проницаемость, удельная теплоемкость и динамическая вязкость газовой фазы; L_h – удельная теплота гидратообразования; ρc и λ – удельная объемная теплоемкость и коэффициент теплопроводности системы; ρ_jи S_j ($j = h, l, g$) – истинные плотности и насыщенности пор j – ой фазы; индексы $j = h, l$ и g относятся к параметрам гидрата, воды и газа соответственно. Так как основной вклад в значения ρc и λ вносят соответствующие параметры скелета пористой среды (горной породы), то будем считать их постоянными величинами.

Значения температуры и давления в области образования гидрата связаны условием фазового равновесия:

$$T=T_{s0}+T_*\ \ln\left(p/p_{s0}\right),$$

где T_{s0} – равновесная температура гидратообразования, соответствующая давлению p_{s0}, T_* – эмпирический параметр, зависящий от вида газогидрата.

На поверхности $x=x_{(n)}$, разделяющей ближнюю и промежуточную области, в общем случае возможен скачок гидратонасыщенности от $S_h^- = S_{h(1)}$ до $S_h^+ = S_{h(l)}$. Поэтому из условий баланса массы и тепла следует:

$$-\frac{k_{g(1)}}{\mu_{g(1)}}\frac{\partial p_{(1)}}{\partial x}+\frac{k_{g(2)}}{\mu_{g(2)}}\frac{\partial p_{(2)}}{\partial x}=m\left(S_{h(1)}-S_{h(n)}\right)\left(\frac{\rho_h G}{\rho_{g0}}+\frac{\rho_h(1-G)}{\rho_l}-1\right)\dot{x}_{(n)},$$

$$\lambda\frac{\partial T_{(1)}}{\partial x}-\lambda\frac{\partial T_{(2)}}{\partial x}=m\left(S_{h(1)}-S_{h(n)}\right)\rho_h L_h\dot{x}_{(n)},$$

где $\dot{x}_{(n)}$ – скорость движения ближней границы фазовых переходов. Нижний индекс n относится к параметрам на границе, разделяющей ближнюю и промежуточную области, а нижние индексы 1 и 2 – к параметрам первой и второй областей соответственно.

На поверхности $x=x_{(d)}$, разделяющей промежуточную и дальнюю области (возможен скачок гидратонасыщенности от $S_h^- = S_{h(d)}$ до $S_h^+ = 0$. Тогда с учетом условий баланса массы и тепла на этой границе имеем:

$$-\frac{k_{g(2)}}{\mu_{g(2)}}\frac{\partial p_{(2)}}{\partial x}=m\left(S_{h(d)}\left(\frac{\rho_h G}{\rho_{g0}}+\frac{\rho_h(1-G)}{\rho_l}-1\right)+1-S_{l0}\right)\dot{x}_{(d)},$$

$$-\frac{k_{g(3)}}{\mu_{g(3)}}\frac{\partial p_{(3)}}{\partial x}=m\left(1-S_{l0}\right)\dot{x}_{(d)},\qquad \lambda\frac{\partial T_{(2)}}{\partial x}-\lambda\frac{\partial T_{(3)}}{\partial x}=mS_{hd}\rho_h L_h\dot{x}_{(d)},$$

где $\dot{x}_{(d)}$ – скорость движения дальней границы фазового перехода. Нижний индекс d относится к параметрам на границе, разделяющей вторую и третью области, а нижний индекс 3 – к параметрам третьей зоны.

На обеих границах давление и температуру будем считать непрерывными величинами.

На основе уравнений системы (1), уравнения пьезопроводности и температуропроводности запишутся в виде:

$$\frac{\partial p^2}{\partial t} = \aleph^{(p)} \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial p^2}{\partial x}\right) - 2\Re_h p^2 \frac{\partial S_h}{\partial t},\ \frac{\partial T}{\partial t} = \aleph^{(T)} \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \aleph^{(T)}\mathrm{Pe}\frac{\partial p^2}{\partial x}\frac{\partial T}{\partial x} + F\frac{\partial S_h}{\partial t},$$

где $\Re_h = \dfrac{\rho_h G}{\rho_{g0}(1-S_{l0})}$, $F = \dfrac{m\rho_h L_h}{\rho c}$, $\aleph^{(p)} = \dfrac{kp}{\mu_g m}$, $\aleph^{(T)} = \dfrac{\lambda}{\rho c}$, $\mathrm{Pe} = \dfrac{\rho_g c_g}{2\lambda}\dfrac{k_g}{p\mu_g}$.

Начальные условия и условия на левой границе пласта имеют вид:

$$t=0:\ S_l = S_{l0},\ T=T_0,\ p=p_0\ (x \geq 0).\quad x=0:\ T=T_w,\ p=p_w\ (t>0).$$

Результаты расчетов. На рис. 1 приведены зависимости координат границ фазовых переходов от давления закачиваемого газа через одни сутки после начала инжекции. Кривая *1* соответствует ближнему фронту фазовых переходов, а кривая *2* – дальней границе гидратообразования. Для параметров, характеризующих систему, приняты следующие значения: $m = 0.1$, $S_{l0} = 0.2$, $p_0 = 2.6$ МПа, T_w=276 К, $T_0 = 278$ К, $k = 10^{-15}$ м^2, $G = 0.28$, $\lambda = 2$ Вт/(м К), $\rho c = 2\cdot10^6$ Дж/(К кг), $\rho_h = 1100$ кг/м^3, $\rho_l = 1000$ кг/м^3, $\mu_g = 1.5\cdot10^{-5}$ Па·с, $c_g = 800$ Дж/(К кг), $R_g = 189$ Дж/(К кг), $L_h = 4.14\cdot10^5$ Дж/кг, T_*=7.6 К, T_{s0}=276 К, p_{s0}=1.31 МПа.

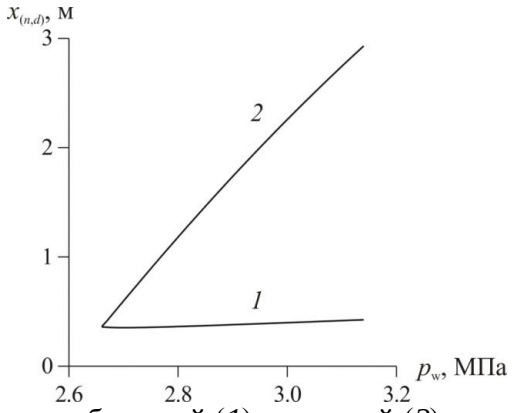


Рис. 1– Зависимость координат ближней (*1*) и дальней (*2*) границ гидратообразования от давления инжекции

Рис. 1 показывает, что при достаточно малых значениях давления инжекции происходит слияние фронтов, т.е. протяженная область гидратообразования переходит во фронтальную границу. Это обусловлено тем, что для существования протяженной области фазовых переходов теплота, выделившаяся при фазовых превращениях, должна обеспечить нагрев второй области до равновесной температуры гидратообразования. При низких значениях давления инжекции скорость движения границ фазовых переходов (т.е. интенсивность гидратообразования) будет низкой. Поэтому интенсивность тепловыделения будет также мала, что затрудняет нагрев пласта до равновесной температуры гидратообразования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Башкортостан в рамках научного проекта № 17-48-020123 р_а.

Список литературы

1. *Oldenburg C.M., Pruess R., Benson S.M.* Process modeling of CO_2 injection into natural gas reservoirs for carbon sequestration and enhanced gas recovery // Energy and Fuel. 2001. V. 15. P. 293-298.

2. *Benson S.M, Cole D.R.* CO_2 sequestration in deep sedimentary formations // Elements. 2008. V. 4. P. 325-331.

3. *Чувилин Е.М., Гурьева О.М.* Экспериментальное изучение образования гидратов CO_2 в поровом пространстве промерзающих и мерзлых пород // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 3. С. 70-79.

4. *Дучков А.Д., Соколова Л.С., Аюнов Д.Е., Пермяков М.Е.* Оценка возможности захоронения углекислого газа в криолитозоне Западной Сибири // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 4. С. 62-68.

5. *Бык С.Ш., Макогон Ю.Ф., Фомина В.И.* Газовые гидраты. М.: Химия, 1980.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.С. Минкин, Б.Н. Иванов, Р.Х. Зиятдинов,
Т.Ю. Миракова, А.В. Репина

ВУЛКАНИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЖИДКИХ ТИОКОЛОВ В ПРИСУТСТВИИ ДИМЕТИЛФОРМАМИДА

Ключевые слова: вулканизат, диметилформамид, бихромат натрия.

Методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР) исследовано влияние добавок в вулканизат полисульфидного олигомера в виде различных растворов бихромата натрия. Показана высокая эффективность введения бихромата натрия в растворе диметилформамида.

V.S. Minkin, B.N. Ivanov, R.H. Ziyatdinov,
T.Y. Mirakova, A.V. Repina

VULCANIZATION INDUSTRIAL LIQUID THIOKOL IN THE PRESENCE OF DIMETHYLFORMAMIDE

Keywords: vulcanizate, dimethylformamide, bichromate sodium.

The method of nuclear magnetic resonance (NMR) studied the effect of additives in the vulcanizate polysulfide oligomer in the form of various solutions of sodium dichromate. The high efficiency of the introduction of the bichromate of sodium in a solution of dimethylformamide.

В.В. Абрамова

ПРИБЛИЖЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ПЕРВОГО ПОРЯДКА С ПАРАМЕТРОМ ПРИ ПРОИЗВОДНОЙ

Ключевые слова: краевая задача, обратный оператор, метод редукции, метод коллокации, ряд Фурье.

Проводится теоретическое обоснование решения периодической краевой задачи для дифференциального уравнения первого порядка с параметром (в том числе и малым) при производной методами редукции и коллокации в условиях применимости теории монотонных операторов и общей теории приближенных методов функционального анализа.

V.V. Abramova

APPROXIMATE METHODS OF THE SOLUTION FOR PERIODIC BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR FIRST ORDER DIFFERENTIAL EQUATION WITH PARAMETER IN DERIVATIVE

Keywords: boundary value problem, inverse operator, reduction method, collocation method, Fourier series.

The theoretical justification for the solution of the periodic boundary value problem for a first-order differential equation with a parameter (including the small one) for the derivative by reduction and collocation methods under the conditions of the applicability of the theory of monotone operators and the general theory of approximate methods of functional analysis is carried out.

И.Х. Еникеев

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ДОКАЗАТЕЛЬСТВУ ТЕОРЕМЫ ФЕРМА

Ключевые слова: теорема Ферма, целочисленные переменные, линейное программирование.

В статье приведено доказательство фундаментальной теоремы Ферма при некоторых упрощающих предположениях. Основные допущения основаны на предположении о существовании функциональной зависимости между целочисленными переменными, входящими в условие теоремы. Осуществлён переход от уравнения Ферма к системе дифференциальных уравнений.

I.H. Enikeev

ABOUT ONE PARTICULAR CASE OF FERMAT'S THEOREM

Keywords: Fermat's theorem, integer variables, linear programming.

The article shows the proof of fundamental Fermat's theorem under certain simplifying assumptions. Key assumptions are based on the assumption of the existence of functional dependencies between integer variables that are included in the statement of the theorem. The transition on Fermat's equation to the system of differential equations.

Г.И. Зенович

СВОЙСТВА РЕШЕНИЙ ОДНОМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ МОНОДИСПЕРСНОЙ СУСПЕНЗИИ В ОДНОРОДНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

Ключевые слова: фильтрация, пористая среда, суспензия, коэффициент фильтрации, асимптотика.

Рассматривается математическая модель движения частиц в фильтре с единственным геометрическим механизмом захвата. Исследуются свойства концентраций взвешенных и осажденных частиц и асимптотика при фиксирующем коэффициенте фильтрации.

G.I. Zenovich

THE PROPERTIES OF SOLUTIONS THE ONE-DIMENSIONEL PROBLEM FOR MONODISPERSED FILTRATION IN POROUS MEDIA

Keywords: filtration, porous media, filtration coefficient, asymptomatics.

The paper present the mathematical model of transport particles in a filter with singular size-exclusion particle capture mechanism. The solutions of equations and asymptotics under blocking filtration coefficient are researched.

С.А. Никифоров, З.Я. Якупов

СРАВНЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МОНЖА-КАНТОРОВИЧА

Ключевые слова: задача Монжа-Канторовича, метод Северо-Западного угла, аппроксимация Фогеля.

В работе представлены результаты исследования полезности и целесообразности использования тех или иных методов при решении задач Монжа-Канторовича.

S.A. Nikiforov, Z.Ya. Yakupov

COMPARISON AND CLASSIFICATION OF METHODS FOR SOLVING THE MONGE-KANTOROVICH PROBLEM

Keywords: The Monge-Kantorovich problem, the method of the North-West corner, the Vogel approximation.

The paper presents the results of a study of the usefulness and appropriateness of using various methods for solving Monge-Kantorovich problems.

В.Ш. Ройтенберг

О РОЖДАЮЩИХСЯ ИЗ БЕСКОНЕЧНОСТИ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЦИКЛАХ ОДНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА НА ОКРУЖНОСТИ

Ключевые слова: дифференциальные уравнения второго порядка на окружности, предельный цикл, бифуркации.

V.Sh. Roitenberg

ON BORN FROM THE INFINITY LIMIT CYCLES OF SOME SECOND ORDER DIFFERENTIAL EQUATION ON THE CIRCLE

Keywords: second order differential equation on the circle, limit cycle, bifurcations.

Рассматриваются дифференциальные уравнения второго порядка, правые части которых полиномы второго порядка относительно первой производной с периодическими коэффициентами, на цилиндрическом фазовом пространстве. Получена асимптотика предельного цикла, рождающегося из бесконечности, в типичном однопараметрическом семействе уравнений.

The paper study second order differential equation, which right part is polynomial with periodic coefficients on the cylindrical phase space. We obtain the asymptotics of born from the infinity limit cycle in generic one-parameter family of equations.

И.В. Цивильский, Н.Р. Сераева, И.И. Старшова
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЧАСТИЦ ПОРОШКА И ГАЗА В ЛАТЕРАЛЬНЫХ И СВЕРХЗВУКОВЫХ СОПЛАХ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Ключевые слова: лазерные технологии, газодинамическое сопло, транспортировка порошка, наплавляемый материал, численное моделирование, газовая динамика, латеральные и сверхзвуковые сопла.

В современном лазерном аддитивном производстве широко используются газодинамические сопла для транспортировки порошка наплавляемого материала к обрабатываемой поверхности или подложке. Исследование газодинамических характеристик во многом определяет оптимальные режимы работы и конфигурацию наплавочных сопел. В работе выполнено численное моделирование газовой динамики и порошковой фазы в латеральных и сверхзвуковых соплах.

I.V. Tsivilskii, N.R. Seraeva, I.I. Starshova
NUMERICAL SIMULATION OF THE DYNAMICS OF POWDER AND GAS PARTICLES IN LATERAL AND SUPERSONIC NOZZLES FOR LASER SURFACING

Keywords: laser technology, gas-dynamic nozzle, transporting powder, the deposited material, the numerical simulation, fluid dynamics, the lateral and supersonic nozzles.

In modern manufacturing methods of laser technology is widely used gas-dynamic nozzle for transporting powder the deposited material to the work surface or substrate. The study of gas dynamic characteristics largely determines the optimal operating conditions and configuration surfacing nozzles. This paper presents the numerical simulation of fluid dynamics and a powder phase in the lateral and supersonic nozzles.

А.П. Буйносов
МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ

Ключевые слова: локомотив, колесная пара, бандаж, ресурс, методика, полиномиальная регрессия.

В статье приведена методика прогнозирования ресурса бандажей колесных пар локомотивов основанная на полиномиальной зависимости контролируемых параметров от пробега, позволяющая по сравнению с существующей увеличить точность прогноза износа бандажей.

A.P. Buinosov
TECHNIQUE OF FORECASTING OF PROCESS OF WEAR AND DEFINITION OF THE RESOURCE OF BANDAGES OF WHEELPAIRS OF LOCOMOTIVES WITH USE OF POLYNOMIAL REGRESSION

Keywords: locomotive, wheelpair, bandage, resource, technique, polynomial regression.

The technique of forecasting of a resource of bandages of wheelpairs of locomotives based on polynomial dependence of controlled parameters on a run, allowing in comparison with existing is given in article to increase the accuracy of the forecast of wear of bandages.

Д.А. Веденькин, О.Ю. Зуев
РАЗРАБОТКА БЛОК – СХЕМЫ И АЛГОРИТМА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО КОМПЛЕКСА

Ключевые слова: Микроволновые технологии, алгоритм, управление технологическим процессом, адаптивные технологии, обратная связь.

В данной статье рассмотрены блок-схема системы управления СВЧ микроволнового комплекса и алгоритм работы генераторного оборудования. Разработаны режимы, принципы построения адаптивной системы, технологий для автоматизации трудоемких задач.

D.A. Vedenkin, O.Yu. Zuev
DEVELOP A BLOCK DIAGRAM AND ALGORITHM OF CONTROL SYSTEM OF THE MICROWAVE COMPLEX

Keywords: Microwave technology, algorithm, process control, adaptive technology, and feedback.

This article describes the block diagram of control system of microwave of microwave and algorithm of work of the generating equipment. The developed modes, principles of adaptive system technology to automate time-consuming tasks.

В.И. Гришечкин, Н.П. Назарова, Р.С. Шамсутдинов
ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД КАК ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Ключевые слова: электрическая энергия, частотно-регулируемый привод, эффективность, мощность

В работе рассматриваются проблемы энергосбережения. Для снижения потребления электрической энергии в промышленности энергетики снижают мощность работы генераторов, в результате чего меньше сжигается топлива. Одним из эффективных способов экономии является применение в промышленности и производстве частотно-регулируемых приводов.

V.I. Grishechkin, N.P. Nazarova, R.S. Shamsutdinov
FREQUENCY-REGULATED DRIVE AS ENERGY-SAVING TECHNOLOGY

Keywords: electric energy, frequency-controlled drive, efficiency, power

The problems of energy saving are considered in the paper. To reduce electricity consumption in the energy industry, the power of the generators is reduced, resulting in less fuel burned. One of the effective ways of saving is the use in industry and manufacturing of frequency-controlled drives

В.А. Иванов, И.А. Мутугуллина
АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПОТОКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В КОНТУРЕ СИСТЕМЫ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ КАК ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ГИДРАВЛИКИ ПЕРЕМЕННОГО РАСХОДА

Ключевые слова: поток количества движения, коллектор,

V.A. Ivanov, I.A. Mutugullina
ANALYTICAL METHOD FOR CALCULATION OF FLOW DISTRIBUTION IN THE CIRCUIT OF LIQUID COOLING SYSTEMS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES AS A REVERSE TASK OF HYDRAULIC VARIABLE FLOW

Keywords: the flow amount of motion, the collector, the

коэффициент гидравлического сопротивления, напор.

Предлагается аналитический метод расчета потока распределения в контуре системы охлаждения поршневых двигателей внутреннего сгорания, основанный на решении простой обратной задачи гидравлики переменного расхода для коллекторных систем. Установлены аналитические зависимости между коэффициентами сопротивления, расходом, геометрией, напорной характеристикой коллектора.

coefficient of hydraulic resistance, pressure.

It is proposed the analytical method for calculation of flow distribution in the circuit liquid cooling system of internal combustion engines based on the solution of simple inverse problems of hydraulics variable flow rate for collector systems. Analytical dependences between the coefficients of resistance, flow, geometry, pressure characteristics of the reservoir are determined.

Т.М. Кокина

УСТАНОВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕТОЧНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И МОНТАЖА ПЕРЕДАЧ ПРИВОДОВ МАШИН НА КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ТОЧНОСТЬ ВРАЩЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Ключевые слова: кинематическая точность вращения рабочих органов, коэффициент неравномерности вращения, ошибки изготовления и монтажа передач.

В работе установлена связь между ошибками изготовления и монтажа деталей электромеханических приводов на кинематическую точность рабочих органов. Результаты могут использоваться для априорной оценки факторов при составлении модели процесса движения и снижения коэффициента неравномерности рабочих органов машин.

T.M. Kokina

THE INFLUENCE OF INACCURACIES OF MANUFACTURE AND INSTALLATION OF GEAR DRIVES OF ALL CARS ON THE KINEMATIC ACCURACY OF ROTATION OF THE WORKING BODIES

Keywords: the kinematic accuracy of rotation of the working bodies, the rotation irregularity factor, errors of manufacturing and Assembly gear.

In the work the relation between the errors of manufacturing and installation of parts of the electromechanical actuators on the kinematic accuracy of the working bodies was found. The results can be used for a priori assessment of the factors in the preparation process model of movement and reduce the coefficient of irregularity of working bodies of machines.

Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ11 НА ИЗНОС БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР

Ключевые слова: электровоз, эксплуатация, условия, колесная пара, бандаж, износ, влияние.

В статье приводятся результаты климатических условий эксплуатации на износ гребня и прокат бандажей колесных пар грузовых электровозов ВЛ11.

N.G. Fetisova, A.P. Buinosov

INFLUENCE OF SERVICE CONDITIONS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES OF VL11 ON WEAR OF BANDAGES OF WHEELPAIRS

Keywords: electric locomotive, operation, conditions, wheelpair, bandage, wear, influence.

The summary: Results of climatic conditions of operation on wear of a ridge and hire of bandages of wheelpairs of cargo electric locomotives of VL11 are given in article.

А.А. Швецова, Г.В. Смирнов д.т.н., П.Е. Киселёв, П.А. Шляпников

ОРГАНИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: машиностроительное производство, автоматизация, ключевые показатели эффективности, вектор управления.

В работе представлен анализ деятельности крупной самарской двигателестроительной организации. Сформирована концепция интеграции ключевых показателей эффективности и вектора управления для организации деятельности предприятия. Разработан модуль автоматизированной системы управления предприятием. Проведена опытная эксплуатация представленных интеграционных решений.

A.A. Shvetsova, G.V. Smirnov, P.E. Kiselev, P.A. Shlyapnikov

ORGANIZATION OF THE WORK OF THE DEPARTMENTS OF ENGINEERING PRODUCTION

Keywords: engineering production, automation, key performance indicators, control vector.

This paper presents the analysis of the activity of a large Samara engine-building company. The concept of integration of key performance indicators and "control vector" are formulated for the organization of the enterprise. The module of the automated control system of the enterprise is developed. Experimental operation of the presented integration solutions is carried out.

И.И. Батыршин, О.Г. Морозов, А.А. Иванов, А.Ж. Сахабутдинов, А.А. Тяжелова

СПЕКТРАЛЬНО-ЧАСТОТНОЕ РАЗНЕСЕНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАДИОФОТОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ МИКРОВОЛНОВЫХ СИГНАЛОВ

Ключевые слова: мгновенная частота микроволнового сигнала, радиофотонный измеритель, преобразование «частота-амплитуда», метод аддитивного частотного разведения, метод предварительного частотного расщепления

Представлены новые подходы к измерению мгновенной частоты микроволновых сигналов, основанные на преобразовании «частота-амплитуда» в классической волоконной брэгговской решетке с гауссовым контуром и в лоренцевском контуре усиления вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна в одномодомовом оптическом волокне. Подходы основаны на спектрально-частотном разнесении составляющих измеряемой микроволновой частоты перед процедурой измерительного преобразования. В первом случае используется метод аддитивного частотного разведения несущей, использование

I.I. Batyirshin, O.G. Morozov, A.A. Ivanov, A.J. Sakhabutdinov, A.A. Tyazhelova

SPECTRAL-FREQUENCY SPACING AS A TOOL TO IMPROVE THE ACCURACY FOR INSTANT FREQUENCY OF THE MICROWAVE SIGNALS RADIOPHOTONIC MEASURING

Keywords: instantaneous microwave signal frequency, microwave photonic measurement, frequency-amplitude conversion, additive frequency division method, preliminary frequency splitting method.

New approaches to measuring the instantaneous frequency of microwave signals based on the frequency-amplitude conversion in the classical fiber Bragg grating with a Gaussian contour and in the Lorentz contour of forced Mandelshtam-Brillouin scattering in a single-mode optical fiber are presented. The approaches are based on the spectral-frequency spacing of the components of the measured microwave frequency before the measurement transformation procedure. In the first case, the method of additive frequency carrier division is used, which allows to

которого позволяет до трех раз повысить точность измерения «низких» микроволновых частот (0,4-4) ГГц. Во втором случае используется метод предварительного частотного расщепления компонент измеряемой частоты, использование которого позволяет до трех раз повысить отношение сигнал/шум измерения «высоких» микроволновых частот (4-10) ГГц, а относительная погрешность измерения мгновенной частоты может составить 10^{-4}.

increase the accuracy of measuring "low" microwave frequencies (0.4-4 GHz) up to three times. In the second case, the method of preliminary frequency splitting of the components of the measured frequency is used, which allows to increase the signal-to-noise ratio of measuring "high" microwave frequencies (4-10 GHz) up to three times, and so the relative error of the instantaneous frequency measuring can be 10^{-4}.

Д.И. Касимова, О.Г. Морозов, В.Д. Андреев, А.Ж. Сахабутдинов, И.И. Нуреев

РАДИОФОТОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО КАНАЛА СВЯЗИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПЕКТРА ОТРАЖЕНИЯ ВСТРОЕННОГО БРЭГГОВСКОГО ФИЛЬТРА

Ключевые слова: хроматическая дисперсия, радиосигнал тактовой частоты, метод отношения мощностей, спектр отражения брэгговского фильтра, предварительная амплитудная модуляция, улучшение метрологических характеристик

Представлены новые подходы к измерению хроматической дисперсии высокоскоростного канала связи, основанные на анализе спектра отражения брэгговского фильтра, установленного в схеме измерения отношения мощностей радиосигнала тактовой частоты после прохождения фильтра и без него. Подходы основаны на предварительной амплитудной модуляции оптической несущей и частоты тактового радиосигнала. В первом случае устраняется влияние спектрального сдвига фильтра относительно несущей, что позволяет получить выигрыш до 3 дБ (10%) по точности измерений. Во втором случае достигается выигрыш по отношению сигнал/шум измерений до 10-13 дБ, что позволяет проводить измерения хроматической дисперсии при отношении сигнал/шум 3-5 дБ. Штраф за использование дополнительных частот составляет до 1 дБ.

D.I. Kasimova, O.G. Morozov, V.D. Andreev, A.J. Sakhabutdinov, I.I. Nureev

RADIOPHOTONIC METHOD OF CHROMATIC DISPERSION CONTROL FOR HIGH-SPEED COMMUNICATION CHANNEL ON THE BASIS OF BUILT-IN BRAGG FILTER REFLECTION SPECTRUM ANALYSIS

Keywords: chromatic dispersion, radio clock signal, power ratio method, Bragg filter reflection spectrum, preliminary amplitude modulation, improvement of metrological characteristics.

New approaches to the measurement of the chromatic dispersion of a high-speed communication channel based on the analysis of the reflection spectrum of a Bragg filter established in the scheme for measuring the ratio of the radio signal power frequencies after the passage of the filter and without it are presented. The approaches are based on the preliminary amplitude modulation of the optical carrier and the clock frequency of the radio signal. In the first case, the influence of the spectral shift of the filter relative to the carrier is eliminated, which makes it possible to obtain a gain of up to 3 dB (10%) for the accuracy of the measurements. In the second case, a gain in the signal-to-noise ratio of measurements up to 10-13 dB is achieved, which makes it possible to perform chromatic dispersion measurements at a signal-to-noise ratio of 3-5 dB. The penalty for using additional frequencies is up to 1 dB.

В.В. Киселев, В.Н. Осколков

КОМБИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА СИСТЕМЫ КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Ключевые слова: радиоэлектронная аппаратура, тепловое моделирование, метод электротепловой аналогии, тепловые проводимости, температуры элементов.

Предложена универсальная модель расчета теплообмена и анализа тепловых режимов РЭС. Она объединяет такие модели как моделирование теплового режима конструктивно-функциональных модулей – системы дискретных элементов и моделирование теплового режима конструктивно функциональных модулей с высокой плотностью компоновки. Предлагаемая комбинированная модель сочетает свойства обеих моделей и пригодна также для изделий с несущими основаниями.

V.V. Kiselev, V.N. Oskolkov

A COMBINED MODEL OF HEAT TRANSFER SYSTEM STRUCTURALLY-FUNCTIONAL MODULES OF ELECTRONIC EQUIPMENT

Keywords: thermal modeling, heat transfer, electronic equipment, overheating, and the method of electrothermal analogy.

The universal model of calculation of heat transfer and analysis of thermal regimes of the RECs applicable in practice. It includes such models as the modeling of the thermal regime structurally-functional modules – systems and discrete element modeling of the thermal regime structurally functional modules with a high density layout. The proposed hybrid model combines the properties of both models and is also suitable for products with load-bearing bases

Д.В. Малых, П.Е. Денисенко, Р.И. Файзуллин

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ

Ключевые слова: волоконная брэгговская решетка (ВБР), фазовый π-сдвиг, матричный метод.

В работе представлены результаты расчета характеристик волоконных брэгговских решеток с фазовым сдвигом и простой метод их изготовления на одномодовом волокне с возможностью выбора центральной длины волны в широком диапазоне.

D.V. Malykh, P.E. Denisenko, R.I. Faizullin

DESIGN AND MANUFACTURE OF FIBER BREGG GRATINGS WITH PHASE SHIFT

Keywords: fiber Bragg grating (FBG), phase π-shift, matrix method.

The paper presents the results of the calculation of the characteristics of fiber Bragg gratings with phase shift and a simple method of their fabrication on single-mode fiber with the possibility of selecting a central wavelength in a wide range.

Р.И. Файзуллин, П.Е. Денисенко, Д.В. Малых

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДВУХЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВОЛОКОННОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ

R.I. Faizullin, P.E. Denisenko, D.V. Malykh

UNIVERSAL CONTROLLER OF DETERMINATION OF PHYSICAL FIELDS BASED ON DOUBLE-FREQUENCY SENSING OF FIBER BRAGG GRATING

Ключевые слова: Волоконная брэгговская решетка, волоконно оптический датчик, алгоритм, измерение.

В работе представлены результаты дифференциального и интегрального анализа двухчастотного зондирования волоконной брэгговской решетки, и на его основе реализуется алгоритм определения параметров физических полей с оценкой критерия универсальности.

Keywords: Bragg grating fiber, fiber optic sensor, algorithm, measurement

The paper presents the results of differential and integral analysis of two-frequency sounding of a fiber Bragg grating, and on its basis an algorithm for determining the parameters of physical fields with an estimate of the universality criterion is realized.

И.А. Акимов, Б.К. Жумашева

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕПЛООБМЕНА В МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Ключевые слова: теплообмен, условия сопряжения, многослойные конструкции, цилиндрическая система координат, полый цилиндр, ограждающие конструкции..

В данной работе представлены результаты изучения переноса тепла в многослойных ограждающих конструкциях цилиндрической формы, тепловые коэффициенты каждой из которых подчиняются различным закономерностям и имеет место идеальный тепловой контакт между соприкасающимися поверхностями.

I.A. Akimov, B.K. Zhumasheva

INVESTIGATION AND DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF HEAT EXCHANGE IN MULTILAYER FENCING CONSTRUCTIONS OF FLYING APPARATUSES WITH VARIOUS THERMOPHYSICAL PROPERTIES

Keywords: heat transfer, conjugation conditions, multilayer structures, cylindrical coordinate system, hollow cylinder, enclosing structures.

In this paper, we present the results of study of heat transfer in multilayer enclosing structures of cylindrical shape, thermal coefficients of each of which obey different laws and there is an ideal thermal contact between the contacting surfaces.

И.И. Байнева

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Ключевые слова: осветительный прибор, светодиод, линза, отражатель, оптическая система, моделирование, проектирование.

В работе рассмотрены вопросы проектирования оптических систем современных осветительных приборов. С учетом конструкции светодиодных модулей осуществляется моделирование светораспределения осветительных приборов. Расчет оптических элементов состоит из этапов моделирования светодиодного модуля и его оптимизации. Для моделирования и компьютерного проектирования применяется программа оптического моделирования TracePro, функциональные возможности которой рассмотрены в статье. Также приведен пример моделирования и оптимизации светодиодного модуля с зеркальным отражателем.

I.I. Bayneva

CALCULATION AND CONSTRUCTION OF OPTICAL ELEMENTS OF LIGHT DEVICES

Keywords: light device, LED, lens, reflector, optical system, modeling, designing.

The problems of modern light device optical system design are considered. The light distribution modeling depends on LED module construction. The optical element calculation consists of two steps, LED module modeling and its optimization. The article research the functional features of the optical system modeling program TracePro. The paper deals with the example of modeling and optimization of the LED module with mirror reflector.

М.Р. Батюта, Р.А. Кордюков, А.А. Кузин, Е.Н. Приблудова

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕДИАННОГО ФИЛЬТРА С ПРЯМЫМ ВЫЧИСЛЕНИЕМ ИНДЕКСОВ УПОРЯДОЧЕННОГО МАССИВА

Ключевые слова: медианная фильтрация, аппаратная реализация, ЦОС.

Предложена аппаратная реализация медианной фильтрации, обеспечивающая ускоренное определение медианы входного массива данных. Высокое быстродействие достигается за счет уменьшения количества операций сравнения и их параллельной реализации. Предложенные идеи могут быть использованы для эффективной реализации медианной фильтрации в реальных системах ЦОС.

M.R. Batyuta, R.A. Kordyukov, A.A. Kuzin, E.N. Pribludova

HARDWARE IMPLEMENTATION OF THE MEDIAN FILTER WITH THE DIRECT CALCULATION OF INDICES OF THE ORDERED MASSIVE

Keywords: median filtering, hardware implementation, DSP.

A hardware implementation of median filtering, which provides accelerated determination of the median of the input data array is presented. Increase of performance is achieved by reducing amount of comparison operations and their parallel implementation. Presented ideas can be used for efficient implementation of median filtering in real DSP systems.

Р.А. Бурнашев, М.А.А. Аль-Саеди, Д.Н. Галанин, В.О. Георгиев

КОНЦЕПЦИИ УЧЕБНО - МАКЕТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СБОРОЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ПО СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: программные средства, генератор программных систем, макетно-модельный подход, диалоговая система.

В статье представляются разработанные в ходе практических работ по учебным курсам «Проектирование и архитектура программных систем» и «Объектно-ориентированный анализ и проектирование» концептуальные основы построения учебно-макетных вариантов интерактивной сборочной системы, осуществляющей в автоматическом режиме сборку программных систем прикладного назначения. Система предназначена для наглядной практической демонстрации

R.A. Burnashev, M.A. Al-Saedi, D.N. Galanin, V.O. Georgiev

CONCEPTUAL BASIS FOR DEVELOPING OF TRAINIG MODELS OF COMPLEX SYSTEM SOFTWARE ASSEMBLING GENERATOR

Keywords: software generator, training models, interactive systems

This paper presents conceptual basis for developing of training models of interactive assembling system for automatic building of application software systems, obtained during practical works over "Design and architecture of software systems" and "Object-oriented analysis and design" courses. The system is intended for

содержания основных этапов и работ при разработке сложных, критических программных средств. Приводится несколько макетных реализаций системы.

practical demonstration of basic stages and operations in development of complex and critical software. This also includes a consideration of solutions for some substantial problems of complex systems software generation, such as: program module compatibility, formalization of computer interaction and choosing of formal model for human machine interface. In addition, several training model implementations are provided.

Л.А. Галиуллин
ДЕКОМПОЗИЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, декомпозиция, операция управления, испытания двигателя.

Показано использование метода декомпозиции для технологического процесса испытаний и диагностики двигателей внутреннего сгорания. Предложена многоуровневая структура описания технологического процесса испытаний двигателей, состоящая из элементарных операций управления. Описанная методика реализована в виде программы для ЭВМ.

L.A. Galiullin
DECOMPOSITION OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF TESTS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Keywords: Internal combustion engine, decomposition, control operation, engine tests.

The use of the decomposition method for the technological process of testing and diagnostics of internal combustion engines is described. A multilevel structure for describing the technological process of testing the engines, consisting of elementary control operations, is proposed. The described technique is implemented in the form of a computer program.

А.И. Егунова, А.А. Аббакумов, М.А. Воропаева
ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВАЯ ПОДСИСТЕМА ХРАНИЛИЩА ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Ключевые слова: электронный образовательный ресурс, запрос на естественном языке, информационно-поисковая подсистема, автоматическое извлечение ключевых слов, дистанционное образование.

В статье рассматриваются результаты исследования по разработке информационно-поисковой подсистемы по обработке запросов на естественном языке для системы управления хранилищем электронных образовательных ресурсов. Встроенная подсистема поиска позволяет с большой долей вероятности получать необходимый результат с широким выбором ранжированных документов, соответствующих запросу пользователя.

A.I. Egunova, A.A. Abbakumov, M.A. Voropaeva
INFORMATION AND SEARCHED SUBSYSTEM OF ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCE STORAGE

Keywords: Electronic educational resources, query in natural language, search subsystem, automatic keyword extraction, distance education.

This article presents the results of a research into the development of an information retrieval subsystem for natural language query processing for a system for managing the storage of electronic educational resources. The built-in search subsystem makes it possible to obtain the desired result with a wide range of ranked documents corresponding to the user's requirements.

Е.В. Ефремов, Д.Е. Барков
МОДИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЫПАРНОГО АППАРАТА РАДИОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Ключевые слова: математическая модель, химико-технологический процесс, выпаривание

Работа посвящена усовершенствованию математической модели выпарного аппарата экстракционно-кристаллизационного передела радиохимической переработки отработанного ядерного топлива. Представленная модель позволяет наблюдать изменение концентраций компонентов в процессе выпаривания.

E.V. Efremov, D.E. Barkov
MODIFICATION OF MATHEMATICAL MODEL OF EVAPORATOR FOR SPENT NUCLEAR FUEL RADIOCHEMICAL REFINING

Keywords: mathematical model, chemical-engineering process, evaporation.

This paper is devoted to development of mathematical model of extraction-crystallization evaporator for spent nuclear fuel radiochemical refining. The model presented shows the concentration of components while the process of evaporation is going.

Т.К. Кляус, Ю.А. Гатчин
ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ АТАК В МОДЕЛИРОВАНИИ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

Ключевые слова: моделирование угроз, деревья атак, графы атак, угроза.

В статье рассмотрен графический подход к моделированию угроз безопасности информации в информационных системах. Предложены условия, при которых применение данного подхода является обоснованным.

T.K. Klyaus, Y.A. Gatchin
THE USE OF ATTACKS' GRAPHICAL REPRESENTATION FOR THREAT MODELING

Keywords: threat modeling, attack trees, attack graphs, threat.

The article deals with a graphical approach to threat modeling for information systems. The conditions under which the application of this approach is feasible are proposed.

Н.А. Костарев, Н.М. Труфанова
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА НЕФТИ В СКВАЖИНЕ С УЧЕТОМ ОТЛОЖЕНИЯ ПАРАФИНА НА СТЕНКАХ НАСОСНО – КОМПРЕССОРНОЙ ТРУБЫ

Ключевые слова: уравнение энтальпии - пористости, парафины, ANSYS Fluent, тепломассоперенос, АСПО, нефтяная скважина.

В данной статье разработана математическая модель процессов тепломассопереноса нефти в вертикальной скважине с учетом процессов парафинообразования. Численная реализация модели

N.A. Kostarev, N.M. Trufanova
PROCESS OF OIL HEAT AND MASS TRANSFER IN VERTICAL WELL WITH INFLUENCE OF PARAFFIN DEPOSITS ON TUBING

Keywords: enthalpy equation - porosity, paraffins, ANSYS Fluent, heat and mass transfer, oil wel l.

In this paper, a mathematical model of the processes of heat and mass transfer of oil in a vertical wellbore, taking the processes of paraffin formation, has been developed.

осуществлялась методом конечных объемов в среде ANSYS. В результате решения получены поля скоростей и температур в поперечных сечениях скважины и по ее длине. Анализ полученных результатов позволил определить области возможного выпадения парафина на стенках насосно – компрессорной трубы и условия предотвращения процесса парафинообразования в целом.

The numerical implementation of the model was carried out by the finite volume method in the ANSYS environment. As a result of the solution, velocity and temperature fields were obtained in the cross sections of the well and along its length. The analysis of the obtained results allowed to determine the areas of possible fallout of paraffin on the walls of the tubing and the conditions for preventing the paraffin formation process as a whole.

А.Н. Кузенков

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОМОЛА ЦЕМЕНТА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ

Ключевые слова: контрольные карты Шухарта, помол цемента, статистическая управляемость, база знаний, контроль качества, машина опорных векторов, классификация.

В статье обоснована целесообразность применения метода на основе использования контрольных карт Шухарта (ККШ) для эффективного контроля качества. Определены технологические параметры, которые необходимо контролировать в рамках мониторинга качества продукции. Для осуществления эффективной классификации критических ситуаций обоснована целесообразность применения метода опорных векторов – support vector machine (SVM).

A.N. Kuzenkov

IMPROVEMENT OF THE CEMENT PENDING QUALITY CONTROL SYSTEM ON THE BASIS OF STATISTICAL CONTROL CARDS

Keywords: Shewhart control charts, grinding of cement, statistical controllability, knowledge base, quality control, support vector machine, classification

This article describes realization of an effective quality control of cement using method based on the Shewhart control charts. Author defined technological parameters for realization quality monitoring of goods. For implement an effective classification of critical situations we justified target-conformity application of support vector.

А.В. Милов, В.С. Тынченко, А.В. Мурыгин, В.В. Тынченко

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКОЙ ВОЛНОВОДНЫХ ТРАКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Ключевые слова: нечеткая логика, индукционная пайка, космические аппараты.

В работе рассматривается проблема повышения качества процесса индукционной пайки волноводных трактов. В качестве решения проблемы предлагается использование методов нечеткой логики, а в качестве инструмента – программного продукта Matlab. Представляются алгоритмы работы предлагаемого метода.

A.V. Milov, V.S. Tynchenko, A.V. Murygin, V.V. Tynchenko

DEVELOPMENT OF THE CONTROL METHOD FOR WAVEGUIDES INDUCTION SOLDERING BASED ON FUZZY CONTROLLER

Keywords: fuzzy logic, induction soldering, spacecraft.

The paper deals with the problem of quality increasing for the waveguide paths induction soldering process. As a solution for the problem, it is proposed to use fuzzy logic methods, and as a tool - Matlab software. The algorithms of the proposed method are presented.

Л.А. Полякова

ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ключевые слова: информационная безопасность, проектирование системы безопасности, системный анализ.

В работе представлены результаты разработки модели проектирования системы информационной безопасностью на основе принципов системного анализа. Проведен анализ интегрированной архитектуры системы информационной безопасности через призму системного анализа.

L.A. Poliakova

PRINCIPLES OF SYSTEM ANALYSIS IN THE DESIGN OF THE INFORMATION SECURITY SYSTEM

Keywords: Information security, security system design, system analysis.

The paper presents the results of the development of systems for the design of information security systems. The conducted analysis of the integrated architecture of the information security system through the prism of system analysis.

С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков, В.А. Алексеева

МОДЕЛЬ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СКЕЙЛИНГОВОГО ВИДА ПРИ УСЛОВИИ $\gamma=3\beta$

Ключевые слова: критические индексы, масштабная гипотеза, аргон, феноменологическая теория Мигдала, гипотеза Бенедека, линия псевдокритических точек.

Рассмотрен метод построения непараметрического уравнения, удовлетворяющего масштабной гипотезы, в основе которого лежит феноменологическая теория критической точки Мигдала А.А. и гипотеза Бенедека. Показано, что если критические индексы коэффициента изотермической сжимаемости γ и линии насыщения β удовлетворяют условию $\gamma=3\beta$, а критический индекс критической изотермы $\delta=4$, то масштабная функция химического потенциала, рассчитанная на основе феноменологической теории Мигдала А.А., совпадает с масштабной функцией Безверхого-Мартынца-Матизена. Предложенный метод апробирован на примере построения масштабного уравнения аргона.

S.V. Rykov, I.V. Kudryavtseva, V.A. Rykov, V.A. Alekseyeva

MODEL OF THE SCALEING NONPARAMETRIC EQUATION OF STATE UNDER CONDITIONS $\gamma=3\beta$

Keywords: critical indices, scale hypothesis, argon, Migdal's phenomenological theory, Benedek's hypothesis, line of pseudocritical points.

A method for constructing a nonparametric equation of state satisfying a scale hypothesis based on Migdal's phenomenological theory of the critical point and Benedek's hypothesis. It is shown that if the critical indices of the coefficient of isothermal compressibility γ and the saturation line β satisfy the condition $\gamma=3\beta$ and the critical index of the critical isotherm $\delta=4$, then the scale function of the chemical potential, calculated on the basis of Migdal's phenomenological theory, coincides with the scale function of the Bezverkhy-Martynets-Matizen. The proposed method was tested using the example of the construction of the scaling equation of state of argon.

С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков,
А.В. Свердлов, А.А. Шеламов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНИИ ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

Ключевые слова: *средний диаметр, линия упругости, линия насыщения, критическая точка, хладон R1234yf.*

Рассмотрена взаимосогласованная система уравнений, описывающая линию фазового равновесия в диапазоне температур от тройной точки до критической точки. При этом использовалась модель среднего диаметра линии насыщения f_d, удовлетворяющая в асимптотической окрестности критической точки зависимости $f_d \square \tau^{2\beta}$. Выполнена апробация данного подхода на основе экспериментальной информации о давлении p_S и плотности насыщенного пара ρ^- и насыщенной жидкости ρ^+ R1234yf Показано, что предложенная модель линии фазового равновесия передает p_S, ρ^-, ρ^+ R1234yf в пределах их экспериментальной погрешности.

S.V. Rykov., I.V. Kudryavtseva, V.A. Rykov,
A.V. Sverdlov, A.A. Shelamov

MODELING OF THE LINE OF PHASE EQUILIBRIUM OF INDIVIDUAL SUBSTANCES

Keywords: mean diameter, elasticity line, saturation line, critical point, halogen R1234yf.

A mutually consistent system of equations describing the phase equilibrium line in the temperature range from the triple point to the critical point is considered. In this case, we used the model of the mean diameter of the saturation line f_d, which satisfies the dependence $f_d \square \tau^{2\beta}$ in the asymptotic neighborhood of the critical point. Approbation of this approach is made on the basis of experimental information on the pressure p_S and density of saturated vapor ρ^- and saturated liquid ρ^+ of R1234yf. It is shown that the proposed model of the phase equilibrium line transmits p_S, ρ^- and ρ^+, of R1234yf, in the indicated temperature range in the range close to the experimental error of these data.

Ю.С. Таскина, В.С. Тынченко, В.В. Бухтояров, С.В. Тынченко

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К АВТОМАТИЗАЦИИ ПЛАНОВО-ЗАКУПОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛИ

Ключевые слова: прогнозирование, закупки, искусственные нейронные сети, планирование.

В работе рассматривается проблема планирования закупочной деятельности на розничном торговом предприятии. В качестве средства прогнозирования предлагается использование технологий нейросетевого моделирования, а в качестве инструмента создания программного приложения – объектно-ориентированного языка программирования C++. В работе производится выбор эффективной структуры искусственных нейронных сетей для поставленной задачи. Представляются алгоритмы работы предлагаемой автоматизированной системы и ее внешний вид.

Yu.S. Taskina, V.S. Tynchenko, V.V. Bukhtoyarov,
S.V. Tynchenko

THE APPLICATION OF NEURONET MODELLING METHODS FOR PLANE-PURCHASING ACTIVITY AUTOMATION AT RETAIL TRADING ENTERPRISE

Keywords: forecasting, purchases, artificial neural networks, planning.

The paper considers the problem of purchasing activity planning at a retail trade enterprise. As a forecasting tool, it is proposed to use neural network modeling technologies, and as a tool for creating a software application, an object-oriented C++ programming language. Algorithms of the proposed automated system operation and its appearance are presented.

М.А. Форгани

ВЫДЕЛЕНИЕ НОВЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МУТАЦИИ В БЕЛКЕ ВИРУСА ГРИППА

Ключевые слова: выделение признаков, глобальные дескрипторы, вирус гриппа, принцип случайности, гемагглютинин.

В данной работе описывается новый вычислительный метод, используемый для анализа последовательности белка и изучения его мутаций. Предлагаемый новый гибридный метод, основан на объединении методов, исследователей Г. Ву и Ш. Янем (Wu Guang & Yan Shaomin), и метода глобальных дескрипторов. Этот гибридный метод использован для сортировки последовательностей гемагглютинина вируса гриппа H1N1 в течение периода с 2009 до 2017 года. По результатам вычислительных экспериментов видно, что эта комбинация методов позволяет выявить новую информацию для использования в различных задачах, таких как прогноз типа фолдинга белка, изучение и моделирование эволюции белков и их классификации.

M.A. Forghani

EXTRACTION OF NEW FEATURES FOR MUTATION STUDY IN INFLUENZA VIRUS PROTEIN

Keywords: feature extraction, global descriptors, influenza virus, random principle, hemagglutinin.

This paper describes a new computational method used to analyze the protein sequence and study of its mutations. The proposed new hybrid method is based on the combination of methods by researchers Wu Guang and Yan Shaomin, and method of global descriptors. This hybrid method is used to sort the hemagglutinin sequences of the H1N1 influenza virus during the period from 2009 to 2017. Based on the results of computational experiments, it can be seen that combination of methods makes it possible to reveal new information to use in various tasks such as protein folding prediction, study and modeling the evolution of proteins and their classification.

М.К. Хасанов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКАЧКИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ПЛАСТ С УЧЕТОМ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ

Ключевые слова: математическая модель, газогидраты, фильтрация.

На основе представленной математической модели исследуются особенности образования газогидрата диоксида углерода при закачке углекислого газа в природный пласт, насыщенный метаном и водой. Показано, что в зависимости от давления инжекции гидратообразование может происходить как в протяженной области, так и на фронтальной поверхности.

M.K. Khasanov

MATHEMATICAL MODELLING OF PUMPING CARBON DIOXIDE IN LAYER TAKING INTO ACCOUNT HYDRATE FORMATION

Keywords: mathematical model, gas hydrates, filtration.

On the basis of the presented mathematical model, the features of formation of carbon dioxide gas hydrate during the injection of carbon dioxide into a natural layer saturated with methane and water are studied. It is shown that, depending on the injection pressure, hydrate formation can occur both in the extended region and on the frontal surface.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

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

№3 2017

Направления:
01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА
02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ
05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 21.06.2017 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

8,5 усл.печ.л. 10 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 765.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"
420111, Республика Татарстан, Казань,
ул. Университетская, д.22, оф. 310
Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя
Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 238-32-08

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»