

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№4 2016

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

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

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

Казань

2016

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №4 2016г. – Казань:
Научно-технический вестник Поволжья, 2016. – 140 с.

ISSN 2079-5920

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

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

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

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

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Научно-технический вестник Поволжья, 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>В.С. Минкин, П.П. Суханов, Т.Ю. Миракова, Т.В. Игнашина</i> НОВАЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ГЕРМЕТИКОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ	8
---	---

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

<i>А.Р. Абдуллаев, Э.В. Плехова, Е.В. Сергеева</i> О ЛИНЕЙНОМ СИНГУЛЯРНОМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ УРАВНЕНИИ ВТОРОГО ПОРЯДКА	11
<i>В.В. Дружинин, А.Г. Сироткина</i> СУММЫ ОБОБЩЕННЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОГРЕССИЙ	15

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>М.Е. Григорьев, В.Г. Матвеева, Е.В. Ребров</i> КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ПРОЦЕССА ГИДРИРОВАНИЯ D-КСИЛОЗЫ ДО D-КСИЛИТА	17
<i>О.В. Манаенков, О.В. Кислица, В.Ю. Долуда, В.Г. Матвеева, А.Е. Филатова, Э.М. Сульман, А.И. Сидоров, Е.В. Ребров</i> КИНЕТИКА ПРОЦЕССА ГИДРОГЕНОЛИЗА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В СУБКРИТИЧЕСКОЙ ВОДЕ	20
<i>Е.Н. Минаев</i> РАСЧЁТ МАССОПЕРЕНОСА КИСЛОРОДА В ПРИГРАНИЧНОМ СЛОЕ ПОВЕРХНОСТИ ОМЫВАЕМОЙ РАСТВОРОМ, ПРИ ЕЁ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ	23
<i>Е.В. Ожимкова, И.В. Ущановский, Э.М. Сульман</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ И АЗОТФИКСИРУЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ ЛЬНА	26
<i>Б.Б. Тихонов, А.И. Сидоров, П.Ю. Стадольникова, О.В. Гребенникова, Н.В. Лакина</i> ОКИСЛЕНИЕ ХЛОРФЕНОЛОВ БИФЕРМЕНТНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ОКСИДОРЕДУКТАЗ	29
<i>В.В. Хасанов, Т.А. Борукаев, Т.А. Кипшиева, Д.М. Фотова, М.А. Кагермазова</i> СИНТЕЗ ДЫМОПОДАВЛЯЮЩИХ ПРИСАДОК НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МОЛИБДАТОВ К ПВХ-ПЛАСТИКАТУ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ АНТИДЫМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	32
<i>Е.А. Холкина, Л.Ж. Никошвили, А.С. Морозов, И.В. Бессонов, Э.М. Сульман, L. Kiwi-Minsker</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПАЛЛАДИЙ-СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИНОВ В СЕЛЕКТИВНОМ ГИДРИРОВАНИИ 2-МЕТИЛ-3-БУТИН-2-ОЛА	35

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<i>Г.А. Александров, А.Л. Яблонев</i> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ВОЗМОЖНОСТЬ РАЗВИТИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ ТОРФЯНОЙ ОТРАСЛИ	38
<i>А.П. Буйносов</i> РАСЧЕТ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА НАДРЕССОРНОЕ СТРОЕНИЕ И КОЛЕСУЮ ПАРУ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛОКОМОТИВА В КРИВОЙ	42
<i>А.П. Буйносов, Д.Ю. Козаков</i> ОБРАБОТКА АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ МЕТОДОМ РАНГОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕСУРС КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ	45
<i>Т.Н. Иванова, А.М. Губанов, К.Э. Борисова, Д.Ю. Надуялова</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗАДВИЖЕК ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ	48

<i>Д.П. Ильященко, И.Д. Садыков</i> СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА РДС ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ, СВАРИВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ	50
<i>М.В. Пономарёв, И.Н. Фролова</i> АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ГРАНИЧНОЙ МОДЕЛИ ИЗ ОБМЕННОГО ФАЙЛА STER. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ГРАНЕЙ	53
<i>П.М. Салов, В.Н. Цай, С.С. Сайкин, Ю.И. Воронцов, Н.В. Мулюхин</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ АБРАЗИВНОЙ СПОСОБНОСТИ КРУГОВ ПРИ БЕЗАЛМАЗНОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРАВКЕ	57
05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ	
<i>В.Д. Андреев, О.Г. Морозов, А.А. Тяжелова, В.В. Куревин</i> ФОТОННЫЙ ДАТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ С АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ	60
05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ	
<i>В.Н. Абузьяров, В.И. Чепасов, И.А. Щудро, В.Н. Елисейев</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БРАНДОНА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ	63
<i>А.Е. Баринов</i> АЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОВЫХ ЯДЕР НА ГРАФАХ	66
<i>А.П. Буйносков</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ	69
<i>И.Б. Гинзбург</i> ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЕ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСЫ ДЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ	72
<i>А.В. Казаков, К.В. Бородулина</i> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ КАНАЛОВ КАБЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ НА РАВНОМЕРНОСТЬ НАЛОЖЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ИЗ ВЫСОКОВЯЗКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	76
<i>Т.К. Ксенофонтова</i> МЕТОДИКА УЧЕТА ВЛИЯНИЯ РЕАКТИВНОГО ОТПОРА ГРУНТА ПРИ РАСЧЕТЕ ПОДЗЕМНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ	80
<i>А.А. Медведев, Е.Н. Созинова</i> КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ	83
<i>А.А. Медведев, Е.Н. Созинова</i> ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	86
<i>И.С. Надеждин, А.Г. Горюнов</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ЛУНОК НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ШАРИКОВ	89
<i>В.В. Пуртов, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев, А.Ф. Аглиуллин, В.И. Артемьев</i> КАТЕТЕР ДЛЯ МАНОМЕТРИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОДНОТИПНЫХ ВОЛОКОННЫХ РЕШЕТОК БРЭГГА	92
<i>И.А. Стотланд, Н.А. Стариковская, М.А. Кириченко</i> МЕТОДЫ АВТОНОМНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ КОНТРОЛЛЕРОВ СВЯЗИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ	96
<i>Е.В. Субботин, А.Г. Щербинин, Ю.М. Хасянова</i> ПОДБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ШНЕКА ЭКСТРУДЕРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ НАГРЕВОСТОЙКИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ	99
<i>А.С. Титовцев</i> МОДЕЛЬ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПОЛНЫМ НАБОРОМ НАКОПИТЕЛЕЙ	102
<i>Н.М. Труфанова, В.А. Будаян</i> ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА И ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ТОКОВ ПРИ ПРОКЛАДКЕ КАБЕЛЯ ЧЕРЕЗ СТЕНУ	105

<i>Н.М. Труфанова, Н.А. Костарев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА НЕФТИ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ГРЕЮЩЕГО КАБЕЛЯ	108
<i>Н.М. Труфанова, И.И. Хейфец</i> МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОПЕРЕЧНЫХ СВЯЗЕЙ РАДИАЦИОННО-СШИТОГО ФТОРОПЛАСТА	112
<i>А.С. Филичев, З.Я. Якупов</i> О ГРУППОВОМ ПОДХОДЕ К ДОКАЗАТЕЛЬСТВУ ГИПОТЕЗЫ АДАМАРА	116
<i>А.Г. Шумихин, П.Ю. Сокольчик, С.И. Сташков</i> ИНТЕГРИРОВАННАЯ АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ПРОИЗВОДСТВЕ СМЕСЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ	120
<i>А.Г. Щербинин, А.С. Мансуров, А.А. Порошин</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ	123
<i>А.Г. Щербинин, С.В. Стариков</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НА ИХ ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ	126
АННОТАЦИИ	129

THE RELEASE MAINTENANCE

- V.S. Minkin, P.P. Sukhanov, T.Ya. Mirakova, T.V. Ignashina* NEW MULTIFUNCTIONAL ADMIXTURE FOR SEALANTS ON THE BASE OF POLYSULFIDE OLIGOMERS 8

01.01.00 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICS

- A.R. Abdullaev, E.V. Plekhova, E.V. Sergeeva* LINEAR SINGULAR FUNCTIONAL-DIFFERENTIAL SECOND-ORDER EQUATION 11
- V.V. Druzhinin, A.G. Sirotkina* THE SUMS OF GENERALIZED GEOMETRIC PROGRESSIONS 15

02.00.00 — CHEMICAL SCIENCES

- M.E. Grigorjev, V.G. Matveeva, E.V. Rebrov* CATALYSTS FOR HYDROGENATION OF D-XYLOSE TO D-XYLITOL 17
- O.V. Manaenkov, O.V. Kislitza, V.Yu. Doluda, V.G. Matveeva, A.E. Filatova, E.M. Sulman, A.I. Sidorov, E.V. Rebrov* KINETICS OF THE CELLULOSE HYDROGENOLYSIS IN SUBCRITICAL WATER 20
- E.N. Minaev* CALCULATION OF MASS TRANSFER OF OXYGEN IN THE BOUNDARY OF METAL – WATER SOLUTION BY ELECTROCHEMICAL PROTECTION OF SURFACE AND MOVEMENT OF WATER 23
- E.V. Ozhimkova, I.V. Uschapovsky, E.M. Sulman* EFFECTIVENESS OF NITROGEN-CONTAINING COMPOUNDS AND NITROGEN-FIXING MICROORGANISMS ON EARLY STAGES GROWTH OF FLAX 26
- B.B. Tihonov, A.I. Sidorov, P.Yu. Stadolnikova, O.V. Grebennikova, N.V. Lakina* OXIDATION OF CHLOROPHENOLS BY BIENZYMATIC SYSTEMS BASED ON OXIDOREDUCTASES 29
- V.V. Khasanov, T.A. Borukaev, T.A. Kipshieva, D.M. Fotova, M.A. Kagermazova* THE SYNTHESIS OF SMOKE SUPPRESSANT ADDITIVES ON THE BASE OF INORGANIC MOLYBDATES TO PVC PLASTIC AND THE RESEARCH OF THEIR ANSMOKE CHARACTERISTICS 32
- E.A. Kholkina, L.Zh. Nikoshvili, A.S. Morozov, I.V. Bessonov, E.M. Sulman, L. Kiwi-Minsker* APPLICATION OF PALLADIUM-CONTAINING CATALYSTS BASED ON POLYAMINES IN SELECTIVE HYDROGENATION OF 2-METHYL-3-BUTYN-2-OL 35

05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

- G.A. Alexandrov, A.L. Yablonev* THE MODERN STATE AND POSSIBILITY OF DEVELOPING MATERIAL AND TECHNICAL BASE OF THE PEAT INDUSTRY 38
- A.P. Buinosov* CALCULATION OF FORCES OPERATING ON THE NADRESSORNY STRUCTURE AND KOLESY COUPLE AT THE MOVEMENT OF THE LOCOMOTIVE IN THE CURVE 42
- A.P. Buinosov, D.Yu. Kozakov* PROCESSING OF THE PRIORI INFORMATION BY METHOD OF RANK CORRELATION FOR DEFINITION OF THE MAJOR FACTORS INFLUENCING THE RESOURCE OF WHEEL PAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES 45
- T.N. Ivanova, A.M. Gubanov, K.E. Borisov, D.Y. Naduyalulova* IMPROVING THE EFFICIENCY OF USE GATE PIPELINE VALVES 48
- D.P. Il'yaschenko, I.D. Sadikov* STABILITY OF THE USE OF RDS PROTECTION COVER, WELDED SURFACES 50
- M.V. Ponomarev, I.N. Frolova* AUTOMATED ANALYSIS OF B-REP MODEL GEOMETRIC DATA FROM STEP EXCHANGE FILE. ADVANCED FACES ORIENTATION 53
- P.M. Salov, V.N. Tsay, S.S. Saykin, J.I. Vorontsov, N.V. Muliukhin* DETERMINATION OF RELATIVE ABRASIVE ABILITY IN COMMUNITY WITHOUT DIAMOND CONTINUOUS DRESSING 57

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

V.D. Andreev, O.G. Morozov, A.A. Tyazhelova, V.V. Kurevin PHOTONIC ELECTRIC FIELD SENSORS WITH AMPLITUDE-PHASE MODULATION 60

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

V.N. Abuzyarov, V.I. Chepasov, I.A. Schudro, V.N. Eliseev APPLICATION OF BRANDON FOR THE CONSTRUCTION OF THE STATISTICAL MODEL 63

A.E. Barinov AN ALGORITHM FOR FINDING CORRESPONDENCES IN IMAGES USING HEAT KERNEL ON THE GRAPHS 66

A.P. Buinosov AUTOMATION OF THE WORKPLACE FOR MONITORING OF THE CONDITION OF WHEEL PAIRS OF LOCOMOTIVES 69

I.B. Ginzburg FAULT-TOLERANT WEB INTERFACES FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS USING EARTH REMOTE SENSING DATA 72

A.V. Kazakov, K.V. Borodulina ASSESSING THE IMPACT OF THE GEOMETRY OF THE CHANNELS OF CABLE DIE ON THE UNIFORMITY OF INSULATION OVERLAY OF HIGH-POLYMER MATERIALS 76

T.K. Ksenofontova THE METHODOLOGY OF CONSIDERING THE INFLUENCE OF REACTIVE RESISTANCE OF THE SOIL IN THE CALCULATION OF UNDERGROUND CONCRETE PIPES 80

A.A. Medvedev, E.N. Sozinova CRITICAL INFORMATION SYSTEM 83

A.A. Medvedev, E.N. Sozinova THE MAIN STAGES OF THE INFORMATION SECURITY MANAGEMENT OF CRITICAL INFORMATION SYSTEMS 86

I.S. Nadezhdin, A.G. Goryunov MATHEMATICAL MODELING OF ELECTRICAL DISCHARGE HOLES ON THE SURFACE OF METAL BALLS 89

V.V. Purtov, O.G. Morozov, I.I. Nureev, A.F. Agliullin, V.I. Artem'ev CATHETERS FOR HIGH RESOLUTION MANOMETRY BASED ON SIMILAR FIBER BRAGG GRATINGS 92

I.A. Stotland, N.A. Starikovskaya, M.A. Kirichenko THE APPROACHES TO STANDALONE VERIFICATION OF MICROPROCESSOR SYSTEM COMUNICATION CONTROLLERS 96

E.V. Subbotin, A.G. Shcherbinin, Y.M. Hasyanova SELECTION OF RATIONAL GEOMETRY EXTRUDER SCREW FOR PROCESSING OF HEAT RESISTANCE POLYMER COMPOSITIONS 99

A.S. Titovtsev MODEL OF QUEUING SYSTEM WITH FULL SET OF MEMORIES 102

N.M. Trufanova, V.A. Budayan THE NUMERICAL ANALYSIS OF PROCESS OF THE HEATMASS TRANSFER AND CURRENT CAPACITY FOR THE CABLE LAID THROUGH A WALL 105

N.M. Trufanova, N.A. Kostarev PROCESS OF OIL HEAT AND MASS TRANSFER IN VERTICAL WELL WITH INFLUENCE OF THE HEATING CABLE 108

N.M. Trufanova, I.I. Kheyfetz METHODS OF DETERMINING THE DENSITY OF CROSS-LINKING RADIATION-CROSS-LINKED PTFE 112

A.S. Filichev, Z.Ya. Yakupov ABOUT GROUP APPROACH TO PROOF THE HADAMARD CONJECTURE 116

A.G. Shumikhin, P.Yu. Sokol'chik, S.I. Stashkov INTEGRATED ALGORITHMIC AND INSTRUMENTAL SUPPORT OF QUALITY MANAGEMENT IN MIXED COMPOSITIONS PRODUCTION 120

A.G. Shcherbinin, A.S. Mansurov, A.A. Poroshin MATHEMATICAL MODELING OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES OF CYLINDRICAL SHIELDS 123

A. Shcherbinin, S. Starikov RESEARCH OF INFLUENCE OF WAYS LAYING OF CABLE LINES ON THEIR CAPACITY 126

ABSTRACTS 129

4. Наполнитель - технический углерод П-803	15	15	15	15	15	15	15
5. Битуминозный песчаник (БП)*	5 (АП)*	10 (СП)	15 (ШП)	5 (ГП)	10 (АП)	15 (СП)	-

* АП – Альшачинский песчаник, СП – Сугушменский песчаник, ШП – Шугуровский песчаник, ГП – горский песчаник.

Таблица 2 – Коллекторные свойства используемых битуминозных песчаников

№ п/п	Битуминозная порода	Содержание серы, %	Усредненная удельная поверхность, м ² /г	Среднее содержание битума, мас. %	Извлекаемость	
					Термолиз	Экстракция
1.	Ашальчинский песчаник (АП)	0,4-0,7	0,70	12,5	95	90
2.	Горский песчаник (ГП)	0,4-0,6	0,47	9,4	90	80
3.	Сугушлинский песчаник (СП)	0,3-0,5	0,45	8,6	96	92
4.	Шугуровский песчаник (ШП)	0,4-0,6	0,30	5,6	98	95

Результаты и их обсуждение

Свойства герметиков, отвержденных диоксидом марганца в присутствии и без битуминозных песчаников, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные свойства герметиков на основе ПСО, отвержденных диоксидом марганца в присутствии и без битуминозных песчаников*

№ п/п	Показатели (средние значения по 3 образцам)	Герметики с БП (номера рецептур по табл. 1)						Промышленный вулканизат
		1	2	3	4	5	6	
1.	Модуль при 100% удлинении, МПа	1,90	1,85	2,60	2,45	2,33	2,24	1,1
2.	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	3,15	2,90	3,26	3,20	3,10	3,18	2,2
3.	Относительное удлинение, %	310	300	355	310	320	340	260
4.	Остаточное удлинение, %	4	4	8	4	4	8	4
5.	Сопротивление отслаиванию от дюр-алюминия Д16-АТ, кН/м	4,75	4,50	2,64	4,76	4,70	3,46	0,80
6.	Твердость по Шору, усл.ед.	61	60	60	60	63	62	50
7.	Жизнеспособность композиций, ч ^{мин} .	2 ⁴⁵	2 ⁴⁰	2 ⁵⁰	2 ⁴⁰	2 ⁴⁰	2 ³⁰	4 ³⁰

Из таблицы 3 следует, что введение битуминозных песчаников приводит к существенному повышению целого ряда технологических и эксплуатационных характеристик битумсодержащих систем: адгезии герметизирующих композиций, установлению жизнеспособности в оптимальных для технологии пределах (от двух до трех часов), усилению прочностных и деформационно-эластических свойств, а также стабилизации физико-механических параметров герметиков после их отверждения.

При этом наблюдаемые *макроскопические* эффекты в изученном диапазоне значений соответствующих параметров слабо зависят от используемой марки промышленного олигомера или диоксида марганца, а также рецептуры битумсодержащей композиции (природы и коллекторных свойств песчаника, содержания битума и серы в породе).

Об эффективности воздействия добавок битуминозных песчаников на *молекулярный* уровень структурно-динамических характеристик полисульфидных композиций можно судить по значениям плотностей цепей полимерных сеток вулканизатов ПСО (таблица 4).

*Таблица 4 – Рассчитанные значения плотностей цепей полимерных сеток стандартных промышленных вулканизатов ПСО с использованием различных вулканизирующих агентов и вулканизатов, полученных в присутствии битуминозного песчаника**

№ п/п	Состав исходной смеси при синтезе ПСО, моль %	№ вулканизата*	
		1	2
1.	2,2'-дихлордиэтилформаль (основной олигомер)	99,5	98,0
2.	1,2,3-трихлорпропан (ГХП) (разветвляющий агент)	0,5	2,0
Плотность цепей сетки** : вулканизирующий агент MnO_2 , $v \cdot 10^4$ моль/см ³			
3.	По теории	0,47	1,95
4.	Найдено: - для стандартных вулканизатов: эффективных химических	1,49	1,67
		0,29	0,87
5.	- для вулканизатов в присутствии БП (АП): эффективных химических	2,34	2,86
		0,46	1,38
6.	Эффективные константы скорости вулканизации до точки геля, $K \cdot 10 \cdot \text{мин}^{-1}$: стандарт в присутствии БП (АП)	1,94	2,42
		2,46	3,4

* - по рецепту № 1 (табл. 1);

** - плотность цепей сетки определяли методом Клаффа-Глединга [6].

Судя по данным табл. 4, отмеченные макроскопические закономерности обусловлены значительным ростом плотности и физических, и химических связей в системе. Наблюдаемое увеличение плотности упаковки макромолекул при одновременном облегчении конформационных переходов (росте кинетической гибкости макроцепей) свидетельствует о возможном участии частиц битуминозного песчаника, наряду с поликристаллическими частицами диоксида марганца [4, 5, 7], не только в образовании физической сетки вулканизатов, но и в более ранних физико-химических (донорно-акцепторных и(или) хемосорбционных) стадиях процессов отверждения ПСО [7], и, в том числе, благодаря атомам серы в их составе. Последние не только способны выполнять функции активаторов процессов вулканизации на их начальной стадии, но и регуляторов межцепных обменных взаимодействий, увеличивающих равновесную плотность и(или) изменяющих природу окончательно сформировавшихся (в особенности – серосодержащих) химических связей в системе [1, 2, 4, 7].

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.
3. Патент РФ № 2004122704/04, 20.02.06.
Минкин В.С., Иванов Б.Н., Васильев Н.А., Садыков А.Р., Минкина Т.И. Герметизирующая композиция // Патент России № 2270226. 2004. Бюл. № 5.
4. *Суханов П.П.* Исследование процессов структурирования олигомерных композиций методами радиоспектроскопии / *П.П. Суханов, В.С. Минкин.* – Казань: КГТУ, 2011. 223 с.
5. *Минкин В.С., Суханов П.П., Иванов Б.Н., Суханов А.П.* Оптимизирующая добавка для герметиков на основе полисульфидных олигомеров // *Научно-технический вестник Поволжья.* – 2015. № 3. – С. 14 - 18.
6. *Cluff E.F., Gladding E.K., Pariser R.* A new method for measuring the degree of cross linking in elastomers // *J. Polym. Sci.* – 1960. Vol. 45, № 8. P. 341-347.
7. *Суханов П.П., Минкин В.С.* О механизме вулканизации полисульфидных олигомеров диоксидами металлов (обзор) // *Каучук и резина.* – 1991. № 9. – С. 31 – 35.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА (01.01.00)

01.01.02

А.Р. Абдуллаев, Э.В. Плехова, Е.В. Сергеева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Факультет Прикладной математики и механики, Кафедра «Высшая математика»,
Пермь, h.m@pstu.ru

**О ЛИНЕЙНОМ СИНГУЛЯРНОМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ
УРАВНЕНИИ ВТОРОГО ПОРЯДКА**

Получены достаточные условия разрешимости задачи Коши для уравнения $x''(t) + \frac{k}{t}x'(t) + \frac{m}{t^2}x(t) + T_1x'(t) + T_2x(t) = f(t)$, $t \in [0,1]$ с нулевыми начальными условиями. Это утверждение опирается на исследование свойств оператора $B : L_2 \rightarrow L_2$, $B_y = y(t) + \frac{k+m}{t} \int_0^t y(s)ds - \frac{m}{t^2} \int_0^t sy(s)ds$. В частности показано, что для всех $(k, m) \in R^2$ таких, что $k+m \geq 0, k-2m \geq 0$, оператор B положительный и $\|B^{-1}\| = 1$.

Ключевые слова: оператор Чезаро, положительные операторы, коэффициент сюръективности.

Рассмотрим задачу

$$\begin{cases} x''(t) + \frac{k}{t}x'(t) + \frac{m}{t^2}x(t) + (T_1x')(t) + (T_2x)(t) = f(t), & t \in [0,1], \\ x(0) = 0, x'(0) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $x : [0,1] \rightarrow R$, $k, m \in R$, T_1, T_2 – линейные операторы.

Выражение в левой части уравнения задачи (1) представляет собой сумму оператора $Ax = A(k, m)x = x'' + \frac{k}{t}x' + \frac{m}{t^2}x$ и двух линейных операторов общего вида T_1, T_2 . Таким образом, выражение в левой части этого уравнения можно рассматривать как возмущение сингулярного дифференциального оператора A операторами T_1 и T_2 . Отметим также, что выражение $x'' + \frac{k}{t}x' + \frac{m}{t^2}x$ является левой частью классического однородного уравнения Эйлера[1].

В работе рассматривается область параметров (k, m) , определяемая неравенствами $k+m \geq 0$ и $k-2m \geq 0$. В этой области получены достаточные условия разрешимости задачи (1).

Пусть $L_2 = L_2[0,1]$ – пространство суммируемых с квадратом функций $x : [0,1] \rightarrow R$, $D_2^0 = D_2^0[0,1]$ – пространство абсолютно непрерывных функций, имеющих суммируемую с квадратом производную и удовлетворяющих условию $x(0) = 0$, а $W_2^0 = W_2^0[0,1]$ – пространство абсолютно непрерывных вместе с первой производной функций таких, что вторая производная суммируема с квадратом и $x(0) = x'(0) = 0$. Нормы на пространствах D_2^0 и W_2^0 определим соответственно равенствами $\|x\|_{D_2^0} = \|x'\|_{L_2}$, $\|x\|_{W_2^0} = \|x''\|_{L_2}$.

Используемые в работе вспомогательные утверждение об операторе $A(k, m) : W_2^0 \rightarrow L_2$ опираются на исследование специальных числовых характеристик оператора $B(k, m) = B : L_2 \rightarrow L_2$, определяемого равенством

$$(By)(t) = y(t) + \frac{k+m}{t} \int_0^t y(s)ds - \frac{m}{t^2} \int_0^t sy(s)ds. \quad (2)$$

Этот оператор является главной частью оператора A , то есть оператором, действующим на $y(t) = x''(t)$. Определим операторы $C_0, C_1 : L_2 \rightarrow L_2$ равенствами

$$(C_0 y)(t) = \frac{1}{t} \int_0^t y(s) ds, \quad (C_1 y)(t) = \frac{1}{t^2} \int_0^t s y(s) ds.$$

Оператор C_0 известен в литературе как оператор Чезаро, а C_1 - как обобщенный оператор Чезаро. В отечественной литературе (см., например, [2, стр. 187]) оператор C_0 принято называть оператором Харди – Литтльвуда. Исследованию свойств операторов C_0, C_1 посвящена обширная литература. В частности, в работе [3] приведено полное описание спектра операторов C_0, C_1 . При различных сочетаниях параметров k и m , оператор A встречается во многих краевых задачах прикладного характера: например, уравнения Ванье-Штарка, Шредингера и др. [4].

1. В этом пункте приведем необходимые нам утверждения об операторах $C_0, C_1 : L_2 \rightarrow L_2$. Операторы, сопряженные с C_0, C_1 , имеют вид

$$(C_0^* y)(t) = \int_t^1 \frac{y(s)}{s} ds, \quad (C_1^* y)(t) = t \int_t^1 \frac{y(s)}{s^2} ds.$$

Лемма 1 ([5]). Для любого $y \in L_2$ справедливы соотношения

$$(C_0 y, y) = (y, C_0^* y) = \frac{1}{2} \|C_0^* y\|^2, \quad (C_1 y, y) = (y, C_1^* y) = \frac{3}{2} \|C_1^* y\|^2, \quad \|C_1^* y\| \leq \|C_0^* y\|.$$

Для линейного ограниченного оператора $L : L_2 \rightarrow L_2$ рассмотрим характеристики $q(L)$ и $\gamma(L)$, определенные равенствами

$$q(L) = \inf_{\|y\|=1} \|(L^* y)\|, \\ \gamma(L) = \inf_{\|y\|=1} |(Ly, y)|,$$

где $L^* : L_2 \rightarrow L_2$ - сопряженный с L оператор.

Величина $q(L)$ называется коэффициентом сюръективности оператора L и является характеристикой устойчивости свойства сюръективности оператора L [6]. Величина $\gamma(L)$ предложена в работе [7] для характеристики свойства знакоопределенности линейного оператора. В частности, для положительного оператора L значение $\gamma(L)$ совпадает с нижней границей положительного оператора [5]. Известно, что $q(L) \geq \gamma(L)$. Кроме того, выполнение неравенства $\gamma(L) > 0$ гарантирует обратимость оператора L .

Определим область $\Omega \subset R^2$

$$\Omega = \{(k, m) \in R^2 : k + m \geq 0, k - 2m \geq 0\}.$$

Теорема 1. Если $(k, m) \in \Omega$, то:

- 1) $\gamma(B) = 1$ и $q(B) = 1$;
- 2) оператор B обратим и $\|B^{-1}\| = 1$.

Доказательство. Докажем утверждение 1). Пусть $(k, m) \in \Omega$ и $y \in L_2$ – произвольный элемент. Преобразуем выражение (By, y) с применением леммы 1:

$$(By, y) = \|y\|^2 + \frac{k+m}{2} \|C_0^* y\|^2 - \frac{3m}{2} \|C_1^* y\|^2. \quad (3)$$

Докажем справедливость неравенства

$$\|y\|^2 \leq (By, y). \quad (4)$$

Для этого рассмотрим 2 случая:

- 1) пусть $m \geq 0$. Тогда в силу леммы 1 получим

$$(By, y) \geq \|y\|^2 + \frac{k-2m}{2} \|C_0^*y\|^2.$$

Так как $k-2m \geq 0$ при $(k, m) \in \Omega$, то из последнего неравенства следует (4);

2) пусть теперь $m < 0$. Тогда с учетом условия $k+m \geq 0$ из равенства (3) получим требуемое.

Неравенство (4) доказано.

Теперь рассмотрим неравенство

$$|(By, y)| \leq \|y\|^2 + \frac{k+m}{2} \|C_0^*y\|^2 + \frac{3|m|}{2} \|C_1^*y\|^2.$$

Применение леммы 1 позволяет получить двойное неравенство

$$\|y\|^2 \leq |(By, y)| \leq \|y\|^2 + \left(\frac{k+m}{2} + \frac{3|m|}{2} \right) \|C_0^*y\|^2.$$

Последовательность $y_n(t) = \sqrt{2n+1}t^n$ такова, что $\|y_n\| = 1$ и $\|C_0^*y_n\| = \frac{\sqrt{2}}{n+1} \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$.

Тогда, переходя в последнем двойном неравенстве к точной нижней грани по всем $y \in L_2$, таким что $\|y\| = 1$, получим равенство $\gamma(B) = 1$.

Из неравенства (4) следует

$$\|y\| \leq \|B^*y\|.$$

Рассмотрим следующее представление выражения $\|B^*y\|^2$

$$\begin{aligned} \|B^*y\|^2 &= (B^*y, B^*y) = \|y\|^2 + 2(k+m)(y, C_0^*y) - 2m(y, C_1^*y) - \\ &- 2m(k+m)(C_0^*y, C_1^*y) + (k+m)^2 \|C_0^*y\|^2 + m^2 \|C_1^*y\|^2. \end{aligned}$$

Ко второму и третьему слагаемым применим утверждение леммы 1, а четвертое слагаемое оценим сверху произведением норм

$$\begin{aligned} \|B^*y\|^2 &\leq \|y\|^2 + (k+m) \|C_0^*y\|^2 + 3|m| \|C_0^*y\|^2 + |2m(k+m)| \|C_0^*y\| \|C_1^*y\| + \\ &+ (k+m)^2 \|C_0^*y\|^2 + m^2 \|C_1^*y\|^2. \end{aligned}$$

С учетом леммы 1 это неравенство представим в виде

$$\|B^*y\| \leq \sqrt{\|y\|^2 + \varphi(k, m) \|C_0^*y\|^2},$$

где $\varphi(k, m) = (k+m)^2 + (k+m) + m^2 + 3|m| + |2m(k+m)|$.

Таким образом

$$\|y\| \leq \|B^*y\| \leq \sqrt{\|y\|^2 + \varphi(k, m) \|C_0^*y\|^2}.$$

Так как для последовательности $y_n(t) = \sqrt{2n+1}t^n$ имеем $\lim_{n \rightarrow \infty} \|C_0^*y_n\| = 0$, то, переходя в двойном неравенстве к точной нижней грани по всем $\|y\| = 1$, получим $q(B) = 1$. Из неравенства (4) получим $\|y\| \leq \|By\|$ или $\|B^{-1}\| \leq 1$. Теперь воспользуемся неравенством [8]

$$1 = \frac{1}{q(B)} \leq \|B^{-1}\|.$$

Отсюда следует второе утверждение теоремы.

2. В этом пункте получим достаточные условия однозначной разрешимости задачи (1). Будем предполагать, что $T_1 : D_2^0 \rightarrow L_2$, $T_2 : W_2^0 \rightarrow L_2$ – линейные ограниченные операторы.

Теорема 2. Пусть выполнены условия:

- 1) $(k, m) \in \Omega$;
- 2) $\|T_1\| + \|T_2\| < 1$.

Тогда для произвольного $f \in L_2$ задача (1) имеет единственное решение в пространстве W_2^0 .

Доказательство. Подстановка $y(t) = x''(t)$ позволяет перейти от задачи (1) к эквивалентному интегральному уравнению

$$y(t) + \frac{k}{t} \int_0^t y(s) ds + \frac{m}{t^2} \int_0^t (t-s) y(s) ds + T_1 \left(\int_0^t y(s) ds \right) + T_2 \left(\int_0^t (t-s) y(s) ds \right) = f(t) \quad (5)$$

в пространстве L_2 . Уравнение (5) запишем в операторном виде

$$By + \tilde{T}_1 y + \tilde{T}_2 y = f.$$

Здесь $B: L_2 \rightarrow L_2$ – оператор определенный равенством (2), операторы $\tilde{T}_1, \tilde{T}_2: L_2 \rightarrow L_2$ имеют вид $\tilde{T}_1 = T_1 V_1$, $\tilde{T}_2 = T_2 V_2$, а операторы $V_1: L_2 \rightarrow D_2^0$, $V_2: L_2 \rightarrow W_2^0$ действуют по правилу

$$(V_1 y)(t) = \int_0^t y(s) ds, \quad (V_2 y)(t) = \int_0^t (t-s) y(s) ds.$$

Так как $\|V_1\| = \|V_2\| = 1$, то в условиях теоремы $\|\tilde{T}_1 + \tilde{T}_2\| < 1$. Для суммы операторов $B + \tilde{T}_1 + \tilde{T}_2$ справедливо соотношение

$$\gamma(B + \tilde{T}_1 + \tilde{T}_2) \geq \gamma(B) - (\|\tilde{T}_1 + \tilde{T}_2\|) \geq 1 - (\|T_1\| + \|T_2\|) > 0.$$

Положительность $\gamma(B + \tilde{T}_1 + \tilde{T}_2)$ обеспечивает обратимость соответствующего оператора. Это означает, что уравнение (5), а вместе с ним и задача Коши (1) имеет единственное решение для любого $f \in L_2$.

Теорема доказана.

Список литературы

1. *Симонов Н.И.* Прикладные методы анализа у Эйлера. М.: ГИТТЛ, 1957. – 168 с.
2. *Крейн С.Г., Петунин Ю.И., Семенов Е.М.* Интерполяция линейных операторов. М.: Наука, 1978. – 400 с.
3. *Абдуллаев А.Р., Плехова Э.В.* О спектре оператора Чезаро // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – №4. – С. 33-37.
4. *Кигурадзе М.Т., Шехтер Б.Л.* Сингулярные краевые задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка. «Современные проблемы математики. Новейшие достижения». Т. 30. М.: ВИНТИ, 1987. –С. 105-208.
5. *Абдуллаев А.Р., Конопацкая Е.В., Плехова Э.В.* Дифференциальном операторе второго порядка с сингулярным потенциалом // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – №6. – С. 14-18.
6. *Abdullaev A.R.* Steady properties of elements in Banach spaces. //Memories Different. Equations and Math. Ph. Tbilisi. – 2002. – Vol.26. – P. 9-30.
7. *Абдуллаев А.Р., Конопацкая Е.В.* About fixed sign as a steady property of linear operators // Вопросы трансформации образования. – 2013. – Т.1. – С. 24-27.
8. *Абдуллаев А.Р., Брагина Н.А.* Операторы Грина с минимальной нормой //Известия высших учебных заведений. Математика. – 2003. – №4. – С. 3-7.

01.01.06

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

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

СУММЫ ОБОБЩЕННЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОГРЕССИЙ

Получены новые формулы для расчета сумм некоторых обобщённых геометрических прогрессий. Рассмотрены приложения полученных результатов.

Ключевые слова: *сумма членов геометрической прогрессии, обобщенная геометрическая прогрессия, полиномиальная теорема.*

Конечная сумма членов геометрической прогрессии указана во всех справочниках и учебниках [1 – 6], и ее формула имеет вид

$$G(n; a) = \sum_{k=0}^n a^k = 1 + a + a^2 + \dots + a^n = \frac{a^{n+1}-1}{a-1}. \tag{1}$$

Под суммой обобщенной геометрической прогрессии (СОГП) мы будем понимать выражение вида

$$T(n; a) = \sum_{k=0}^n b_k a^k, \tag{2}$$

где b_k или функции от k или некоторые константы. Примером СОГП является бином Ньютона. В некоторых справочниках и учебной литературе, например в [5], дана формула суммы членов арифметико-геометрической последовательности СОГП вида

$$G(n; a; 1) = \sum_{k=1}^n k a^{k-1} = \frac{a^{n(n+1)(a-1) - (a^{n+1}-1)}}{(a-1)^2}, \tag{3}$$

полученная путем дифференцирования (1) по a .

В данной работе мы приводим несколько формул для сумм других обобщенных геометрических прогрессий, которые не обнаружили в справочной и учебной литературе.

Вначале будем возводить (1) в целую степень. Так как

$$\left(\sum_{k=0}^n a^k\right)^2 = \sum_{k=0}^n (k+1)a^k + \sum_{k=n+1}^{2n} (2n+1-k)a^k = 1 + 2a + 3a^2 + \dots + na^{n-1} + (n+1)a^n + na^{n+1} + \dots + 2a^{2n-1} + a^{2n}, \tag{3}$$

то мы можем дать формулу расчета такой СОГП

$$\sum_{k=0}^n (k+1)a^k + \sum_{k=n+1}^{2n} (2n+1-k)a^k = \frac{(a^{n+1}-1)^2}{(a-1)^2}. \tag{4}$$

Например,

$$1 + 2a + 3a^2 + 2a^3 + a^4 = \frac{(a^3-1)^2}{(a-1)^2}, \tag{5}$$

$$1 + 2a + 3a^2 + 4a^3 + 3a^4 + 2a^5 + a^6 = \frac{(a^4-1)^2}{(a-1)^2}. \tag{6}$$

Симметрия коэффициентов b_k позволяет сразу записать СОГП такого вида для произвольного n . Указанные соотношения позволяют решать алгебраические уравнения высокого порядка, если структура коэффициентов имеет указанный вид. Например, дано уравнение $x^8 + 2x^7 + 3x^6 + 4x^5 + 5x^4 + 4x^3 + 3x^2 + 2x - 15 = 0$. Запишем его в виде $x^2 + x - 1 = 0$, что дает $x_{1,2} = (-1 \pm \sqrt{5})/2$.

Если мы продифференцируем (4) по a , то получим новую серию СОГП

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n k(k+1)a^{k-1} + \sum_{k=n+1}^{2n} k(2n+1-k)a^{k-1} &= \\ &= 2 \left(\frac{a^{n+1}-1}{(a-1)^3} \right) \left((a-1)a^n(n+1) - (a^{n+1}-1) \right). \end{aligned} \tag{7}$$

Численный пример для (7) с $n = 2, a = 2$:

$$2 + 6a + 6a^2 + 4a^3 = 2(a^3 - 1)(3a^2 - a^3 + 1) = 70.$$

При возведении (1) в куб и более высокие степени необходимо или несколько раз применять бином Ньютона или пользоваться полиномиальной теоремой

$$(\sum_{k=0}^n x_k)^s = \sum \frac{s!}{n_1 \cdot n_2 \cdot \dots \cdot n_m} x_1^{n_1} \cdot x_2^{n_2} \cdot \dots \cdot x_m^{n_m}, \quad (8)$$

где используются все наборы $(n_1 \cdot n_2 \cdot \dots \cdot n_m)$ при условии $n_1 + n_2 + \dots + n_m = n$. Коэффициенты b_k при этом имеют такую же симметрию, как и в (4,5), т.е. они вначале нарастают, а потом симметрично убывают и их сумма $\sum_{k=0}^{n_s} b_k = (n+1)^s$. Примеры: $(n=2, s=3; n=2, s=4)$

$$1 + 3a + 6a^2 + 7a^3 + 6a^4 + 3a^5 + a^6 = \frac{(a^3-1)^3}{(a-1)^3} \quad (9)$$

$$1 + 4a + 10a^2 + 16a^3 + 19a^4 + 16a^5 + 10a^6 + 4a^7 + a^8 = \frac{(a^3-1)^4}{(a-1)^4}. \quad (10)$$

При взятии m -ой производной от функции $G(n; a)$ (1) по a получаем еще один набор СОГП

$$\begin{aligned} G^{(m)}(n; a) &\equiv G(n; a; m) = \sum_{k=m}^n \frac{k!}{(k-m)!} a^{k-m} = \\ &= \sum_{k=1}^m (-1)^{k-m} C_m^k \frac{(m-k)!(n+1)! a^{n+1-k}}{(n-k+1)!(a-1)^{m-k+1}} + (-1)^m \frac{m!(a^{n+1}-1)}{(a-1)^{m+1}}. \end{aligned} \quad (11)$$

При $m=1$ (11) дает (3). При $m=2$ (11) дает

$$\begin{aligned} G(n; a; 2) &= \sum_{k=2}^n k(k-1)a^{k-2} = \\ &= \frac{2(a^{n+1}-1) - 2a^n(n+1)(a-1) + a^{n-1}(n+1)n(a-1)^2}{(a-1)^3}. \end{aligned} \quad (12)$$

Также можно получить такое тождество

$$\sum_{k=1}^n k c^{2k-1} = \frac{c^{2n+1}(n+1)(c^2-1) - c(c^{2(n+1)}-1)}{(c^2-1)^2}. \quad (13)$$

Если в (11) взять предел при $a \rightarrow 1$, то мы получим

$$G(n; 1; m) = \sum_{k=m}^n \frac{k!}{(k-m)!} = \frac{(n+1)!}{(m+1)(n-m)!}. \quad (14)$$

Например, при $n=5, m=4$ $G(5; 1; 4) = 24 + 120 = 6!/5 = 144$.

Работа с суммами Бернулли (суммы одностепенных натуральных чисел) также дает примеры новых СОГП. Например, для натуральных a

$$1 + a + 2a^2 + 2a^3 + a^4 = 1 + 2 \sum_{k=1}^a (2k^3 + k). \quad (15)$$

Полученные результаты резко сокращают расчеты сложных сумм и могут служить для доказательства теорем и получения новых математических формул. Суммы обобщенных геометрических прогрессий могут позволить аналитически решить некоторые алгебраические уравнения. Приведем еще один пример для уравнения пятого порядка $2 + 2x + 2x^2 + x^3 + x^4 + x^5 = 0$. Если вычтем $G(5; x)$, то получим уравнение $(x^3 - 1) + (x^6 - 1) = 0$, что сразу дает корень $x = -\sqrt[3]{2}$. Поскольку сумма членов обыкновенной геометрической прогрессии дает бесчисленное множество применений в математике, то указанные суммы также могут дать новые результаты.

Список литературы

1. Сизый С.В. Лекции по теории чисел, М. ФИЗМАТГИЗ, 2007.
2. Позняков С.Н. и Рыбин С.В. Дискретная математика. М., Академия, 2008.
3. Dicson L.E. History of the Theory of Numbers, v. II, СРС, New York, 1971.
4. Корн. Г., Корн. Т. Справочник по математике, Наука, ГРФМЛ, М., 1974. стр. 31, 135.
5. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. ГИФМЛ, Москва, 1962. Стр. 15-16.
6. Краткий физико-технический справочник под ред. К.П. Яковлева, ГИФМЛ, м., 1969. стр.9.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ (02.00.00)

02.00.15

М.Е. Григорьев¹, В.Г. Матвеева¹, Е.В. Ребров^{1,2}¹Тверской государственной технической университет, кафедра биотехнологии и химии,
Тверь, Россия, GE.Max2015@yandex.ru²University of Warwick, School of Engineering, Coventry, UK**КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ПРОЦЕССА ГИДРИРОВАНИЯ
D-КСИЛОЗЫ ДО D-КСИЛИТА**

В данной работе представлены возможность использования различных каталитических систем для процесса гидрирования D-ксилозы и результаты, полученные при их применении. Особое внимание уделено рутениевым катализатором, как наиболее перспективным на сегодняшний день.

Ключевые слова: катализаторы, гидрирование, D-ксилоза, D-ксилит.

В настоящее время значительный интерес для исследователей представляет изучение конверсии углеводов, полученных из биомассы, в различные ценные химические продукты. Одним из таких продуктом является многоатомный спирт ксилит. Он широко используется в качестве заменителя сахара, в пищевой и фармацевтических отраслях, химической промышленности, медицине.

В настоящее время ксилит получают биотехнологическим способом (использование различных микроорганизмов и иммобилизованных ферментов) и каталитический способ, то есть с применением гомогенных и гетерогенных каталитических систем. Наиболее перспективным является каталитический способ, благодаря высокому выходу основного продукта гидрирования – D-ксилита и быстрой окупаемости.

Цель данной работы – предоставить краткий обзор гетерогенных каталитических систем для процесса гидрирования D-ксилозы до D-ксилита. Это позволит проводить целенаправленный поиск новых гетерогенных катализаторов гидрирования моно- и дисахаридов, а также предоставит возможность практического их использования.

Для гидрирования D-ксилозы используются в основном катализаторы на основе никеля или рутения в качестве активного металла.

Мюррей Реней изобрел в 1927 году металлический катализатор путем выщелачивания сплава 50-50 % Ni-Al в водном растворе NaOH, в результате чего появился эффективный катализатор для процесса гидрирования. Этот вид классического губчатого катализатора все еще используется для гидрирования, дегидрирования и гидратации, в том числе широко распространен в производстве ксилита [1].

Наиболее распространенными металлами, используемыми в качестве промоторов в никелевых катализаторах являются Mo, Co, Cr, Cu, Sn и Fe. Металлы-промоторы могут добавляться в сплав либо сразу же в начале процесса, либо в конце производства катализатора для видоизменения каталитической поверхности, что способствует повышению каталитической активности катализатора.

В промышленности ксилит получают в реакторах с использованием гетерогенных каталитических систем. Субстратом для гидрирования служит 50 %-ный водный раствор D-ксилозы, а катализатором – никель Ренея (скелетный никель). Важным преимуществом скелетных металлических катализаторов является то, что они не требуют отдельной активации перед использованием. Никелевые катализаторы обладают низкой стоимостью, хорошей активностью. Основные побочные продукты производства ксилита при использовании никелевого катализатора – ксилоновая кислота, ксилулоза и арабинитол [2].

Никель Ренея обладает превосходными каталитическими свойствами, но его основным недостатком является относительно быстрая дезактивация из-за накопления органических

примесей на поверхности катализатора, что приводит к отравлению активных центров и вымыванию каталитически активного металла. Вследствие этого значения конверсии и селективности процесса значительно снижаются. Кроме того, очень важно, чтобы частицы никеля были полностью удалены из раствора ксилита, который в дальнейшем может быть использован в пищевой промышленности или в качестве лекарственных средств.

В связи с этим актуальным является замена никелевых катализаторов на каталитические системы, содержащие металлы платиновой группы, например рутений, а также получение носителей каталитически активного металла, обладающих высокой стабильностью, механической прочностью, химически инертные, способные удерживать каталитический металл и обеспечивать высокую площадь поверхности катализатора.

Последние несколько лет различные благородные металлы (Pt, Pd, Ru) были исследованы в качестве катализаторов для получения ксилита. Среди них катализаторы на основе рутения показали наименьшую степень дезактивации [3 – 6].

А. Tathod и др. [7] использовали для гидрирования глюкозы и ксилиты платиновый катализатор на γ -Al₂O₃ (кислый) и гидротальцитной (НТ) (основной) подложках. При температуре 90 °С была достигнута 92 %-ная конверсия субстратов за 4 часа. Результаты гидрирования ксилиты на катализаторах Pt/ γ -Al₂O₃, Pt/НТ, Pt/ γ -Al₂O₃ + НТ при 60 °С и 16 бар давлении водорода представлены в таблице 1.

D.K. Mishra и др. [8] выявили высокую активность и селективность по отношению к ксилиту катализатора Ru/PSN (поли(стерин-ко-дивинилбензин)амин). Ими также было изучено влияние количества данного катализатора.

Как и ожидалось, степень конверсии ксилиты непрерывно увеличивается с ростом количества катализатора, от 1.0 до 1.5 г. Селективность к ксилиту увеличивается до определенного предела, а затем снижается при дальнейшем увеличении количества катализатора с 1.25 до 1.5 г. Утверждается, что количество катализатора, то есть 1.25 г, является достаточным для достижения максимальной степени конверсии ксилиты и селективности по отношению к ксилиту (таблица 2). Данный факт можно объяснить ускорением протекания побочных реакций. Этот факт свидетельствует о высокой активности рутениевого катализатора. То есть для достижения высокой конверсии ксилиты нужно небольшое количество гетерогенного рутениевого катализатора.

Таблица 1 – Катализаторы Pt/ γ -Al₂O₃, Pt/НТ, Pt/ γ -Al₂O₃ + НТ в гидрирование ксилиты

Катализатор	Время (ч)	Конверсия (%)	Выход продукта (%)			
			Сахарные спирты		Гликоли	Ксилитовая кислота
			Ксилит	Арабит		
Без катализатора	2	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-
	6	2.0	0.5	-	-	-
Pt/ γ -Al ₂ O ₃	2	4.0	3.3	-	-	-
	4	6.0	3.0	-	1.0	-
	6	9.0	4.5	-	1.5	-
Pt/НТ	2	41.5	36.0	6.0	-	-
	4	59.0	50.0	6.0	1.5	-
	6	72.0	55.0	4.0	3.5	2.0
Pt/ γ -Al ₂ O ₃ + НТ	2	82.0	68.0	4.0	4.0	2.0
	4	99.0	79.0	3.0	6.0	2.5
	6	99.0	78.0	3.0	6.0	2.5

Таблица 2 – Влияние количества катализатора Ru/PSN на гидрирование процесс гидрирования D-ксилозы

Количество катализатора, г	Конверсия, %	Селективность, %	Выход, %
0.00	-	-	-
1.00	85.9	91.9	79.0
1.25	97.2	95.8	93.1
1.50	99.8	94.1	93.9

Возможность многократного использования катализатора имеет большое значение для промышленного применения. Например, D.K. Mishra и др. проводили испытания катализатора Ru/PSN в процессе гидрирования ксилозы. Результаты показали, что активность катализатора немного снизилась после четырех последовательных циклов, но не существенно. Это указывает на то, что катализатор Ru/PSN может обладать долгосрочной стабильностью. После четырех циклов значительных изменений морфологии катализатора не наблюдалось.

Работа была выполнена в рамках проекта 16-08-00306 финансируемого РФФИ.

Список литературы

1. A. Bär. Sugar alcohols: xylitol // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. – 2003. – 34p.
2. J. Mikkola, H. Vainio, T. Salmi, R. Sjoholm, T. Ollonqvist, J. Vayrynen Deactivation kinetics of Mo-supported Raney Ni catalyst in the hydrogenation of xylose to xylitol // Applied Catalysis A: General. – 2000. - №196. – p. 143-155.
3. R. Geyer, P. Kraak, A. Pachulski, R. Schödel New Catalysts for the Hydrogenation of Glucose to Sorbitol // Chemie Ingenieur Technik. – 2012. - №4. – p. 513-516.
4. P. Gallezot, N. Nicolaus, G. Flèche, P. Fuertes, A. Perrard Glucose Hydrogenation on Ruthenium Catalysts in a Trickle-Bed Reactor // Journal of Catalysis. – 1998. – №1. – p. 51-55.
5. B.W Hoffer, E. Crezee, P.R.M Mooijman, A.D van Langeveld, F. Kapteijna, J.A. Moulijna Carbon supported Ru catalysts as promising alternative for Raney-type Ni in the selective hydrogenation of d-glucose // Catalysis Today. – 2003. - №79. – p. 35-41.
6. B. Kusserow, S. Schimpf, P. Claus Hydrogenation of Glucose to Sorbitol over Nickel and Ruthenium Catalysts // Advanced Synthesis & Catalysis. – 2003. - №1-2. – p. 289-299.
7. A. Tathod, T. Kane, E.S. Sanil, P.L. Dhepe Solid based supported metal catalysts for the oxidation and hydrogenation of sugars // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. – 2014. - № 388 – p. 90-99.
8. D.K. Mishra, A.A. Dabbawala, J. Hwang Poly (styrene-co-divinylbenzene) amine functionalized polymer supported ruthenium nanoparticles catalyst active in hydrogenation of xylose // Catalysis Communication. – 2013. - №41. – p. 52-55.

02.00.15

**О.В. Манаенков¹, О.В. Кислица¹, В.Ю. Долуда¹, В.Г. Матвеева¹, А.Е. Филатова¹,
Э.М. Сульман¹, А.И. Сидоров¹, Е.В. Ребров^{1,2}**

¹Тверской государственной технической университет, кафедра биотехнологии и химии,
Тверь, Россия, ovman@yandex.ru

²University of Warwick, School of Engineering, Coventry, UK

КИНЕТИКА ПРОЦЕССА ГИДРОГЕНОЛИЗА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В СУБКРИТИЧЕСКОЙ ВОДЕ

В данной работе представлены результаты исследования кинетики процесса гидрогенолиза микрокристаллической целлюлозы в субкритической воде до полиолов в присутствии Ru-содержащих гетерогенных катализаторов. Предложена адекватная кинетическая модель процесса, рассчитаны её основные параметры.

Ключевые слова: *целлюлоза, гидрогенолиз, субкритическая вода, полиолы, гетерогенный катализ, кинетическая модель.*

Одностадийный гидрогенолиз целлюлозы до полиолов (*one-pot* процесс), в присутствии гетерогенных металлосодержащих катализаторов известен достаточно давно [1], однако в литературе практически отсутствуют исследования, направленные на изучение его кинетических аспектов. Очевидно, что результаты таких исследований могут способствовать повышению эффективности конверсии целлюлозы, стать фундаментальной основой новых, усовершенствованных технологий переработки целлюлозной биомассы в ценные химикаты [2, 3].

Цель данной работы – исследование кинетики процесса гидрогенолиза микрокристаллической целлюлозы в среде субкритической воды в присутствии Ru-содержащего катализатора на основе сверхсшитого полистирола (СПС) – 3 % Ru/СПС MN 270.

Экспериментальная часть

Методики приготовления катализатора 3 % Ru/СПС MN 270, результаты его физико-химических исследований, а также методики экспериментов были ранее описаны в работах [4, 5].

Результаты и обсуждение

Процесс гидрогенолиза целлюлозы состоит из двух основных стадий: гидролиза целлюлозы до глюкозы и ее гидрогенолиза до полиолов. Предварительные исследования показали, что лимитирующей стадией всего процесса является стадия гидрогенолиза глюкозы. Рассматривая вопросы механизма гидрогенолиза глюкозы и полиолов необходимо учитывать облегчение разрыва связей С–С из-за наличия большого числа гидроксильных групп. При температурах 190 - 220 °С начинает интенсивно идти гидрогенолиз С–С связей глюкозы с образованием заметных количеств глицерола и гликолей. Однако в условиях процесса (205 °С, 6 МПа Н₂) основная часть образующейся глюкозы гидрируется до сорбита.

Сорбит в данных условиях более устойчив к гидрогенолизу по сравнению с глюкозой, что может объясняться, в том числе, его химической структурой (отсутствие ослабляющего связи С–С σ , π -сопряжения, возникающего в результате енолизации глюкозы). Поэтому в указанных условиях сорбит является основным продуктом процесса. Тем не менее, часть сорбита (особенно с ростом температуры процесса) подвергается гидрогенолизу с образованием ксилита, эритрита, глицерола пропилен- и этиленгликоля. На основе экспериментальных данных были предложены возможные пути превращений и схема гидрогенолиза целлюлозы (рис. 1).

Для обобщения экспериментальных данных, полученных при различных значениях нагрузки на катализатор q , целесообразно провести переход к безразмерным концентрациям субстрата и продукта (формула 1):

$$X_i = C_i/C_0, \quad (1)$$

где $i = 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7$ для субстрата и продукта, соответственно, C_i - текущая концентрация продукта, моль/л; C_0 - текущая концентрация субстрата, моль/л.

Приведенные к такому виду экспериментальные данные представлены в виде семейства кривых в координатах $X \sim \tau$. Математическое описание экспериментальных данных после перехода к безразмерным концентрациям X_i можно представить в виде системы дифференциальных уравнений вида (2):

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{d\tau} &= -W_1 \\ \frac{dx_2}{d\tau} &= -W_2 \\ \frac{dx_3}{d\tau} &= -W_3 \\ \frac{dx_4}{d\tau} &= -W_4 \\ \frac{dx_5}{d\tau} &= -W_5 \\ \frac{dx_6}{d\tau} &= -W_6 \\ \frac{dx_7}{d\tau} &= -W_7, \end{aligned} \tag{2}$$

где W_i - скорость реакции гидронолиза при единичной начальной концентрации субстрата $C_0 = 1$ моль/л и единичной концентрации катализатора $C_k = 1$ моль/л, τ - время процесса, с.

Методом обратного интегрирования было рассчитано порядка 14 математических моделей. По расчетным данным были построены зависимости концентраций веществ от времени реакции. Было проведено сравнение зависимостей построенных для экспериментально полученных данных и рассчитанных для каждой модели. Из всех вариантов систем дифференциальных уравнений была выбрана матмодель (3), в которой экспериментальные точки хорошо согласуются с расчетной кривой (рис. 2).

$$\begin{aligned} W_A &= -k_1[A] - k_2[A]; W_B = k_1[A] - k_3[B] - k_4[B] - k_5[B] - k_6[B]; \\ W_C &= k_3[B] - k_7[C]; W_D = k_6[B] + k_7[C]; W_E = k_2[A] + k_4[B]; W_F = k_5[B], \end{aligned} \tag{3}$$



Рис. 1 Схема гидронолиза целлюлозы.

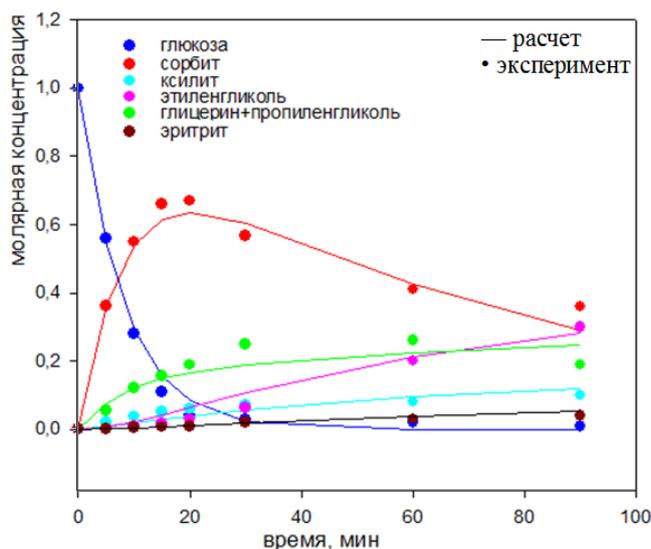


Рис. 2 Зависимость $X \sim \tau$ для гидронолиза глюкозы на катализаторе 3 % Ru/СПС MN 270.

Такая математическая модель удовлетворительно описывает кинетику гидрогенолиза глюкозы. Таким образом, полученная модель является формальным описанием кинетики гидрогенолиза глюкозы на катализаторе 3% Ru/СПС MN 270. Значения констант скоростей реакций приведены в таблице 1. В данной модели предполагается отсутствие адсорбционных (или координационных) взаимодействий в исследуемой системе. На основании этой модели можно предположить о том, что на поверхности катализатора при протекании реакции гидрогенолиза глюкозы не происходит адсорбции субстрата. Для нахождения параметров уравнения Аррениуса были рассчитаны кинетические параметры гидрогенолиза глюкозы явным интегральным методом (таблица 2). Из представленных данных в таблице 2 видно, что константа скорости, предэкспоненциальный множитель и кажущаяся энергия активации, рассчитанные на основании температурной зависимости, совпадают с результатами решения обратной задачи, что еще раз подтверждает правильность выбора кинетической модели.

Таблица 1 – Значения констант скоростей реакций по схеме на рис. 1.

Константа	Значение, моль/моль)п·с ⁻¹	Константа	Значение, моль/моль)п·с ⁻¹
k_1	0.103	k_5	$1.24 \cdot 10^{-3}$
k_2	$2.08 \cdot 10^{-2}$	k_6	$1.33 \cdot 10^{-3}$
k_3	$8.62 \cdot 10^{-3}$	k_7	$4.13 \cdot 10^{-2}$
k_4	$1.88 \cdot 10^{-3}$	При СКО $\sigma = 2,6 \cdot 10^{-2}$.	

Таблица 2 – Кинетические параметры гидрирования глюкозы.

Температура, К	k , (моль/моль) ⁿ ·с ⁻¹	$\sigma \cdot 10^{-2}$	$E_{\text{каж}}$, кДж/моль	k_0
448	0.030364	2.70	45±5	$8.92 \cdot 10^6$
463	0.043452	2.65		
478	0.102713	2.67		
493	0.116167	2.69		
508	0.112151	2.65		
478*	0.103125	2.63	45±5	$8.67 \cdot 10^6$
k - кинетический параметр, k_0 - предэкспоненциальный множитель, *-рассчетные данные по модели				

Работа была выполнена в рамках проектов 15-38-20345, 16-08-00401, 15-08-00455, финансируемых РФФИ и 13-08-00126, финансируемого РНФ.

Список литературы

1. Verendel J.J., Church T.L., Andersson P.G. Catalytic One-Pot Production of Small Organics from Polysaccharides // *Synthesis*. 2011. 11. P. 1649-1677.
2. Zheng M., Pang J., Wang A., Zhang T. One-pot catalytic conversion of cellulose to ethylene glycol and other chemicals: From fundamental discovery to potential commercialization // *Chin. J. Cat.* 2014. 35. P. 602 - 613.
3. Xiao Z., Jin S., Pang M., Liang C. Conversion of highly concentrated cellulose to 1,2-propanediol and ethylene glycol over highly efficient CuCr catalysts // *Green Chem.* 2013. 15. P. 891-895.
4. Манаенков О.В., Макеева О.Ю., Филатова А.Е., Сульман М.Г., Сидоров А.И., Быков А.В., Матвеева В.Г., Григорьев М.Е., Сульман Э.М. Катализаторы на основе сверхсшитого полистирола для процесса конверсии целлюлозы в полиолы // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2012. № 6. С. 54-58.
5. Manaenkov O.V., Matveeva V.G., Sulman E.M., Filatova A.E., Makeeva O.Yu., Kislitza O.V., Sidorov A. I., Doluda V.Yu., Sulman M.G. Ru-Containing Polymeric Catalysts for Cellulose Conversion to Polyols // *Top. Catal.* 2014. 57(17-20). P. 1476-1482.

02.00.05

Е.Н. Минаев, д.т.н.

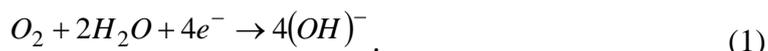
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Физико-технический факультет, кафедра физики,
Саратов, emin@sstu.ru

РАСЧЁТ МАССОПЕРЕНОСА КИСЛОРОДА В ПРИГРАНИЧНОМ СЛОЕ ПОВЕРХНОСТИ ОМЫВАЕМОЙ РАСТВОРОМ, ПРИ ЕЁ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ

Проведено моделирование массопереноса кислорода на границе металл – раствор со стороны жидкости при катодной поляризации поверхности. Моделирование основано на построения и решения краевой задачи для уравнения конвективной диффузии со степенным профилем скорости. Получены выражения для расчёта концентрации и плотности потока кислорода на границе. Представлен метод параметрической идентификации коэффициента профиля скорости.

Ключевые слова: электрохимическая защита, массоперенос кислорода на границе, уравнение конвективной диффузии.

Катодная поляризация (электрохимическая защита) нашла широкое применение для понижения скорости коррозии металла [1]. Она используется при защите конструкций и оборудования из стали, медных и алюминиевых сплавов в слабощелочных средах, например, в воде повышенного солесодержания (трубопроводы забортной воды, низкотемпературные теплообменники, охлаждаемые морской водой и т.д.). Организация катодной защиты имеет два аспекта. Один из них (математический) связан с расчётом электрического поля вдоль поверхности защищаемой конструкции (катада). Это даёт возможность определить радиус действия анода и другие параметры системы защиты. Данный аспект рассмотрен в работе [2]. Второй аспект (электрохимический) заключается в исследовании процессов, протекающих на границе с точки зрения электрохимической кинетики. С физико-химической точки зрения на защищаемой поверхности (катоде), кроме реакции растворения металла, протекает реакция электрохимического восстановления растворённого в воде молекулярного кислорода [3]



Поскольку молекула кислорода в процессе реакции на поверхности исчезает, а вместо неё образуются гидроксильные ионы, этот процесс можно рассматривать, как поглощение кислорода на стенке. Данная реакция протекает с диффузионным контролем, когда наиболее замедленной стадией реакции становится диффузия кислорода к катоду. Если установить минимальное значение защитного потенциала или более отрицательные значения, то достигается предельный диффузионный ток реакции восстановления кислорода [1], как это показано на рис.1. Тогда весь подводимый кислород без остатка расходуется в реакции (1) и его молярная концентрация $C(x,y)$ на катоде ($y = 0$) равна нулю $C(x,0) = 0$.

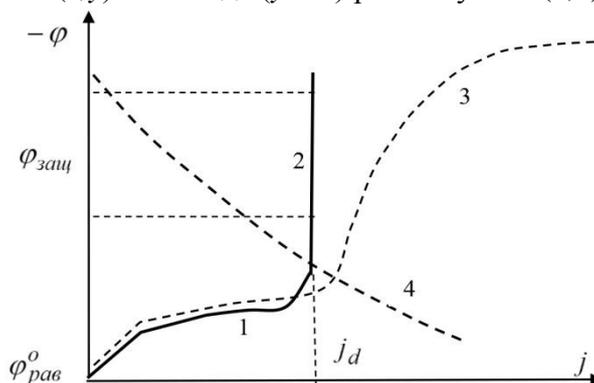


Рис.1. Поляризационные кривые и область защитных потенциалов.

1,2 - кривая восстановления кислорода; 2 – область предельного диффузионного тока (область защитных потенциалов); 3 - кривая суммарного катодного процесса с учётом водородной реакции; 4 - кривая растворения металла; j_d - плотность предельного диффузионного тока

Целью данной работы является расчёт концентрации кислорода и плотности потока кислорода в приграничном слое защищаемой поверхности.

При вынужденной конвекции, кроме турбулентного ядра, в потоке раствора присутствует турбулентный пограничный слой, который при приближении к стенке переходит в ламинарный подслой. Внутри гидродинамического ламинарного подслоя со стороны стенки образуется диффузионный пограничный слой. Если поместить начало оси y на стенке и направить эту ось вглубь раствора, то можно аппроксимировать профиль скорости в приграничном слое в виде функции, у которой по мере увеличения координаты y производная уменьшается, а сама функция имеет выпуклость вверх [4]. Наиболее удобной является степенная функции с показателем меньше 1, например $V_x = a y^{1/n}$ [5]. Выберем в качестве показателя степени $1/n = 1/2$. Подбирая множитель a , можно добиться приемлемой точности аппроксимации. Вопрос об определении коэффициента a относится к задачам параметрической идентификации [6]. Применительно к задаче, рассматриваемой в данной статье, этот вопрос будет рассмотрен ниже.

Поместим ось x по поверхности стенки в направлении потока, начало координат $x=0$ поместим в точку набегания потока на поверхность. С учётом приближения диффузионного пограничного слоя [5], запишем уравнение конвективной диффузии и условия однозначности для определения концентрации растворённого кислорода $C(x, y)$

$$a y^{1/2} \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial^2 y}, \quad 0 < y < \infty, \quad 0 < x < \infty, \quad (2)$$

$$C(0, y) = C_0, \quad 0 < y < \infty, \quad (3)$$

$$C(x, 0) = 0, \quad 0 < x < \infty. \quad (4)$$

$$C(x, \infty) = C_0, \quad 0 < x < \infty. \quad (5)$$

где C_0 – исходная концентрация в отсутствие поглощения, а D – коэффициент диффузии кислорода. При данной постановке, коэффициент a задан по условию задачи.

Для решения краевой задачи (2) – (5), автор предлагает замену переменной $\mu = \frac{y}{x^{2/5}} \left(\frac{a}{D}\right)^{2/5} \left(\frac{2}{5}\right)^{7/5}$, тогда задача (2) – (5) преобразуется в краевую задачу для обыкновенного дифференциального уравнения

$$\frac{d^2 C}{d\mu^2} + \frac{5}{2} \mu^{3/2} \frac{dC}{d\mu} = 0, \quad 0 < \mu < \infty \quad (6)$$

$$C(\mu) = 0 \text{ при } \mu = 0, \quad (7)$$

$$C(\mu) = C_0 \text{ при } \mu = \infty. \quad (8)$$

Проведём ещё одну замену переменной $dC/d\mu = f$ и понизим порядок уравнения (6) $\frac{df}{d\mu} + \frac{5}{2} \mu^{3/2} f = 0$. Решением его является функция $f = A \exp(-\mu^{5/2})$. Тогда концентрация кислорода выражается функцией

$$C(\mu) = A \int_0^{\mu} \exp(-\eta^{5/2}) d\eta + B \quad (9)$$

Из граничного условия (7) найдём, что $B = 0$. Для нахождения A , воспользуемся условием (8)

$$C_0 = A \int_0^{\infty} \exp(-\eta^{5/2}) d\eta = A \frac{2}{5} \Gamma\left(\frac{2}{5}\right), \quad \text{откуда } A = \frac{5 C_0}{2 \Gamma(2/5)},$$

где $\Gamma(2/5)$ есть гамма – функция [7]. Таким образом, концентрация растворённого кислорода, как функция координат, определяется формулой

$$C(x, y) = \frac{5C_0}{2\Gamma(2/5)} \int_0^{\mu} \exp(-\eta^{5/2}) d\eta, \quad \text{где} \quad \mu = \frac{y}{x^{2/5}} \left(\frac{a}{D}\right)^{2/5} \left(\frac{2}{5}\right)^{7/5} \quad (10)$$

Учитывая, что производная от интеграла с переменным верхним пределом есть подинтегральная функция на этом пределе, используя правило вычисления сложной функции, вычислим производную от (10)

$$\frac{\partial C}{\partial y} = \frac{5C_0}{2\Gamma(2/5)} \exp\left(-\frac{y^{5/2}}{x} \left(\frac{a}{D}\right) \left(\frac{2}{5}\right)^{7/2}\right) \left(\frac{2}{5}\right)^{7/5} \left(\frac{a}{D}\right)^{2/5} \frac{1}{x^{2/5}}.$$

Тогда плотность потока массы кислорода j_m на границе $y = 0$ равна

$$j_m(x, 0) = -D \frac{\partial C}{\partial y} \Big|_{y=0} = -\frac{C_0 D}{\Gamma(2/5)} \left(\frac{2}{5}\right)^{2/5} \left(\frac{a}{D}\right)^{2/5} \frac{1}{x^{2/5}}, \quad (11)$$

а плотность электрического тока j , соответствующего электрохимической реакции (1), равна

$$j(x, 0) = -nFD \frac{\partial C}{\partial y} \Big|_{y=0} = -\frac{nFC_0 D}{\Gamma(2/5)} \left(\frac{2}{5}\right)^{2/5} \left(\frac{a}{D}\right)^{2/5} \frac{1}{x^{2/5}}, \quad (12)$$

где n – число электронов, участвующих в реакции (в данном случае $n=4$), F – константа Фарадея.

Если по условию задачи константа профиля скорости a неизвестна, и требуется её определить в процессе эксперимента (то есть решить задачу параметрической идентификации), то это можно сделать, используя выражение для плотности тока (12). Для этого заподлицо с основной катодно поляризуемой поверхностью нужно вмонтировать электрод шириной z и длиной x_1 , измерить электрический ток $J_{\text{эксп}}$, протекающий через этот электрод, и приравнять его расчётному значению, которое вычисляется по формуле

$$J_{\text{расч}} = z \int_0^{x_1} j(x, 0) dx = K z n F C_0 D^{3/5} a^{2/5} x_1^{3/5}, \quad \text{где} \quad K = \frac{2^{2/5} 5^{3/5}}{3\Gamma(2/5)} \quad (13)$$

Тогда коэффициент профиля скорости определяется по формуле

$$a = \left(\frac{J_{\text{эксп}}}{K z F C_0} \right)^{5/2} \frac{1}{D^{3/2} x_1^{3/2}}$$

Список литературы

1. Бекман В. Катодная защита от коррозии / В. Бекман, В. Швенк. — М.: Металлургия, 1984. — 381с.
2. Минаев Е.Н. Расчёт поля электрохимических систем со смешанными и нелинейными граничными условиями: монография / Е.Н. Минаев. – Саратов: Издательство «КУБиК», 2013. – 84 с. ISBN 978-5-91818-337-3
3. Феттер К. Электрохимическая кинетика: под ред. Я.М. Колотыркина / К. Феттер – М.: Химия, 1967. – 573с.
4. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг, перев. с немецкого. – М.: Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. – 713 с.
5. Минаев Е.Н. Методы математической физики при исследовании электрохимических систем: монография. / Е.Н. Минаев – Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А., 2015. – 240 с. ISBN 978-5-91818-446-2
6. Минаев Е.Н. Параметрическая идентификация в краевых задачах переноса вещества при разработке методов электрохимического контроля: монография. / Е.Н. Минаев – Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А., 2014. – 90 с. ISBN 978-5-91818-389-2
7. Градштейн И.С. Таблицы сумм, интегралов, рядов и произведений / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик. – М.: Физматгиз, 1962. – 532 с.

02.00.00

Е.В. Ожимкова¹ к.х.н., И.В. Ущиповский^{1,2} к.б.н., Э.М. Сульман¹ д.х.н.¹Тверской государственной технической университет, химико-технологический факультет, кафедра биотехнологии и химии, Тверь, sulman@online.tver.ru²Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства, Тверь**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ И АЗОТФИКСИРУЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ ЛЬНА**

В работе представлены результаты исследования различных условий азотного питания на ранние этапы развития масличных и долгуновских сортов льна культурного.

Ключевые слова: *лен культурный, азотные удобрения, азотфиксирующие микроорганизмы, ранние этапы онтогенеза.*

На сегодняшний день во всем мире постоянно увеличивается спрос на высококачественные продукты питания, а также на сырье для различных отраслей промышленности. Все это, в свою очередь, приводит к необходимости разработки и внедрения научно обоснованных приемов, которые позволят обеспечить не только улучшение плодородия почв, но и приведут к значительному увеличению количества и повышению качества современной сельскохозяйственной продукции.

При рассмотрении влияния агрохимических средств на природную среду первостепенное значение имеет азот. Уровень азотного питания определяет размеры и интенсивность синтеза белка и других азотистых органических соединений в растениях и, следовательно, ростовые процессы [1,2]. Таким образом, актуальным является обоснованный подбор удобрений, обеспечивающих оптимальный уровень азотного питания для растений с минимальной экологической нагрузкой на природные ресурсы.

Растения получают азот из двух основных источников: почвы и атмосферы (посредством азотофиксация) [3]. Почвенные микроорганизмы играют важную роль в трансформации питательных веществ и вносимых в почву удобрений [1].

При описании особенностей системы удобрений льна культурного, как правило, отмечают достаточно высокие требования к концентрации доступных форм питательных веществ в почве в связи с слабым развитием корневой системы относительно других зерновых культур [2-5]. Успешное управление уровнем азота для удобрения культуры является необходимым условием для повышения качества и количества урожая с минимальным воздействием на окружающую среду [3].

Внесение минеральных удобрений – один из самых простых способов повысить уровень содержания азота в почве, но азотные удобрения могут быть опасны с экологической точки зрения из-за возможной их передозировки при внесении, а избыточный азот, в свою очередь, может накапливаться в выращиваемых овощах и фруктах в виде нитратов и нитритов, которые наносят урон здоровью потребителей.

Наряду с использованием различных удобрений, улучшить азотное питание сельскохозяйственных культур способны и ассоциативные азотфиксаторы. Эти микроорганизмы, размещаясь в корневой зоне растений, при благоприятных условиях могут обеспечить до 45% потребности растений в азоте. Примером таких азотфиксаторов являются симбиотические микроорганизмы рода *Rhizobium*, свободноживущие бактерии - азотфиксаторы (*Azotobacter chroococum*, *Azotobacter agile*), ассоциативные азотфиксаторы (рода *Azospirillum*) [6-7].

В представленной работе изучено влияние различных вариантов азотного питания на ранние этапы развития льна культурного. Вегетационные опыты проводили на песчаных культурах при контролируемых условиях освещенности и влажности. Для экспериментов использовали кварцевый песок, химически чистые соли для приготовления питательных растворов Кнопа, а также коммерческое бактериальное удобрение, содержащее

азотфиксирующие микроорганизмы. В экспериментах концентрация азота (NO_3^-) в стандартном растворе Кнопа составила 154 мг/л, а в растворе Кнопа с сульфатом аммония концентрацию азота (NH_4^+) увеличили на 14 мг/л. Семена в песчаной культуре проращивали при температуре $22 \pm 0.5^\circ$. На протяжении 7 дней ежедневно увлажняли верхний слой песка раствором соответствующего удобрения (водой для контрольного опыта).

Результаты экспериментов представлены на рисунке 1.

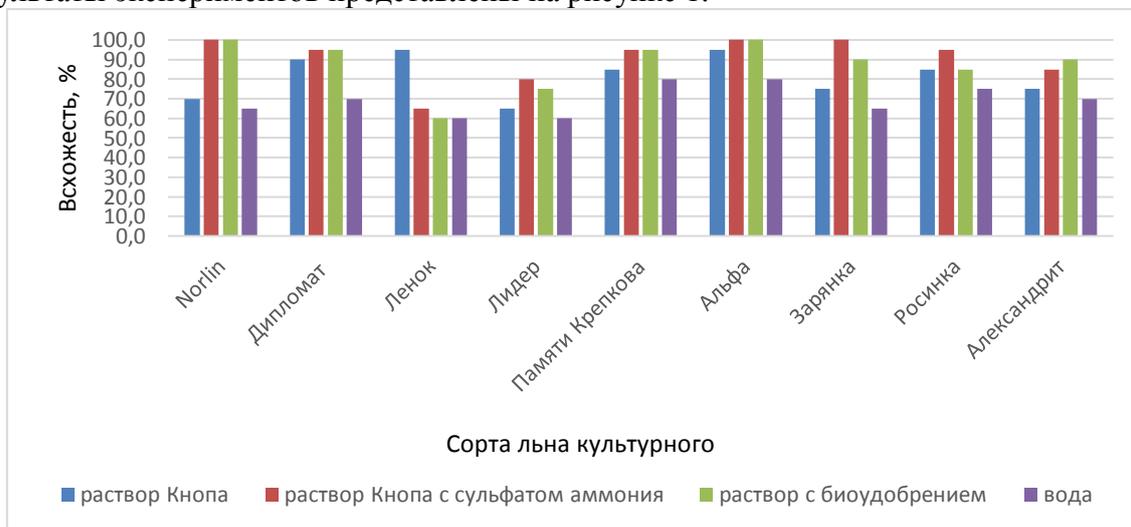


Рис. 1 – Всхожесть сортов льна культурного на песчаной культуре при различных условиях азотного питания

Анализ результатов проведенных экспериментов позволяет сделать вывод о том, что для большинства исследованных сортов льна культурного наибольшая всхожесть получена при использовании раствора Кнопа с сульфатом аммония и биоудобрения, содержащего азотфиксирующие микроорганизмы.

На следующем этапе экспериментов определяли содержание белка в корневой и надземной частях побегов льна культурного. Результаты представлены на рисунках 2-4. Анализ результатов проведенных экспериментов позволяет сделать вывод о том, что для большинства исследованных сортов льна культурного наибольшее накопление белка отмечено в надземной части растения при использовании биоудобрения, содержащего азотфиксирующие микроорганизмы.

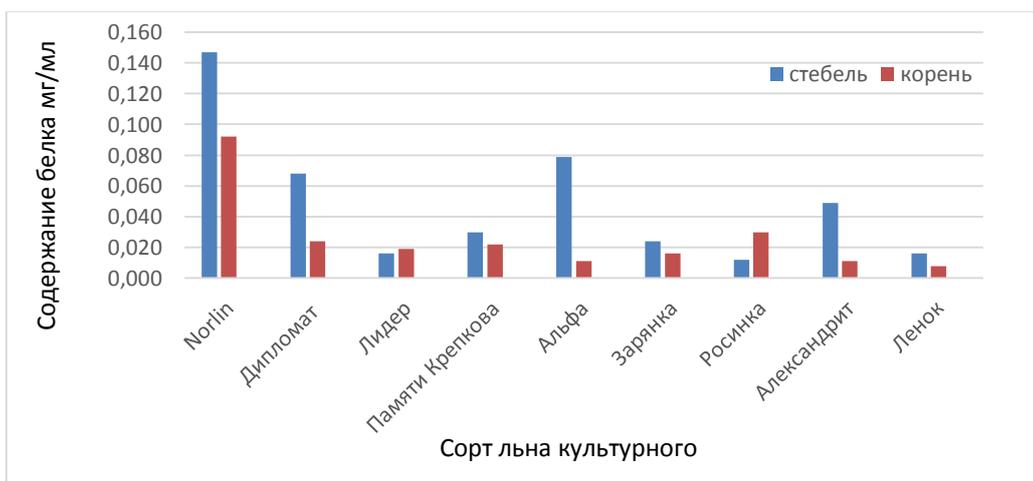


Рис. 2 – Содержание белка в надземной и корневой частях растения (условия азотного питания - раствор Кнопа)

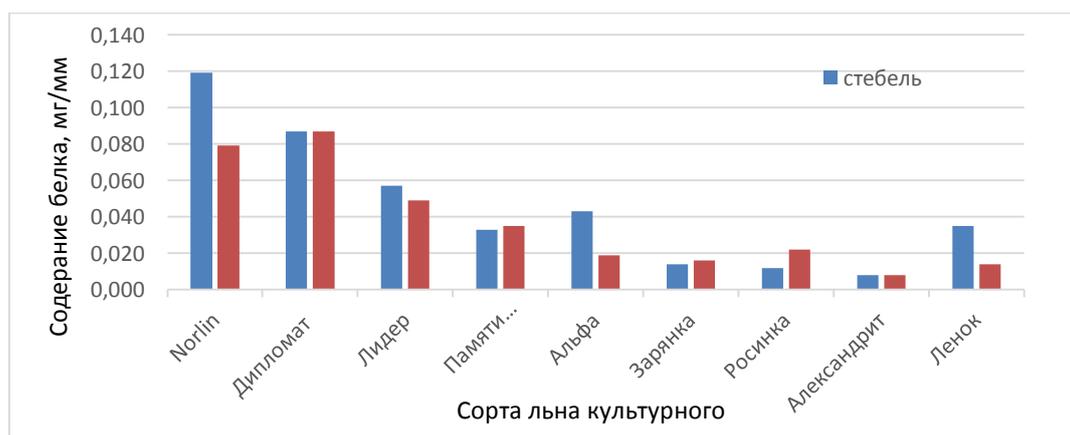


Рис. 3 – Содержание белка в надземной и корневой частях растения (условия азотного питания - раствор Кнопа с сульфатом аммония)

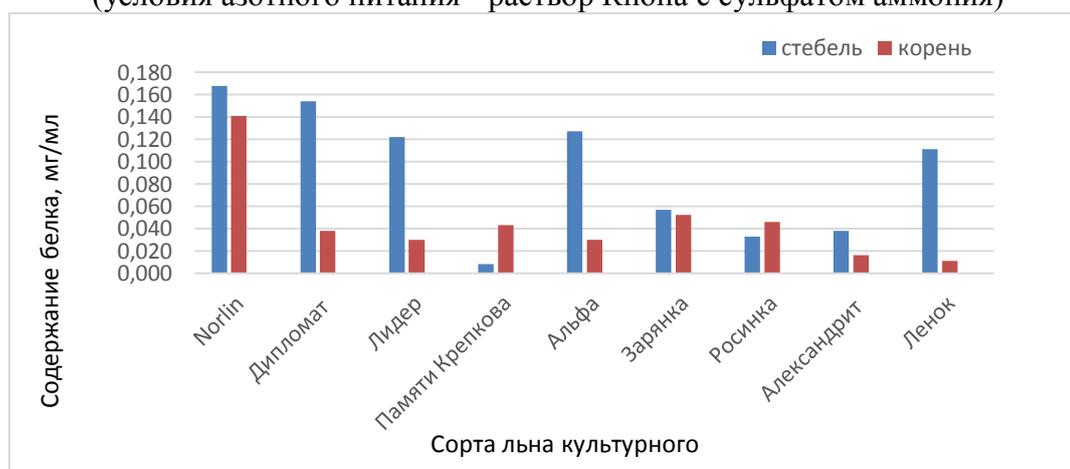


Рис. 4 – Содержание белка в надземной и корневой частях растения (условия азотного питания – биоудобрение)

Таким образом, в работе проведена аллелопатическая оценка семян льна культурного распространенных в Тверской области сортов (Norlin, Дипломат, Ленок, Альфа, Зарянка, Росинка, Памяти Крепкова, Лидер и Александрит). Изучено влияние различных вариантов азотного питания на ранние этапы онтогенеза льна культурного и на накопления белка в надземной и корневой частях *Linum usitatissimum*. Использование компонентов, обеспечивающих контролируемые условия азотного питания, во всех сериях экспериментов положительно влияло на рост растений, однако максимальное накопление белка отмечено при использовании биоудобрения, содержащего азотфиксирующие микроорганизмы.

Список литературы

1. Белоголовцев, В.П. Теория минерального питания: краткий курс лекций для аспирантов/ В.П. Белоголовцев, Е.А. Нарушева// ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2014.-121с.
2. Дридигер, В.К. Лен масленичный на ставрополье/ В. К. Дридигер, А.Н. Есаулко, Г.Р. Дорожко// Ставрополь изд. «Параграф», 2013. - 148 с.
3. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a World of declining renewable resources/ Carroll P. Vance// Plant physiology, 2001. - №127. - p. 390-397
4. Особенности азотного питания новых сортов льна-долгунца для задач точного земледелия /И.В. Ущуповский и др.//Агрехимический вестник. -2015. Т.1. - № 1.- С. 22-24.
5. Stability of bioactives in flaxseed and flaxseed-fortified foods/ Andrea L. Edel// Food Research International, 2015 - p. 140-155
6. Suman, A. Endophytic Microbes in Crops: Diversity and Beneficial Impact for Sustainable Agriculture /A. Suman, A.N. Yadav, P.Verma // Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity. – 2016. – pp.117-143
7. Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture/ Gabriele Berg// Appl Microbiol Biotechnol, 2009 - p. 11-18

02.00.15

**Б.Б. Тихонов к.х.н., А.И. Сидоров к.х.н., П.Ю. Стадольникова,
О.В. Гребенникова, Н.В. Лакина к.х.н.**

Тверской государственный технический университет,
Тверь, science@science.tver.ru

ОКИСЛЕНИЕ ХЛОРФЕНОЛОВ БИФЕРМЕНТНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ОКСИДОРЕДУКТАЗ

В работе изучены свойства ферментативных систем на основе 2 ферментов класса оксидоредуктаз (пероксидазы хрена и глюкозооксидазы) в реакции окисления хлорфенолов (4-хлорфенола и 2,4-дихлорфенола). Процесс основан на окислении глюкозооксидазой β -D-глюкозы в присутствии кислорода до β -D-глюконо- δ -лактона и H_2O_2 и использовании последней для окисления хлорфенольного субстрата. Исследована возможность использования для окисления хлорфенолов ковалентно иммобилизованной биферментной системы.

Ключевые слова: пероксидаза хрена, глюкозооксидаза, биферментная система, глюкоза, хлорфенолы, иммобилизация.

Необходимость разработки новых эффективных методов удаления хлорфенолов из питьевой воды обусловлена прежде всего их высокой токсичностью, которая связана прежде всего с их кумулятивными и канцерогенными свойствами, а также способностью образовывать комплексные соединения с гемоглобином крови [1, 2]. Однако главная опасность хлорфенолов в том, что при взаимодействии двух молекул хлорфенолов могут образовываться еще более токсичные загрязнители - полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны, ПДК которых в 100 раз меньше, чем у хлорфенолов [3]. Однако, несмотря на высокую заинтересованность в поисках новых методов утилизации хлорфенолов, до сих пор не найден универсальный подход, позволяющий либо полностью удалить их из воды, либо перевести в нетоксичные соединения [4]. Как было показано в проведенных ранее исследованиях, перспективным является использование биферментных катализаторов на основе иммобилизованных пероксидазы и глюкозооксидазы для окисления фенольных субстратов [5]. Пероксидаза хрена (ЕС 1.11.1.7) – гем-содержащий фермент, катализирующий окисление органических соединений в присутствии перекиси водорода [6]. Глюкозооксидаза (ЕС 1.1.3.4) – флавопротеин, катализирующий окисление β -D-глюкозы до δ -глюконо-1,5-лактона [7].

Целью данного исследования было изучение возможности использования мультиферментных систем на основе пероксидазы хрена и глюкозооксидазы в переработке хлорфенолов.

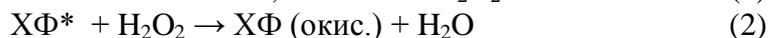
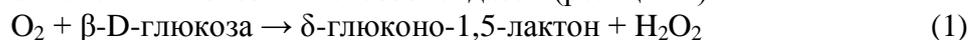
Методы и методики

Реактивы

В работе использовали следующие реактивы и материалы (в скобках – условное обозначение). Пероксидаза хрена (HRP) была получена из сердцевины корня хрена обыкновенного (*Armoracia rusticana*). Источником глюкозооксидазы (GOx) был препарат Multifect® GO 1500L (Genencor, A Danisco Division). Субстраты для исследования кинетики: 4-хлорфенол (Acros Organics); 2,4-дихлорфенол (Acros Organics); 4-аминоантипирин (Sigma Aldrich); глюкоза ($C_6H_{12}O_6$; Fluka); стандартные буферные растворы с pH = 1,65; 4,01; 9,18; 12,43 (ЗАО «Уралхиминвест»); фосфатные буферные растворы на основе KH_2PO_4 и NaOH (pH=6,0 и pH=7,0); перекись водорода (ООО «Росбио», 3%-ый раствор). Для иммобилизации HRP и GOx в качестве носителя использовались ионообменные смолы КУ 2-8 (ГОСТ 20298-74, размер зерен – 0.315 – 1.25 мм) и Amberlite (H^+ -форма; 50-100 mesh; Fluka); модификатором являлся хитозан кислоторастворимый (Fluka); активирующий агент - глутаровый диальдегид ($C_5H_8O_2$; Acros organics; 25%-ый раствор).

Схема процесса

В качестве субстрата использовались 4-хлорфенол и 2,4-дихлорфенол, образующий в присутствии 4-аминоантипирина и пероксидазы хрена окрашенные продукты, регистрируемые при длине волны 506 нм (реакция 2). При этом в качестве источника перекиси водорода использовалась реакция окисления глюкозы глюкозооксидазой (реакция 1):



*- хлорфенольный субстрат (4-хлорфенол или 2,4-дихлорфенол)

Получение пероксидазы из корня хрена

Пероксидаза хрена (HRP) была получена по известной методике из сердцевинки корня хрена обыкновенного (*Armoracia rusticana*) [8].

Методика иммобилизации

Совместная иммобилизация глюкозооксидазы и пероксидазы проводилась на полимерных носителях - ионообменных смолах КУ-2-8 и Amberlite 200. Для иммобилизации на носитель последовательно наносились хитозан, глутаровый диальдегид и биферментная система (HRP, GOx).

Методика проведения кинетических экспериментов

Реакции с нативными ферментами проводились в кювете спектрофотометра СФ-2000 (ОКБ «Спектр»). Ход реакции наблюдался по увеличению оптической плотности реакционной смеси при $\lambda = 506$ нм (раствор сравнения – вода). Для изучения влияния рН на активность биферментной системы для приготовления раствора глюкозы использовались буферные растворы с различными значениями рН (1,68; 4,01; 6,0; 7,0; 9,18; 12,43). Изучение влияния температуры и активности иммобилизованной биферментной системы проводилось в термостатируемом реакторе. Первичные экспериментальные данные – зависимость оптической плотности реакционной смеси от времени, пересчитывались в зависимость концентрации субстрата от времени по молярным коэффициентам поглощения согласно закону Бугера-Ламберта-Бера [9]. Константа Михаэлиса (K_M) и предельная скорость реакции окисления (V_m) определялись методом двойных обратных координат по начальной скорости реакции (V_0) при варьировании начальных концентраций хлорфенольного субстрата (C_0) [10].

Результаты и обсуждение

Результаты, полученные в ходе варьирования начальных концентраций 4-хлорфенола (ХФ1) и 2,4-дихлорфенола (ХФ2) в системе HRP-GOx-ХФ-глюкоза, сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты варьирования начальных концентраций 4-хлорфенола и 2,4-дихлорфенола

Система	$V_m \cdot 10^3$, ммоль/л·с	K_M , ммоль/л
HRP-ХФ1- H ₂ O ₂	1,43	0,52
HRP-GOx-ХФ1-глюкоза	0,78	0,84
HRP-ХФ2- H ₂ O ₂	1,65	0,61
HRP-GOx-ХФ2-глюкоза	0,65	0,81

Снижение кинетических параметров системы «HRP-GOx-ХФ-глюкоза» по сравнению с системой «HRP-ХФ- H₂O₂» связано прежде всего с недостатком образующейся в реакции окисления глюкозы H₂O₂. Однако использование глюкозы в качестве источника перекиси делает систему более технологичной.

Также было выявлено, что оптимальное значение рН для системы HRP-GOx-ХФ-глюкоза – рН=7,0 (для обоих хлорфенольных субстратов).

Результаты температурных экспериментов приведены показали, что оптимальной для проведения ферментативной реакции является температура 25 °С.

Результаты исследования активности иммобилизованной биферментной системы в реакциях окисления хлорфенолов приведены табл. 2.

Таблица 2 – Результаты исследования активности иммобилизованной биферментной системы

Система	Субстрат	$V_m \cdot 10^3$, ммоль/л·с	K_M , ммоль/л
КУ 2-8-хитозан-глутаровый диальдегид-HRP-GOx	ХФ1	0,56	1,97
	ХФ2	0,47	2,04
Amberlite200-хитозан-глутаровый диальдегид-HRP-GOx	ХФ1	0,74	1,32
	ХФ2	0,63	1,14

Как видно из таблицы, ковалентно иммобилизованная биферментная система HRP-GOx проявляет немного меньшую активность, чем гомогенная система, однако эта разница нивелируется возможностью многократного использования иммобилизованной системы (при этом активность системы с Amberlite 200 несколько выше).

Были проведены эксперименты по многократному использованию ковалентно иммобилизованной биферментной системы HRP-GOx в последовательных реакциях, которые показали, что активность системы снижается с каждым последующим циклом не более чем на 5-7 %, что дает возможность эффективно использовать ее 7-8 раз до полной потери активности.

Выводы

Таким образом, в ходе экспериментов были исследованы свойства биферментной системы на основе пероксидазы хрена и глюкозооксидазы в реакциях окисления хлорфенолов (4-хлорфенола и 2,4-дихлорфенола). Доказана высокая активность и стабильность ковалентно-иммобилизованной на ионообменных смолах биферментной системы в реакциях окисления хлорфенолов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 15-08-00535 и 14.08-01218).

Список литературы

1. Белоусова М.Я., Авгуль Т.В., Сафронова Н.С. Основные свойства нормируемых в водах органических соединений. М.: Наука, 1987. 104 с.
2. Козубова Л.И., Морозов С.В. Органические загрязнители питьевой воды: Аналит. обзор. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1993. Вып. 26. 167 с.
3. Федоров Л.А., Мясоедов Б.Ф. Диоксины: химико-аналитические аспекты проблемы // Усп. химии, 1990. Т. 59. № 11. С. 1818-1866.
4. Toxicological profile for chlorophenols // U.S. Department of health and human services. Public Health Service. 1999. 260 P.
5. Тихонов Б.Б., Сидоров А.И., Стадольникова П.Ю., Матвеева О.В., Лакина Н.В. Исследование свойств мультиферментных систем на основе пероксидазы хрена и глюкозооксидазы // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. - №5. – с. 85-87.
6. Veitch N.C. Horseradish peroxidase: a modern view of a classic enzyme // Phytochemistry. – 2004. – Vol. 65. – P. 249–259.
7. Glucose oxidase — An overview / S.B. Bankar, M.V. Bule, R.S. Singhal, L. Ananthanarayan // Biotechnology Advances. - 2009. - № 27. - P. 489–501.
8. Тихонов Б.Б., Сидоров А.И., Сульман Э.М. Биокатализатор для очистки сточных вод от фенолов на основе пероксидазы хрена, иммобилизованной на модифицированных хитозаном ионообменных смолах // Катализ в промышленности. – 2007. - № 3 - с. 48-50.
9. Варфоломеев, С.Д. Химическая энзимология / С.Д. Варфоломеев. - М.: «Академия», 2005. — 480 с.
10. Биотехнология: Учеб.пособие для вузов. В 8 кн. Кн. 7: Иммобилизованные ферменты / И.В. Березин, Н.Л. Клячко, А.В. Левашов и др. – М.: Высш. шк., 1987. – 159 с.

02.00.01

В.В. Хасанов, Т.А. Борукаев, Т.А. Кипшиева, Д.М. Фотова, М.А. Кагермазова

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

СИНТЕЗ ДЫМОПОДАВЛЯЮЩИХ ПРИСАДОК НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МОЛИБДАТОВ К ПВХ-ПЛАСТИКАТУ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ АНТИДЫМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Разработан перспективный способ получения октамолибдата аммония с количественным выходом. Обнаружено, что октамолибдат аммония эффективно снижает количество выделяющегося дыма при горении ПВХ-пластиката. Показано, что механизм подавления дыма октамолибдатом аммония заключается в окислении сажевых частиц с образованием карбонильных соединений.

Ключевые слова: *октамолибдат аммония, получение, ПВХ-пластикат, дымоподавление.*

Поливинилхлорид (ПВХ) является одним из базовых промышленных полимеров на основе которого получают огромное количество пластифицированных материалов, используемых практически во всех отраслях химической промышленности. Одним из направлений его использования является кабельная промышленность, где он находит применение в качестве эффективного изоляционного материала [1]. В отсутствие огнеопасных ингредиентов, таких как горючие пластификаторы, ПВХ с предельным кислородным индексом около 37 не воспламеняется на воздухе при обычных условиях [2]. Так как в кабельных пластикатах используют пластификаторы, последние становятся горючими и при горении образуется значительное количество дыма, которое оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

Требования к огнестойкости кабельной продукции повышается изо дня в день, а потому проблема получения полимерных кабельных материалов с высокими эксплуатационными свойствами является актуальной и востребованной различными отраслями химической промышленности.

В связи с этим исследователи и разработчики занимаются поиском эффективных подавителей дыма [3]. В частности, достаточно перспективными и эффективными могут быть неорганические полимолибдаты [4,5]. При этом используется присущее молибдатам свойство способствовать процессу обугливания. Поэтому разработка новых методов синтеза эффективных дымоподавляющих присадок к ПВХ-пластикатам является актуальной и приоритетной задачей.

В настоящей работе в качестве дымоподавляющей присадки использовали октамолибдат аммония (ОМА), полученная нами по разработанной методике с количественным выходом. В частности, приготовленный и очищенный от примесей соответствующим образом гептамолибдат аммония (ГМА) растворяли в дистиллированной воде и нагревали раствор до температуры 90-95 °С. В подготовленный таким образом раствор вливали суспензию $\text{MoO}_3 \times n\text{H}_2\text{O}$ также подогретую до температуры 80-95 °С. Поддерживая вышеуказанную температуру, реакционную смесь перемешивали в течение 3 – 5 ч, пока весь триоксид молибдена не растворится. Схему реакции можно представить следующим образом:



Образовавшийся раствор упаривали до объема 300 – 400 мл с ротационного испарителя. Затем раствор оставляли при комнатной температуре несколько дней, после этого выпавшие белые кристаллы ОМА отфильтровывали, промывали небольшим количеством воды и сушили на воздухе.

В качестве исходной полимерной матрицы использовали ПВХ-пластикат марки И40-13А. Синтезированный ОМА в ПВХ-пластикат вводили диспергированием ее на стадии горячего

смешения (смеситель DIOSNAD-49074 Германия) основных компонентов при получении пластиката. Затем смесь экструдировали с помощью двухшнекового экструдера с диаметром шнека 20 мм при температуре 140 - 165 °С. Количество соли составляло 10 масс.%. Затем экструдаты гранулировали и использовали для изготовления соответствующих образцов для испытаний. Для определения количества выделяющейся теплоты и образующегося при горении пластикатов удельного объема дыма проводились исследования на кон-калориметре (производство Италия) по ISO 5660-1:2002. Образцы компаундов (пластины размером 150×150×2,0 мм) на основе исходного ПВХ-пластиката марки И40-13А и модифицированного 10 масс.% ОМА подвергались воздействию теплового потока мощностью 35 кВт/м².

Пламя находилось на расстоянии 6,4 мм от образца.

Для определения влияния ОМА на устойчивость к горению ПВХ-пластиката был проведен расчет скорости тепловыделения, с использованием кон-калориметрического анализа. Результаты исследований приведены на рис. 1 и 2. Из рисунков видно, что введение ОМА в ПВХ пластикат приводит к значительному изменению процесса горения материала. В частности, из рисунка 1 видно, что в начальный момент процесса горения образцов скорость тепловыделения практически одинакова. Однако затем скорость тепловыделения для ПВХ пластиката, содержащего ОМА значительно снижается. Такое поведение ПВХ пластиката с ОМА объясняется тем, что в начальной стадии горения материала на его поверхности образуется эффективный коксовый слой, который и определяет характер горения.

Важно отметить, что при горении образцов общее количество выделяющегося тепла для ПВХ-пластиката, содержащего ОМА значительно ниже, чем для стандартного пластиката. Такое эффективное понижение тепловыделения, очевидно связано с тем, что ОМА работая в большей степени в твердой фазе пластиката, катализирует процессы, образующие структурные фрагменты транс-полимера, коксование и обугливание. Образующаяся коксовая корка достаточно устойчива к растрескиванию. Этому свидетельствует наличие единственного пика на кривой скорости тепловыделения для пластиката с ОМА (рис. 1)

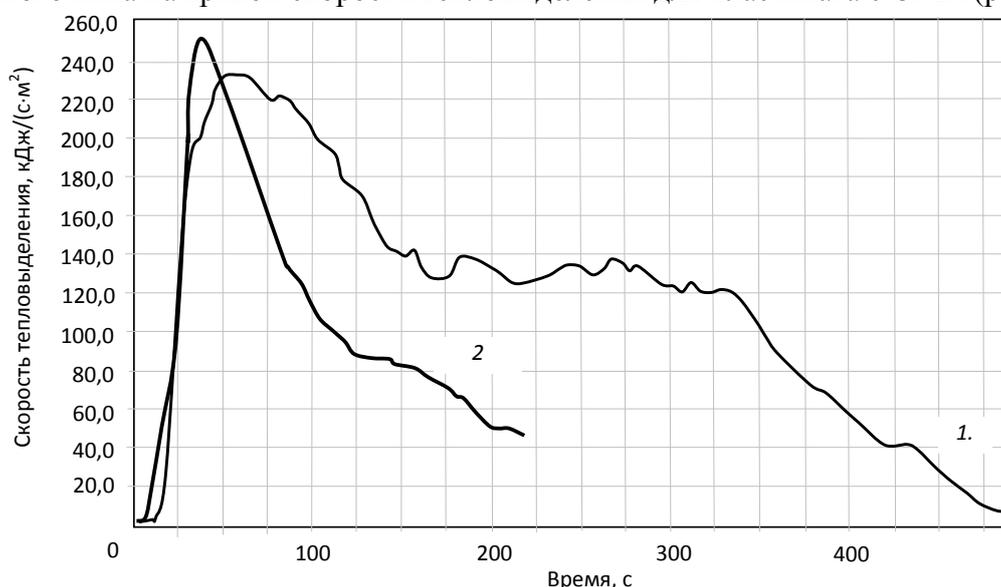


Рис. 1. Зависимость скорости тепловыделения от времени сгорания образцов:
1 – ПВХ пластикат марки И40-13А; 2 – ПВХ пластикат + 10% ОМА.

Такая устойчивая корка будет эффективно препятствовать процессу тепловыделения, а также сделает невозможным образование ароматических элементов, характерных для дыма. В результате при равных условиях горения двух пластикатов, исходный образец, в отличие от пластиката содержащего ОМА, будет способствовать дальнейшему распространению зоны горения. Следует отметить, что о снижении дыма говорят и результаты оценки количества образующегося дыма при горении стандартного ПВХ-пластиката с ОМА (рис. 2).

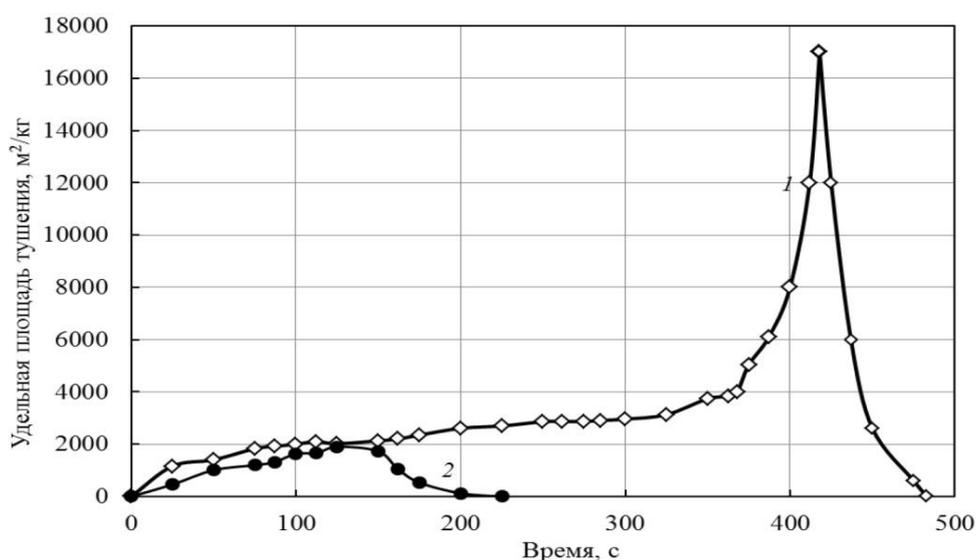
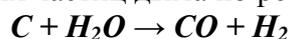


Рис. 2. Зависимость скорости дымовыделения от времени сгорания образцов: 1 – ПВХ пластикат марки И40-13А; 2 – ПВХ пластикат + 10% ОМА

Как видно из рис. 2, количество образующегося дыма при горении пластика, содержащего ОМА значительно ниже, чем при горении стандартного ПВХ-пластиката. Такое снижение количества выделяющегося дыма при горении ПВХ-пластиката, содержащего ОМА подтверждает эффективность использования ОМА. В частности, снижение дыма можно объяснить тем, что водосодержащий наполнитель ОМА понижает дымообразование, промотируя окисление горячих частиц сажи, которые образуются при разложении материала в зоне его горения, т.е. ОМА эффективно проявляет свои возможности в устранении углеродных частиц дыма по реакции:



При этом окислительные процессы, очевидно, идут через металлкарбонильные промежуточные соединения и катализируются соединениями металлов, образующих карбонилы и именно для этого используют молибден в форме ОМА, который реагирует при нужных температурах. В свою очередь введение ОМА в ПВХ пластикат позволяет снизить температуру дымовыделения на 15 – 20° С, в сравнении со стандартным материалом.

Таким образом, предложена перспективная технология получения октамолибдата аммония с использованием в качестве исходных веществ доступных материалов. Показано, что октамолибдат аммония эффективно снижает количество выделяющегося тепла и дыма при горении ПВХ-пластиката.

Список литературы

- 1.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chemkor.-plast.ru/stati/item/obzor-gynka.html>.
2. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ./ Под ред. Гроссмана Р.Ф. Пер. с англ. Под ред. Гузеева В.В. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 614 с.
3. Николаев В.Г., Китайгора Е.А. и др. К вопросу создания ПВХ пластикатов с пониженной пожарной опасностью и кабелей на их основе// Первая Межд. конф. по полимерным материалам пониженной горючести. – 1990, – Т.2.- С.135].
- 4.Хасанов В.В. Ферритообразование в растворах-расплавах, содержащих оксиды молибдена (VI), висмута, бария, бора и железа(III): Автореферат дисс. ... канд.хим. наук. Москва. 1990.- С 23
5. Хасанов В.В., Витинг Л.М., Мотылькова С.М. Растворяющая способность и физические свойства расплавов полимолибдатов калия// Вестн. Моск. Ун-та. Сер.2 Химия т. 30. 1989. С 316.

02.00.15

Е.А. Холкина¹, Л.Ж. Никошвили¹ к.х.н., А.С. Морозов², И.В. Бессонов²,
Э.М. Сульман¹ д.х.н., L. Kiwi-Minsker³ к.х.н.

¹Тверской технический университет, химико-технологический факультет,
кафедра биотехнологии и химии, Тверь, nlinda@science.tver.ru

²Межотраслевой инжиниринговый центр "Композиционные материалы" МГТУ
им. Н.Э. Баумана (МИЦ КМ), Москва

³Тверской государственный университет, Региональный технологический центр, Тверь

ПРИМЕНЕНИЕ ПАЛЛАДИЙ-СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИНОВ В СЕЛЕКТИВНОМ ГИДРИРОВАНИИ 2-МЕТИЛ-3-БУТИН-2-ОЛА

В основе ряда синтезов биологически-активных веществ и душистых соединений лежат реакции селективного каталитического гидрирования. Pd-содержащие полимерные материалы могут служить альтернативой катализаторам на основе традиционных носителей. В рамках данной работы синтезирован ряд Pd-содержащих катализаторов на основе полиамина при варьировании природы прекурсора палладия. Показано, что оптимальным прекурсором является ацетат Pd, достигается селективность 98.5% при 100% конверсии субстрата, а также высокая активность в гидрировании 2-метил-3-бутин-2-ола.

Ключевые слова: палладий, полиамины, селективное гидрирование, 2-метил-3-бутин-2-ол.

Введение

Каталитическое гидрирование тройной углеродной $-C\equiv C-$ связи алкинолов является одной из основных стадий при производстве синтетических душистых веществ и жирорастворимых витаминов А, Е и К [1]. Традиционным промышленным катализатором гидрирования алкинолов является катализатор Линдляра ($Pd/CaCO_3$), модифицированный ацетатом свинца и хинолином [2], позволяющий достигать 95% селективности по олефиновому спирту при полной конверсии субстрата. Однако применение указанных модификаторов приводит к загрязнению целевых продуктов и экологически небезопасно.

Использование полимеров в качестве носителей при создании палладий-содержащих катализаторов позволяет избежать необходимости использования модификаторов за счет повышения селективности по целевым продуктам.

Необходимо отметить, что природа полимерной матрицы носителя способна оказывать многостороннее влияние на реакционную способность катализаторов, что неоднократно наблюдалось в различных типах реакций, в том числе в гидрировании тройной углеродной связи [3, 4]. Так, использование полимеров с дополнительными функциональными группами способствует повышению дисперсности металлов-катализаторов, облегчает диффузию реагентов в порах полимера, а также взаимодействие реагентов с наночастицами металлов [5]. Наличие аминогрупп, способных связываться с соединениями металлов VIII группы посредством комплексообразования, делает азот-содержащие полимерные матрицы одними из наиболее перспективных носителей. Важно отметить, что присутствие аминогрупп в составе носителя препятствует полному восстановлению частиц Pd^{2+} до Pd^0 за счет координационного взаимодействия с катионами палладия. Аминогруппы могут также способствовать равномерному распределению наночастиц Pd в металлоорганической матрице [6].

Методика эксперимента

В рамках данной работы проведено исследование каталитических свойств Pd-содержащих полимерных систем на основе полиамина МЗЗС, характеризующегося гидрофильностью и наличием свободных аминогрупп. Катализаторы были приготовлены методом импрегнации при варьировании природы прекурсора активного металла ($Pd(CH_3COO)_2$, $PdCl_2(CH_3CN)_2$, $PdCl_2$).

Исходные полимер, а также катализаторы, синтезированные на его основе, были охарактеризованы с использованием следующих методов анализа: низкотемпературная адсорбция азота, ИК-Фурье спектроскопия, рентгенофлуоресцентный анализ (РФА), растровая электронная микроскопия (РЭМ).

Свойства синтезированных каталитических систем были изучены в реакции селективного гидрирования тройной связи (Рис. 1) 2-метил-3-бутин-2-ола (МБИ).

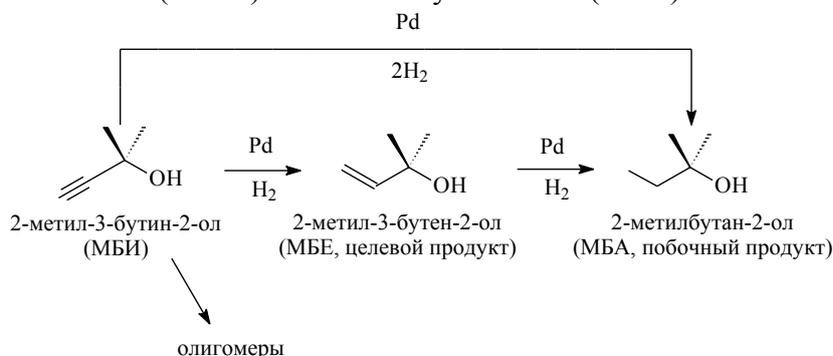


Рис. 1 – Схема селективного гидрирования МБИ

Реакция проводилась при температуре 65°C в термостатируемом стеклянном реакторе при атмосферном давлении водорода с использованием этанола в качестве растворителя. Все катализаторы перед началом тестирования подвергались обработке водородом в течение 60 мин в условиях реакции. Катализат анализировали методом газовой хромато-масс-спектрометрии (Shimadzu GCMS-QP2010S).

Результаты и выводы

Анализ полиамина М33С методом низкотемпературной адсорбции азота показал наличие преимущественно мезо- и макропор при этом удельная площадь поверхности составила 23 м²/г (по модели t-график). Несмотря на столь незначительную площадь поверхности, стоит отметить способность М33С к набуханию в полярных растворителях, что облегчает синтез катализаторов и обеспечивает доступ реагентов к активным центрам.

Методом ИК-Фурье спектроскопии было показано, что в составе М33С присутствуют полосы поглощения типичные для замещенных алканов, содержащих аминогруппы. Важно отметить, что структура полимера сохраняется в процессе синтеза катализаторов, а также в ходе каталитического тестирования в гидрировании МБИ.

На Рис. 2, в качестве примера, представлена РЭМ микрофотография катализатора 2%-Pd/М33С (PdCl₂).

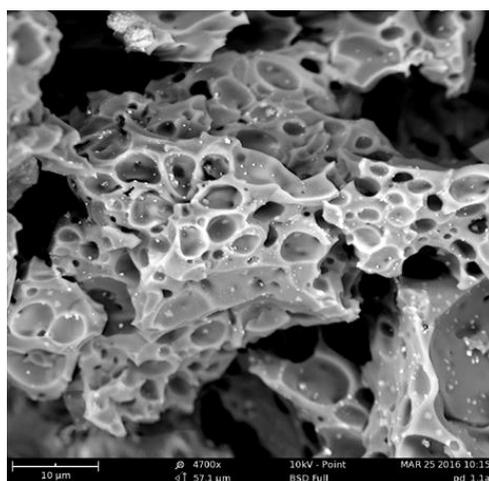


Рис. 2 – РЭМ микрофотография образца 2%-Pd/М33С (PdCl₂)

Из представленной микрофотографии видно, что катализатор 2%-Pd/М33С (PdCl₂) имеет пористую структуру, а активный металл присутствует на поверхности полимера в виде малых частиц Pd, а также в виде PdCl₂. При этом морфология представленного катализатора аналогична исходному М33С. Таким образом, можно предположить, что нанесение Pd не вызывает изменения морфологии полиамина.

По результатам тестирования (Рис. 3, таблица 1) было установлено, что наилучшие результаты достигаются при использовании ацетата палладия в качестве прекурсора. Данный факт можно объяснить способностью ацетата палладия координироваться с аминогруппами полимера.

Таблица 1 – Влияние типа прекурсора Pd на поведение катализаторов серии 2%-Pd/МЗЗС в реакции гидрирования МБИ до МБЕ

Прекурсор	Содержание Pd, (масс.)% (по данным РФА)	Селективность по МБЕ, % (при 90% конверсии МБИ)	Приведенная скорость гидрирования, моль(МБИ)/(мольPd · с)*
PdCl ₂	1.99	96.2	0.17
PdCl ₂ (CH ₃ CN) ₂	1.89	98.7	0.57
Pd(CH ₃ COO) ₂	1.88	98.9	0.87

*рассчитана на момент времени, соответствующий 50% конверсии МБИ

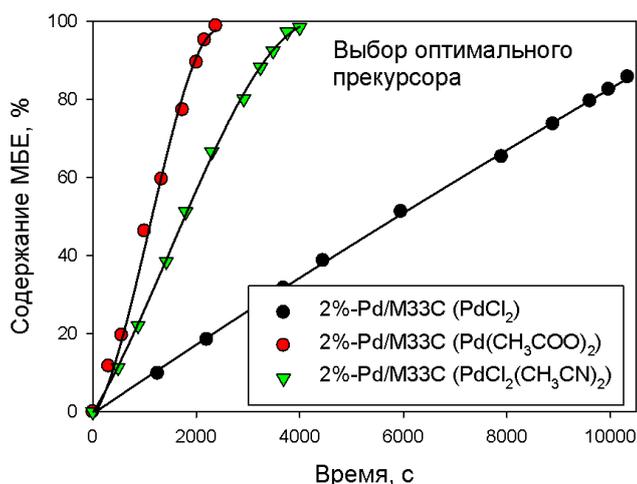


Рис. 3 – Влияние типа прекурсора Pd на активность катализаторов 2%-Pd/МЗЗС

С использованием катализатора 2%-Pd/МЗЗС (Pd(CH₃COO)₂) достигается селективность 98.5% при 100% конверсии МБИ. Таким образом, катализаторы на основе полиаминов могут быть рекомендованы для дальнейшего исследования с целью возможного промышленного использования в реакциях тонкого органического синтеза.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 15-19-20023).

Список литературы

1. Bonrath, W. Catalysis in the industrial preparation of vitamins and nutraceuticals / W. Bonrath, M. Eggersdorfer, T. Netscher // Catalysis Today. – 2007. – Vol.121. – P.45-57.
2. BASF NanoSelect™ Technology: Innovative Supported Pd- and Pt-based Catalysts for Selective Hydrogenation Reactionst / P.T. Witte [et al.] // Topics in Catalysis. – 2012. – Vol.55. – P.505-511.
4. Corain, B. Dispersing metal nanoclusters inside functional synthetic resins: scope and catalytic prospects / B. Corain, M. Kralik // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. – 2000. – Vol.159. – P.153-162.
5. Наноразмерные катализаторы в тонком органическом синтезе – основа для разработки инновационных технологий в фармацевтической отрасли / П. М. Валецкий [и др.]. // Российские нанотехнологии. – 2009 – № 9-10. – С.94-108.
6. Dabbawala, A.A. Selective hydrogenation of D-glucose using amine functionalized nanoporous polymer supported Ru nanoparticles based catalyst / A.A. Dabbawala, D.K Mishra, J.S. Hwang // Catalysis Today. – 2016. – Vol.265. – P.163-173.
7. Новые катализаторы селективного гидрирования С≡С-связи на основе наночастиц Pd, иммобилизованных в фениленкарбоксилатных каркасах (NH₂)-MIL-53(Al) / А.Ю Стахеев. [и др.] // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2016. – Т.2. – С.284-290

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (05.02.00)

05.02.00

Г.А. Александров д.э.н., А.Л. Яблонев д.т.н.

Тверской государственной технической университет,
кафедры экономики и управления производством и торфяных машин и оборудования,
Тверь, g-alexandrov@rambler.ru, alvovich@mail.ru

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ВОЗМОЖНОСТЬ РАЗВИТИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ ТОРФЯНОЙ ОТРАСЛИ

В работе представлены результаты изучения материально-технической базы торфяной отрасли. Проанализированы факторы, обеспечивающие необходимость и возможность ее развития. Приведены конкретные примеры эффективного хозяйствования в России.

Ключевые слова: *торф, сжигание, котлы, торфяная техника.*

Старые методы сжигания торфа, применявшиеся в России с 40-х по 90-е годы, и закрепившие в сознание людей отношение к торфу, как к грязному, низкокалорийному топливу – в далеком прошлом. Появились современные и эффективные технологии, что подтверждает опыт многих стран: Финляндии, Ирландии, Канады, и др. Устройства для сжигания, такие как BFB («кипящий слой») или BioGrate («качающиеся колосники»), имеют КПД по топливу порядка 90%, эффективно сжигают даже влажное топливо, автоматизированы. Следует отметить, что еще на VIII Международном конгрессе по торфу (в 1988 году) ирландскими учеными были представлены котлы с вибрирующей колосниковой решеткой [1].

Региональной биоэнергетической компанией «Владимир» освоен выпуск котельного оборудования для сжигания торфа и топлива на его основе, не уступающего по качеству и характеристикам зарубежным аналогам. При этом стоимость оборудования на единицу мощности значительно ниже зарубежных аналогов, а, следовательно, и срок окупаемости – более низкий [2]. Ковровским заводом котельно-топочного оборудования налажен выпуск котлов с автоматизированной подачей и вихревым сжиганием топлива при температуре 950-1000С° для обеспечения тепловой энергией муниципальных и частных котельных мощностью 500-10000 кВт. Котлы работают на фрезерном и кусковом торфе, отходах деревообработки и животноводства [3]. За период с 2001 года запущено котлов суммарной мощностью более чем на 600 МВт в 58 регионах. Для сравнения эффективности работы ковровских котлов, производители приводят следующие данные (табл. 1) [4].

Таблица 1 – Сравнительная эффективность ковровских котлов

Вид топлива	Теплотворная способность, кКл/кг	Цена за тонну, руб	КПД, %	Стоимость топливной составляющей 1 ГКл, руб
Бурый уголь	3100	4000	60	774
Каменный уголь	6500	8000	60	738
Природный газ	8000	3600	92	414
Торфяной брикет	4000	3300	85	700
Опилки (влажность 45%)	1900	0-200	85	89

Таким образом, развитие технологий сжигания на сегодняшний день, безусловно, способствует росту потребности в топливном торфе.

Что касается предприятий торфодобывающей промышленности, то большинство из них прекратило свою деятельность. Такая ситуация характерна для Тверской, Ярославской, Вологодской и Смоленской областей. Московская область в десятки раз снизила объемы

добычи. Совершенно иные результаты хозяйствования в Кировской области. Там удалось сохранить созданную инфраструктуру торфодобычи. Стратегией социально-экономического развития Кировской области на период до 2020 года торфяная отрасль отнесена к отраслям опережающего роста, что подчеркивает важность ее развития для социально-экономического состояния региона. На территории региона действует крупнейшее предприятие, осуществляющее добычу торфа в промышленных масштабах (600 тыс. тонн в год) – ЗАО «ВяткаТорф», собственник которого – ЗАО «Комплексные энергетические системы» (налицо не виртуальная, а материальная производственно-экономическая связь торфяников и энергетиков!). В области в 2010 году добывалось более 50% объема от добытого в стране торфа. В настоящее время производственный потенциал компании позволяет осуществлять добычу порядка 730 тыс. тонн торфа в год. Показатели работы предприятия представлены в таблице 2 [5].

Таблица 2 – Показатели производства торфа ЗАО «Вятка-торф»

Годы	Объем добычи торфа натуральной влажности, тыс. т	Прирост добычи торфа (к уровню предыдущего года), %	Объем поставки торфа натуральной влажности, тыс. т	Прирост поставки торфа (к уровню предыдущего года), %
2008	628,0	–	535,9	–
2009	719,8	14,6	654,5	22,1
2010	808,4	12,3	754,7	15,3

Можно было бы привести примеры и других предприятий добившихся некоторых успехов в добыче торфа. Но они пока ещё так и остаются отдельными примерами и не носят массового характера.

Сегодня в России торф добывают в основном фрезерным способом. Применяется скреперно-бункерный комплекс машин ещё времён советского производства и современные машины раздельного метода уборки. На некоторых предприятиях используется полный набор иностранной техники: тракторы, добывающие, подготовительные машины.

Кроме фрезерного способа применяются и другие, получившие распространение в России и за рубежом: кусковой и экскаваторный.

На торфяных предприятиях Финляндии производят добычу фрезерного торфа методом раздельной уборки (более 80% объема), прицепными механическими и пневматическими бункерными машинами, и кускового торфа фрезформовочным методом. В Ирландии фрезерный торф добывают перевалочным методом, а кусковой – фрезформовочным и методом стилки. Развито также производство резного торфа. Основная потребность в торфе – у «большой» энергетики. Кроме того, выпускаются торфяные брикеты для коммунально-бытового хозяйства. В Канаде фрезерный торф добывается в основном производимыми там пневматическими бункерными прицепными и самоходными машинами [6].

В Беларуси распространены все перечисленные виды промышленной добычи торфа. Отрадно, что здесь существует и интенсивно развивается свое торфяное машиностроение, охватывающее практически всю линейку необходимых для производства машин. Несомненно, что создавая и поддерживая его, белорусские производители пользовались всеми заделами, оставшимися от советского периода, и внесли много нового. На добыче торфа широко применяются колесные тракторы производства Минского тракторного завода. Сохранение и приумножение торфодобывающих предприятий, и отсутствие в экономике страны «газовой» составляющей позволил Беларуси занять третье место в мире по производству торфа с показателем 2,8-3,2 млн. т в год. На торф в общей доле использования местных видов топлива в Беларуси сегодня приходится 15 процентов [7].

Издавна, будучи одним из лидеров производства торфа, Россия развивала все способы и методы. Однако при воссоздании вновь торфяной отрасли нужно ориентироваться, к сожалению, не на подходящие для данных конкретных условий технологии, а на доступное оборудование. Это обусловлено необходимостью значительных инвестиций в торфяную

технику, особенно импортную, и невысокой рентабельностью производства. Поэтому, большинство работающих предприятий сегодня с успехом используют старую советскую, много раз капитально отремонтированную и модернизированную технику. Хотя и здесь есть проблемы: законодательное отнесение торфоразработок к горнодобывающей промышленности, ограничивает возможность применения старой техники в виду невозможности ее аттестации горнотехнической инспекцией. Поэтому будущее – за новой техникой.

До 1990 г. в России успешно работало несколько заводов, специализировавшихся на выпуске только торфяной техники («Торфмаш» г. Рязань, «Ивторфмаш» г. Иваново, Нелидовский машиностроительный завод, Горьковский завод торфяного машиностроения им. Я.М. Свердлова, Ореховский машиностроительный завод «Торфмаш», Великолукский машиностроительный завод «Торфмаш»). В настоящее время все они или переориентировались на другой вид продукции, или прекратили свое существование. В некоторых изданиях и статьях, посвященных торфяному машиностроению, можно прочитать, что отечественного торфяного машиностроения сегодня не существует. Но ведь «сегодня» – понятие растяжимое. Может быть, вчера, это так и было. И, как раз сегодня, Тверское машиностроительное предприятие ООО «Гринмаш» выпускает (хотя и мелкими партиями – под заказ) и готово предложить торфоразработчикам линейку из 16 видов торфяных машин, предоставляя торфодобытчикам полный комплект машин для метода раздельной уборки и большую часть машин для скреперно-бункерной уборки [8]!

Что касается Беларуси, то выше уже было сказано, что эта страна не растеряла свой потенциал, и в настоящее время на нескольких заводах, выпускает всю линейку оборудования, необходимого для добычи торфа.

Финляндия славится несколькими крупными производителями торфяной техники – «VAPO OY», «SUOKONE OY», «RAISELIFT OY». Канадская компания «PREMIER TECH» выпускает прицепные и самоходные пневмоуборочные машины на колесном ходу с вместимостью кузовов, соответственно 30 и 50 м³, рыхлители, прицепы для перевозки торфа. Ирландские компании «BORD na MONA» и «DIFCO» известны своими стилочными машинами для производства кускового торфа [6].

Подводя итог изложенному отметим, что, несмотря на отмечаемый жесточайший спад в производстве торфа в России (начиная с 1990 года), сопровождавшийся стагнацией торфяного машиностроения, его воссоздание вполне возможно. Тем более, что анализ технологий производства торфа различных видов в странах зарубежья, показывает, что все они не только хорошо знакомы Российским производителям, но и активно использовались ранее в отечественной промышленности. Необходимо лишь обеспечить дальнейшее развитие технологий торфодобычи и, соответственно торфодобывающей техники, по ряду направлений. Это и использование пневмоколесного хода, что позволит торфяникам самим заняться вывозом добытого торфа прямо с полей и доставкой ее потребителям в неблагоприятные по погодным условиям дни и в межсезонье по дорогам общего пользования [9]. Это и отказ от использования большой номенклатуры техники и организация производства так, чтобы за один проход оборудования выполнялось как можно больше операций. Таким образом, решение задачи модернизации материально-технической базы торфяной отрасли, должно осуществляться с учётом современных требований перехода на преимущественно инновационный путь развития [10]. Для этого необходимо, базируясь на лучших достижениях того, что мы имели в 90-х годах, использовать передовые, наукоемкие решения в области технологии добычи торфа и конструкций торфодобывающей техники и, тем самым обеспечить восстановление и последующее развитие отечественной торфяной отрасли.

Список литературы

1. *Liam Phelen (Ireland)* The development of a 500-kW industrial stocker for the combustion of peat fuels// Proceedings of VIII International peat congress. Leningrad, 1988. Leningrad: "Vneshtorgizdat", 1988. section 2. P. 129–140.
2. Электронный ресурс, URL: <http://www.energogazeta.ru/rubrics/299.shtml> (Дата обращения 19.02.2016 г.).
3. *Яковлев Ю.В.* Ковровский завод котельно-топочного оборудования ООО «Союз»// Торф и Бизнес, 2011. № 1(19). С. 20–23.
4. Котельный завод «Ковровские котлы»// The BIOENERGY international. 2011. №1(18). С. 20.
5. Электронный ресурс, «Бизнес-навигатор», май 2011, URL: <http://www.energogazeta.ru/rubrics/299.shtml> (Дата обращения 20.11.2015 г.).
6. *Мисников О.С., Тимофеев А.Е. и др.* Анализ технологий разработки торфяных месторождений в странах дальнего и ближнего зарубежья // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. №9. С. 84–92.
7. Электронный ресурс, URL: <http://allby.tv/article/4053/belarus-tretya-strana-v-mire-pobuyemat-dobyichi-torfa> (Дата обращения 18.11.2015 г.).
8. Электронный ресурс, URL: <http://greenmash.ru> (Дата обращения 25.10.2015 г.).
9. *Яблонев А.Л.* Адаптирование гусеничных торфяных транспортных машин к работе на пневмоколесном ходу//Сборник трудов межрегион. научн.-техн. конф. «Интеграция науки и образования – производству, экономике», посвящ. 90-летию основания Тверского госуд. технич. университета. Тверь: ТвГТУ, 2012. Т.1. С. 50–55.
10. *Александров Г.А., Вякина И.В., Скворцова Г.Г. и др.* Повышение инвестиционной привлекательности добывающей промышленности: торфодобыча и рентные отношения. М.: Экономика, 2016. 357 с.

05.02.18

А.П. Буйносов д.т.н.

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

РАСЧЕТ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА НАДРЕССОРНОЕ СТРОЕНИЕ И КОЛЕСУЮ ПАРУ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛОКОМОТИВА В КРИВОЙ

В статье приводится разработанная методика для расчета сил, действующих на наддресорное строение и отдельную колесную пару при движении локомотива в круговой кривой железнодорожного пути.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, локомотив, наддресорное строение, колесная пара, движение, кривая, силы, расчет.

В центре тяжести наддресорного строения «О» приложена сила его веса P_{nc} и фиктивная сила называемая центробежной силой инерции C_{nc} , которые вызывают от действия рессорного подвешивания со стороны колесных пар вертикальные реакции на буксовых шейках $\sum \bar{P}'_i$ и $\sum \bar{P}''_i$, и реакции $\sum \bar{U}$ по направлению их геометрических осей (рис. 1).

Центробежную силу C_{nc} можно определить следующим образом

$$C_{nc} = m_{nc} \cdot v^2 / R, \quad (1)$$

где $m_{nc} = n \cdot (2\Pi_{ст} - P_{кп}) / g$ – масса наддресорного строения.

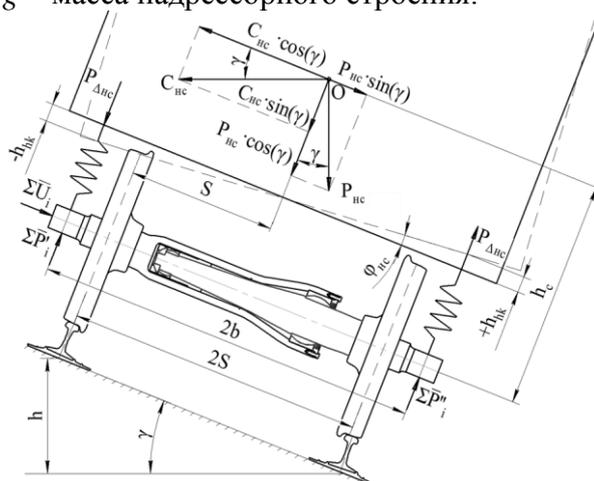


Рис. 1. Силы, действующие на наддресорное строение локомотива при движении в круговых кривых

Разложим центробежную силу C_{nc} и силу веса P_{nc} на направления, параллельные плоскости пути и перпендикулярные плоскости пути

$$P_{Vnc} = \sum \bar{P}'_i + \sum \bar{P}''_i = P_{nc} \cdot \cos(\gamma) + C_{nc} \cdot \sin(\gamma), \quad (2)$$

$$P_{Hnc} = \sum \bar{U}_i = C_{nc} \cdot \cos(\gamma) - P_{nc} \cdot \sin(\gamma), \quad (3)$$

где P_{Vnc} – вертикальная сила наддресорного строения; P_{Hnc} – горизонтальная сила наддресорного строения; $\gamma = \arcsin(h/2S)$ – угол наклона рельсового пути, образующийся за счет возвышения наружного рельс над внутренним.

Горизонтальная сила P_{Hnc} , условно приложенная в центре тяжести наддресорного строения на высоте от оси колесных пар h_c , вызывает появление центробежного момента M_{nc}

$$M_{nc} = P_{Hnc} \cdot h_c. \quad (4)$$

Под действием момента M_{nc} происходит сжатие наружных рессор и выпрямление внутренних в результате чего наддресорное строение поворачивается на некоторый угол ϕ_{nc} . При сжатии наружных рессор за счет их жесткости в них возникают реакции, $P_{\Delta nc}$ которые образуют восстанавливающий момент M_B препятствующий дальнейшему повороту наддресорного строения

$$M_B = P_{\Delta nc} \cdot 2b.$$

Так как центробежный момент наддресорного строения M_{nc} равен восстанавливающему M_B найдем реакцию, возникающую в рессорах $P_{\Delta nc}$

$$M_{nc} = M_B, \quad H_{nc} \cdot h_c = P_{\Delta nc} \cdot 2b, \quad P_{\Delta nc} = H_{nc} \cdot h_c / (2b). \quad (5)$$

Определим реакцию, возникающую в рессорах у одной колесной пары

$$\Delta P_i = P_{\Delta nc} / n. \quad (6)$$

Таким образом, нагрузки, приходящиеся на буксовые шейки колесной пары

$$P'_i = P_i + \Delta P_i; \quad P''_i = P_i - \Delta P_i, \quad (7)$$

где $P_i = P_{внп} / (2 \cdot n)$ – нагрузка, приходящая на шейку оси колесной пары.

Определим прогиб наружных рессор

$$h_{hk} = \Delta P_i / \mathcal{K}. \quad (8)$$

При этом угол поворота наддресорного строения составит

$$\varphi_{nc} = \arctg(h_{hk}/b). \quad (9)$$

Каждая колесная пара воспринимает на себя часть горизонтальных и вертикальных составляющих сил от наддресорного строения. При этом распределение горизонтальной составляющей P_{Hnc} силы от наддресорного строения между колесными парами экипажа зависит от силы реакции, которую может оказать рельс на колесную пару в горизонтальном направлении. Такое распределение зависит от положения колесной пары относительно мгновенного полюса вращения, а также от того, является ли колесная пара набегающей на наружный или внутренний рельс [1].

У колесной пары, воспринимающей на себя часть силы P_{Hnc} , осевая (рамная) сила U_i , передаваемая на ось колесной пары от рамы тележки наддресорного строения, направлена наружу кривой. Эта колесная пара является набегающей на наружный рельс или она расположена позади мгновенного полюса вращения. Например, при набегании на наружный рельс первой по ходу движения колесной пары (рис. 2) действующие на нее усилия на уровне геометрической оси U_i (от наддресорного строения подвижного состава) и P_{Hi} (от самой колесной пары), равные в сумме T_i , передаются наружным колесом на рельс. Следовательно, колесная пара воспринимает от наддресорного строения рамную силу U_i , направленную наружу кривой. Сила T'_i , необходимая для поперечного перемещения внутреннего колеса, также передается через наружное колесо на наружный рельс.

У колесной пары, не способной воспринять на себя часть силы P_{Hnc} , осевая сила U_i направлена внутрь кривой и ее поперечное перемещение в кривой производится рамой тележки. Данная колесная пара расположена впереди полюса вращения и не набегает на наружный рельс [2].

Учитывая двухточечный контакт набегающего колеса на рельс, определим вертикальные нагрузки Π'_i и Π''_i , передаваемые колесной парой на рельс, в соответствии с рисунком, путем рассмотрения уравнений равновесия моментов относительно опорных точек колес Π'_{ni} и Π''_{ni} и суммы сил по направлению геометрической оси. В результате получим:

$$\begin{aligned} \Pi'_i &= \Pi'_{ni} + \Pi'_{zi} = P_i + \Delta P_i \cdot \frac{b}{S} + \frac{P_{Vi}}{2} + \frac{(P_{Hi} \pm U_i) \cdot r_i}{2S} + \frac{\Pi'_{zi} \cdot d'_{zi}}{2S} + \frac{T'_{zi} \cdot h'_{zi}}{2S}, \\ \Pi''_i &= \Pi''_{ni} = P_i - \Delta P_i \cdot \frac{b}{S} + \frac{P_{Vi}}{2} - \frac{(P_{Hi} \mp U_i) \cdot r_i}{2S} - \frac{\Pi''_{zi} \cdot d'_{zi}}{2S} - \frac{T''_{zi} \cdot h'_{zi}}{2S}. \end{aligned} \quad (10)$$

где U_i – рамная сила, действующая на колесную пару от наддресорного строения по направлению геометрической оси; $P_{Vi} = P_{кни} \cdot \cos \gamma - C_i \cdot \sin \gamma$ – нормальная составляющая относительно плоскости пути сил веса и центробежной силы необрессоренных частей экипажа, приходящихся на одну колесную пару; $P_{Hi} = C_i \cdot \cos \gamma - P_{кни} \cdot \sin \gamma$ – параллельная составляющая относительно плоскости пути сил веса и центробежной силы необрессоренных частей экипажа, приходящихся на одну колесную пару; $C_i = m_{кни} \cdot v^2 / R$ – центробежная сила необрессоренной массы, приходящейся на одну колесную пару ($m_{кни} = P_{кни} / g$); $r_i = (r'_{ki} + r''_{ki}) / 2$ – средний радиус колес колесной пары.

В полученных выражениях верхний знак относится к колесным парам, у которых сила U_i направлена наружу кривой, а нижний знак – к колесным парам, у которых сила U_i

направлена внутрь кривой. Как видно по выражению (10), когда сила U_i направлена наружу кривой, происходит дополнительно увеличение нагрузки наружных колес за счет уменьшения ее у внутренних. При этом при направлении силы U_i внутрь кривой происходит обратное перераспределение нагрузок [3].

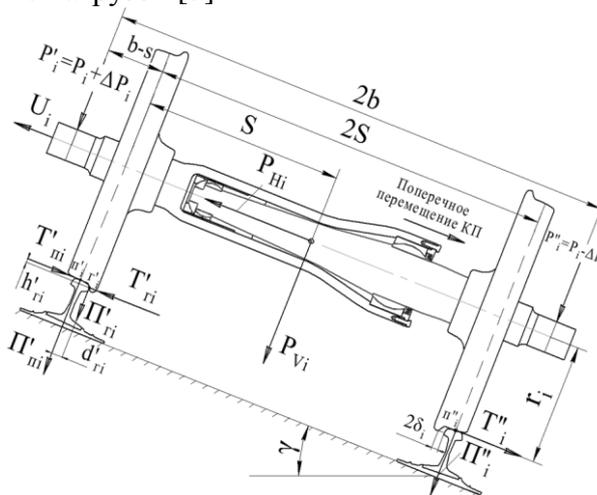


Рис. 2. Силы, действующие на отдельную колесную пару при движении в кривой

Для определения нагрузок, параллельных в плоскости пути и передаваемых колесной парой на рельс, составим уравнение равновесия сил относительно геометрической оси, в результате чего получим:

– в соответствии с рис. 2, когда сила U_i направлена наружу кривой:

$$U_i + P_{Hi} = T_i - T'_i = T_{zi} - T_{ni} - T''_i = T_i; \quad (11)$$

– когда сила U_i направлена внутрь кривой:

$$U_i - P_{Hi} = T_i + T''_i = T_i. \quad (12)$$

С учетом того, что суммарное воздействие колесной пары на рельсы в поперечном направлении составляет T_i , с помощью формул (11) и (12) преобразуем выражения (10) для определения Π'_i и Π''_i :

$$\begin{aligned} \Pi'_i &= \Pi'_{ni} + \Pi'_{zi} = \Pi'_i \pm \frac{T_i \cdot r_i}{2S} + \frac{\Pi'_{zi} \cdot d'_{zi}}{2S} + \frac{T'_{zi} \cdot h'_{zi}}{2S}, \\ \Pi''_i &= \Pi''_i \mp \frac{T_i \cdot r_i}{2S} - \frac{\Pi'_{zi} \cdot d'_{zi}}{2S} - \frac{T'_{zi} \cdot h'_{zi}}{2S}, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\text{где } \Pi'_i = P_i + \Delta P_i \cdot \frac{b}{S} + \frac{P_{Vi}}{2}, \quad \Pi''_i = P_i - \Delta P_i \cdot \frac{b}{S} + \frac{P_{Vi}}{2}.$$

Из формулы (13) видно, что с увеличением расстояний d'_{zi} и h'_{zi} между точками контакта набегающего колеса все больше нагружается наружная рельсовая нить и разгружается внутренняя, что необходимо учитывать при проведении расчетов. При $d'_{zi} = 0$ и $h'_{zi} = 0$ уравнения принимают известный вид [4].

Список литературы

1. Буйносов А.П., Фетисова Н.Г. Наноматериал увеличивает ресурс бандажей колесных пар электроподвижного состава // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2014. № 2 (647). С. 59-64.
2. Буйносов А.П. Восстановление в депо изношенных бандажей промышленных электровозов с помощью наплавки без выкатки колесных пар // Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. № 3. С. 04-11.
3. Буйносов А.П. Выбор остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11 // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2013. Т. 6. № 2. С. 221-228.
4. Буйносов А.П., Худояров Д.Л., Балдин В.Л. Математическая модель повышения ресурса бандажей колесных пар электровозов // Ремонт, восстановление, модернизация. 2011. № 4. С. 43-48.

05.02.04

А.П. Буйносов д.т.н., Д.Ю. Козаков

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

ОБРАБОТКА АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ МЕТОДОМ РАНГОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕСУРС КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ

В статье приводится разработанная методика для обработки статистической априорной информации методом ранговой корреляции для выявления основных факторов влияющих на долговечность колесных пар электровозов.

Ключевые слова: *электровоз, колесная пара, информация, априори, факторы, основные, обработка, корреляция, ранг, ресурс, метод, влияние.*

Процессы трения сложно и нелинейно зависят более чем от пятидесяти факторов. Для решения поставленных задач необходимо было определить факторы, влияющие на ресурс колесных пар и выявить наиболее существенные из них. Для этого было выбрано 28 факторов, наиболее существенно влияющих на ресурс бандажей колесных пар электровозов. С помощью метода ранговой корреляции (априорного ранжирования) была установлена весомость каждого фактора [1]. По методике обработки априорной информации методом ранговой корреляции на основании сформулированных целей и задач исследований приступают к сбору априорной информации (априори – независимо от опыта) [2].

С помощью метода ранговой корреляции (априорного ранжирования, метода экспертных оценок) устанавливают весомость каждого фактора. Для этого используются статистические данные об износе колесных пар, где указаны факторы.

В формулах i – номер фактора, ($i = 1, 2, \dots, k$); j – номер эксперта, ($j = 1, 2, \dots, m$). Для статистической оценки степени согласованности собранной статистической информации в различных сервисных локомотивных депо Российской Федерации можно использовать дисперсионный коэффициент конкордации (конкордат-согласование). Сумма рангов по столбцам рассматривается как случайная величина. Для расчета остаточной дисперсии используем формулу [3]:

$$S_0^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (a_i - \bar{a})^2, \quad a_i = \sum_{j=1}^m a_{ij}, \quad \bar{a} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k a_i.$$

Коэффициент конкордации определяется как отношение остаточной дисперсии к максимальному ее значению:

$$W = \frac{\bar{S}_0^2}{S_{0_max}^2}.$$

Так как \bar{S}_0^2 может изменяться от 0 до $S_{0_max}^2$, то W принимает значения от 0 до 1, то есть $0 \leq W \leq 1$. Максимальное значение дисперсии $S_{0_max}^2$ будет соответствовать полному совпадению мнений специалистов и равно [4]:

$$S_{0_max}^2 = \frac{m^2 \cdot (k^3 - k)}{12 \cdot (k - 1)}.$$

Можно записать оценку дисперсии:

$$\bar{S}_0^2 = \frac{1}{k-1} \cdot S^2.$$

Подставляя значения \bar{S}_0^2 и $S_{0_max}^2$ в формулу, после соответствующих преобразований получаем выражение для расчета коэффициента конкордации для данного случая (случай отсутствия связанных рангов):

$$\xi = \frac{12 \cdot S_0}{m^2 \cdot (k^3 - k)}$$

где m – количество экспертов; k – количество факторов.

Для оценки значимости коэффициента конкордации можно использовать различные статистические критерии. При числе исследуемых факторов $x_i > 7$ значимость коэффициента конкордации оценивают по χ^2 -критерию:

$$\chi_p^2 = m \cdot (k - 1) \cdot \xi = \frac{12 \cdot S_0}{m \cdot k \cdot (k + 1)} \geq \chi_{\tau}^2,$$

при числе степеней свободы $f = k - 1$ и уровне значимости α .

Здесь χ_p – расчетный критерий Пирсона; χ_{τ} – табличное значение.

Критерий согласия χ^2 , предложенный Г. Пирсоном, служит для оценки степени различия двух сравниваемых рядов частот (частота m – абсолютное число, показывающее, сколько раз тот или иной вариант встречается в совокупности). χ^2 представляет сумму отношений квадратов разностей между частотами эмпирического m и теоретического $F(x)N$ распределений к частотам теоретического распределения:

$$\chi^2 = \sum \frac{[m - F(x)N]^2}{F(x)N}.$$

Так как статистическая гипотеза относится к самой функции распределения $F(x)$, а не к ее параметрам, то критерий χ^2 является непараметрическим. Факторы, влияющие на ресурс колесных пар электровозов: а) разность диаметров колес одной колесной пары; б) величина шероховатостей поверхностей колеса и рельса; в) наличие двуточечного контакта при движении колеса по рельсу; г) различная жесткость комплектов рессорного подвешивания на одной тележке; д) неправильная постановка или неравномерный износ скользунов тележки относительно друг друга; е) степень износа подвижного состава и пути; ж) разница в значениях профилей колес, связанных со степенью изношенности колеса или рельса (величина пятна контакта пары «колесо–рельс»); з) наличие больших деформаций шпал, и балластного слоя при прохождении подвижного состава; и) величина угла набегания колесной пары на рельс; л) соотношение твердостей материалов бандажа колесной пары и рельса; м) соотношение величин профилей колеса и рельса; н) внешние погодные условия (наличие влаги, низкая температура и т. д.); о) наличие и тип активизатора сцепления; п) условия взаимодействия в системе «тормозная колодка–колесо»; р) величина направляющего усилия на гребень колеса (силы горизонтального бокового давления); с) установка подшипников качения или скольжения в тележках подвижного состава; т) скорость движения подвижного состава; у) величина коэффициента проскальзывания колеса по рельсу (отношение скорости скольжения $V_{СК}$ к скорости качения колеса по рельсу V_K); ф) состояние тормозной системы (возможность возникновения двухсторонних «ползунов»); х) качество металла для колесных пар и наличие дефектов в металле; ц) наличие абразива в зоне контакта пары «колесо–рельс»; ч) наличие и качество демпфирующих связей; ш) наличие смазочного материала в контакте «гребень колеса–рельс»; щ) величина нагрузки на ось колесной пары; з) значения величин коэффициентов трения качения и трения скольжения колеса.

Последовательность расчетов:

$$\bar{a} = \frac{7050}{25} = 282; S = 479598, W = \frac{12 \cdot 479598}{22^2 \cdot (25^3 - 25)} = 0,762; f = k - 1 = 25 - 1 = 24;$$

$$\chi_p^2 = 22 \cdot (25 - 1) \cdot 0,762 = 402,336.$$

Для $\alpha = 0,04$ при $f = k - 1 = 25 - 1 = 24$; $\chi_{\tau}^2 = 16,9$. Так как $\chi_p^2 = 402,336 > \chi_{\tau}^2 = 16,9$, можно с доверительной вероятностью 96 % утверждать, что мнения относительно степени влияния анализируемых факторов на износ бандажей колесных пар электровозов согласуются в соответствии с коэффициентом $\xi = 0,762$. Результаты расчетов приведены на рисунке.

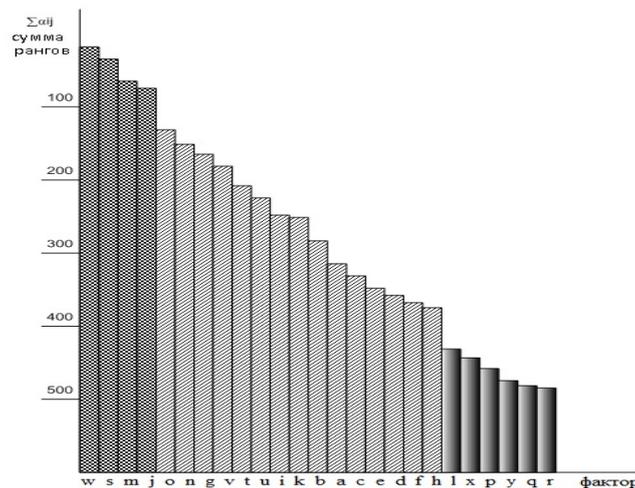


Рис. Ступенчатая диаграмма ранжирования факторов, влияющих на ресурс колесных пар электровозов

В итоге, весомость факторов, влияющих на ресурс колесных пар электровозов следующая:

1) к ведущим (доминирующим) факторам следует отнести: наличие смазочного материала в контакте «гребень колеса–рельс»; состояние тормозной системы (возможность возникновения двухсторонних «ползунов»); наличие и тип активизатора сцепления; соотношение твердостей материалов бандажа колесной пары и рельса;

2) к существенным: величина направляющего усилия на гребень колеса (силы горизонтального бокового давления); условия взаимодействия в системе «тормозная колодка–колесо»; разница в значениях профилей колес, связанных со степенью изношенности колеса или рельса (величина пятна контакта пары «колесо–рельс»); наличие и качество демпфирующих связей; качество металла для колесных пар и наличие дефектов в металле; наличие абразива в зоне контакта пары «колесо–рельс»; величина угла набегания колесной пары на рельс; соотношение величин профилей колеса и рельса; величина шероховатостей поверхностей колеса и рельса; разность диаметров колес одной колесной пары; наличие двуточечного контакта при движении колеса по рельсу; неправильная постановка или неравномерный износ скользунов тележки относительно друг друга; различная жесткость комплектов рессорного подвешивания на одной тележке; степень износа подвижного состава и пути; наличие больших деформаций шпал, и балластного слоя при прохождении подвижного состава;

3) к несущественным – внешние погодные условия (наличие влаги, низкая температура и т. д.); величина нагрузки на ось колесной пары; установка подшипников качения или скольжения в тележках подвижного состава; значения величин коэффициентов трения качения и трения скольжения колеса; скорость движения подвижного состава; величина коэффициента проскальзывания колеса по рельсу (отношение скорости скольжения $V_{СК}$ к скорости качения колеса по рельсу V_K).

Список литературы

1. Буйносов А.П., Фетисова Н.Г. Наноматериал увеличивает ресурс бандажей колесных пар электроподвижного состава // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2014. № 2 (647). С. 59-64.
2. Буйносов А.П. Восстановление в депо изношенных бандажей промышленных электровозов с помощью наплавки без выкатки колесных пар // Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. № 3. С. 04-11.
3. Буйносов А.П. Выбор остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11 // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2013. Т. 6. № 2. С. 221-228.
4. Буйносов А.П., Худояров Д.Л., Балдин В.Л. Математическая модель повышения ресурса бандажей колесных пар электровозов // Ремонт, восстановление, модернизация. 2011. № 4. С. 43-48.

05.02.00

Т.Н. Иванова^{1,2}, А.М. Губанов³, К.Э. Борисова³, Д.Ю. Надуялова²

Институт механики УрО РИА, г. Ижевск¹
 Чайковский филиал ФБГОУ ВО «Пермский национальный исследовательский
 политехнический университет», г. Чайковский²
 ФБГОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск³
 tatnic2013@yandex.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗАДВИЖЕК ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

В работе представлена методика расчета эксплуатационных и конструкционно-монтажных параметров задвижек трубопроводной арматуры. Выявлена зависимость максимальной пропускной способности от объемного расхода, диаметров трубопроводов и задвижки. Результаты работы позволили сформулировать условия эксплуатации задвижки в магистральных трубопроводах высокого давления, снизить кавитацию и эрозионный износ.

Ключевые слова: *трубопроводная арматура, давление, пропускная способность, гидравлическое сопротивление, кавитация, эрозионный износ.*

Задвижка трубопроводной арматуры предназначена для управления потоками сред за счет своих конструктивных особенностей и эксплуатационных параметров [1]. Существующие задвижки по ТУ 3741-001-49652808-2000 могут работать с разными рабочим и условным давлениями среды, которые зависят от пропускной способности.

Установлено, что перепад давлений Δp на задвижке будет зависеть от скорости среды v и гидравлического сопротивления задвижки ζ :

$$\Delta p = \delta \psi \zeta \frac{v^2 \rho}{2} \quad (1)$$

где δ , ψ , ρ – коэффициенты, учитывающие свойства среды, соответственно сжимаемость, вязкость, плотность.

Изменение давления при свойствах нефти $\zeta = 0,7$; $\delta = 1$; $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ составит $\Delta p = 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \frac{0,26769^2 \cdot 900}{2} \cdot 10^{-6} = 22,57 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$

Давление на выходе из задвижки p_2 при максимальном расходе перед задвижкой p_1 будет

$$p_2 = p_1 - \Delta p \quad (2)$$

Для нашего случая $p_2 = 14 \text{ МПа}$.

Анализируя работоспособность задвижек с шибером и клином, было выявлено, что если $p_2 \leq p_{нас}$, где $p_{нас}$ – давление насыщения, возникающее перед задвижкой при определенной температуре среды, то в конструкцию задвижки трубопровода можно установить переходные патрубки меньшего диаметра.

Максимальная пропускная способность K_{vmax} задвижки будет зависеть от массового G и объемного Q расходов среды, протекающих через трубопровод:

$$K_{vmax} = \frac{0,01 \cdot G_{max}}{\rho \sqrt{\Delta p}} = \frac{0,01 \cdot Q_{max} \cdot \rho}{\sqrt{\Delta p}} \quad (3)$$

Результаты расчетов данной зависимости представлены графически на рис. 1, 2.

В случае $p_2 > p_{нас}$ задвижку проверяют на возможность возникновения кавитации, рассчитывая перепад давления $\Delta p_{кав}$, соответствующий началу кавитации по выражению:

$$\Delta p_{кав} = K_C \cdot (p_1 - p_{нас}) \quad (4)$$

где K_C – коэффициент начала кавитации, определяемый из каталогов арматуры, зависящий от внутренних конструктивных особенностей [1].

Для задвижки, имеющей шибер

$$\Delta p_{кав} = 0,63 \cdot (14 \cdot 10^6 - 0,129 \cdot 10^{-6}) = 8,74 \text{ МПа}$$

Режим течения докавитационный будет при $\Delta p < \Delta p_{кав}$, тогда в этом случае внутренний диаметр прохода задвижки и трубопровода можно сделать одинаковыми.

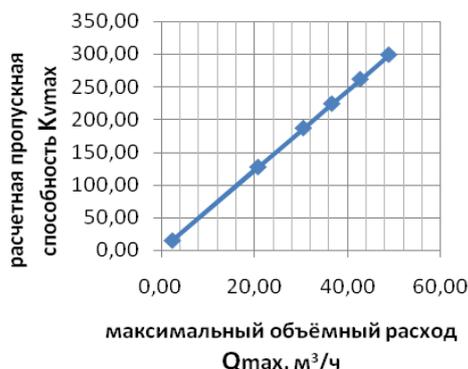


Рис. 1. Зависимость пропускной способности от максимального объемного расхода



Рис. 2. Зависимость пропускной способности от диаметра условного прохода задвижки

Если $\Delta p > \Delta p_{кав}$, то эффективный перепад давления $\Delta p_{кав.мах}$ будет:

$$\Delta p_{кав.мах} = K_m \cdot (p_1 - r \cdot p_{нас}) \tag{5}$$

где r - коэффициент, зависящий от физических свойств среды,
 K_m - коэффициент критического расхода [1].

При выполнении условия $\Delta p_{кав} < \Delta p_{мин} < \Delta p_{кав.мах}$ значение $K_{vмах}$ полученное в (3) оставляют без изменения.

При $\Delta p_{мин} > \Delta p_{кав.мах}$ предварительное расчетное значение максимальной пропускной способности пересчитывают по выражению (3), вводя замену Δp на $\Delta p_{кав.мах}$.

Эрозионный износ проточной части задвижки оценивают сравнением значений перепада давлений на задвижке и давлением начала эрозионного износа $\Delta p_{эр}$, который определяется

$$\Delta p_{эр} = 4 \cdot K_h \tag{6}$$

где K_h - коэффициент, учитывающий конструктивные особенности задвижки, для шиберов K_h равен 0,0055.

Перепад давления, соответствующий началу эрозионного износа для нашего случая $\Delta p_{эр} = 0,0055 \cdot 4 = 0,022 \text{ МПа}$.

Если выполняется условие $\Delta p < \Delta p_{эр}$, то эрозионный износ будет минимальным. Максимальную пропускную способность можно обеспечить уменьшением диаметра условного прохода задвижки.

Таким образом, регулируя снижение перепада давления на задвижке можно снизить эрозионный износ, интенсивность кавитации, сохраняя при этом максимальную пропускную способность и обеспечивая эффективную работоспособность задвижки. Выявленная зависимость максимальной пропускной способности от объемного расхода, позволяет уменьшить диаметры условного прохода задвижки и трубопровода, что снижает металлоемкость задвижки на 15% и позволяет установить задвижки в магистральных трубопроводах высокого давления.

Список литературы

1. Гуревич Д.Ф. Расчёт и конструирование трубопроводной арматуры. М.: изд-во ЛКИ, 2008, с. 8, с. 326
2. Руководящий технический материал РТМ 108.711.02-79 "Арматура энергетическая. Методы определения пропускной способности регулирующих органов и выбор оптимальной расходной характеристики", с. 4.

05.02.10

Д.П. Ильященко, И.Д. Садыков

Юргинский технологический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
г. Юрга, mita8@rambler.ru

СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА РДС ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ, СВАРИВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В работе приведены результаты экспериментальных исследований влияния покрытий для защиты поверхности свариваемого изделия на стабильности процесса сварки и теплосодержание сварочной ванны. Установлено, что при использовании защитного покрытия при РДС увеличивается: длительность короткого замыкания (КЗ) дугового промежутка на 5-11 % и время их формирования и перехода 10-12 %.

Ключевые слова: *дуговая сварка, защитные покрытия, стабильность горения, теплосодержание, сварочная ванна.*

В промышленности процесс нанесения различных защитных покрытий является зачастую неотъемлемой частью технологического процесса изготовления изделий различного назначения. Так, например при сборочно-сварочных работах перед процессом сварки плавящимся электродом на поверхность изделия наносят покрытие, которое препятствует прилипанию брызг расплавленного металла [1].

В предыдущих работах [2,3,4] проведена оценка влияния защитных покрытий (ЗП) на химический состав сварного шва и эксплуатационные свойства сварной конструкции, при прочих равных условиях установлено, что ЗП оказывают влияние на эти показатели при нанесении на поверхность подлежащую сварке, вместе с тем остаются малоизученной область, в которой рассматривается физическая природа процессов формирования структуры, фазового и химического состава сварных соединений, что многими исследователями связывается со стабильностью процесса сварки и теплосодержанием металла сварочной ванны.

Ланкин Ю.Н. в своей работе [5] дал определение стабильности процесса сварки: «Процесс сварки, отклонение параметров которого от средних значений не превышает заданного уровня, называется стабильным. Мерой стабильности является отклонение от параметра среднего значения. В качестве отклонения параметра от среднего значения принимается его дисперсия, среднеквадратичное отклонение или коэффициент вариации».

Цель работы: Исследование влияния покрытий для защиты свариваемой поверхности на стабильность процесса ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

Методика и методы экспериментальных исследований:

Оценку стабильности процесса сварки осуществляли с помощью статической обработки осциллограмм сварочного тока и напряжения диодного выпрямителя (рисунок 1, таблица 1), полученных с использованием: осциллографа цифрового запоминающего АКПП-4122/1V; дифференциального пробника Pintek Electronics DP-50; съемника current probe PR 1030; программы OWON_Oscilloscope_2.0.8.26. В качестве покрытых электродов использовали наиболее применяемые в нефтеперерабатывающей и газовой промышленности электроды LB52U (KOBELCO), а в качестве защитных покрытий: разработанное ЗП [6] и Спрей «Super Pistolen Spray» [7].

Анализ данных таблиц 1, показывает увеличение времени перехода капли на 5-11% и длительности цикла (времени их формирования и перехода) на 10-12 %, при использовании ЗП, то есть происходит более крупнокапельный перенос электродного металла [8,9].

Увеличение длительности горения дуги при сварке с использованием ЗП, должно и отразиться на тепловложении в свариваемое изделие. Для этого в работе были проведены тепловизионная съемка процесса сварки с применением ЗП, обработанные результаты

представлены на рисунке 2.

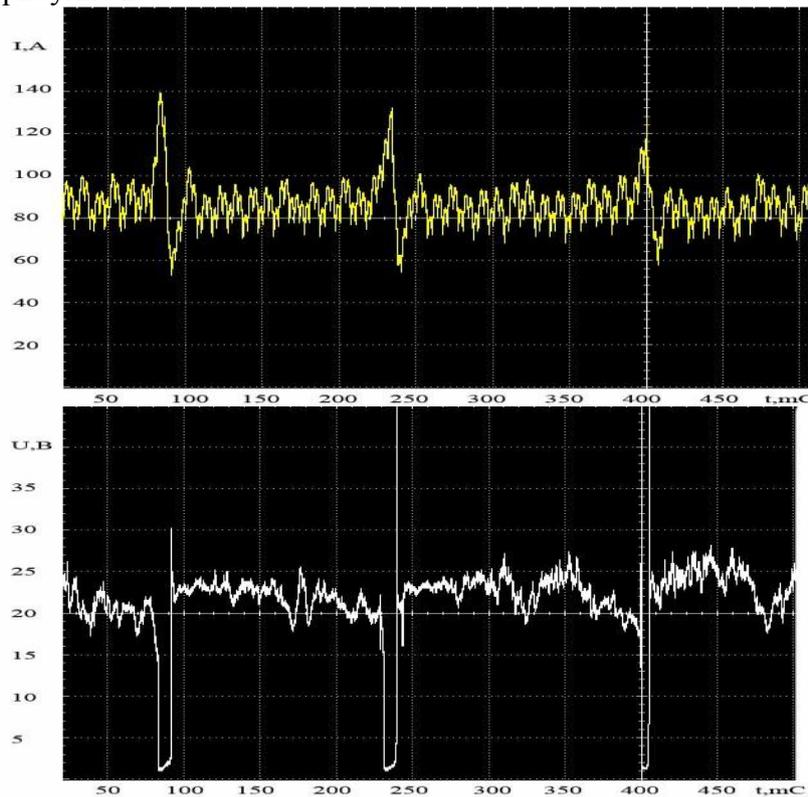


Рисунок 1 – Осциллограммы тока и напряжения:
(электроды марки LB-52U диаметром 3,2 мм, диодный выпрямитель)

Таблица 1 –Результаты статической обработки параметров переноса капель
электродного металла

Параметры	Марка покрытого электрода	Марка защитного покрытия		
		Без покрытия	разработанное защитное покрытие [6]	Спрей «Super Pistolen Spray» [7]
Длительность КЗ дугового промежутка $\tau_{к.з.}$, мс	LB52U	6	6,3	6,7
Среднеквадратичное отклонение длительности КЗ $\sigma_{\tau_{к.з.}}$, мс	LB52U	1,9	2,54	1,85
Коэффициент вариации длительность КЗ $K_{V\tau_{к.з.}}$, %	LB52U	27,5	40,5	27,6
Длительность цикла $T_{к.з.}$, мс	LB52U	150	166	169
Среднеквадратичное отклонение длительность цикла $\sigma_{T_{к.з.}}$, мс	LB52U	39,9	56,2	52,2
Коэффициент вариации длительность цикла $K_{VT_{к.з.}}$, %	LB52U	31,9	35,9	29,1

Для получения полной картины распределения температурных полей (по методике [10]) при сварке плавлением с применением защитных покрытий осуществляли ручную дуговую наплавку валика покрытыми электродами марки LB 52U на пластину 100x150 мм толщиной 6 мм из стали Ст3. В качестве источника питания использовался диодный выпрямитель. Регистрацию полей осуществляли с помощью тепловизора. Скорость съемки составляла 5 кад/сек. На рисунке 2 представлены процесса наплавки, после обработки исходных термограмм в математическом пакете MATLAB в виде набора m-файлов.

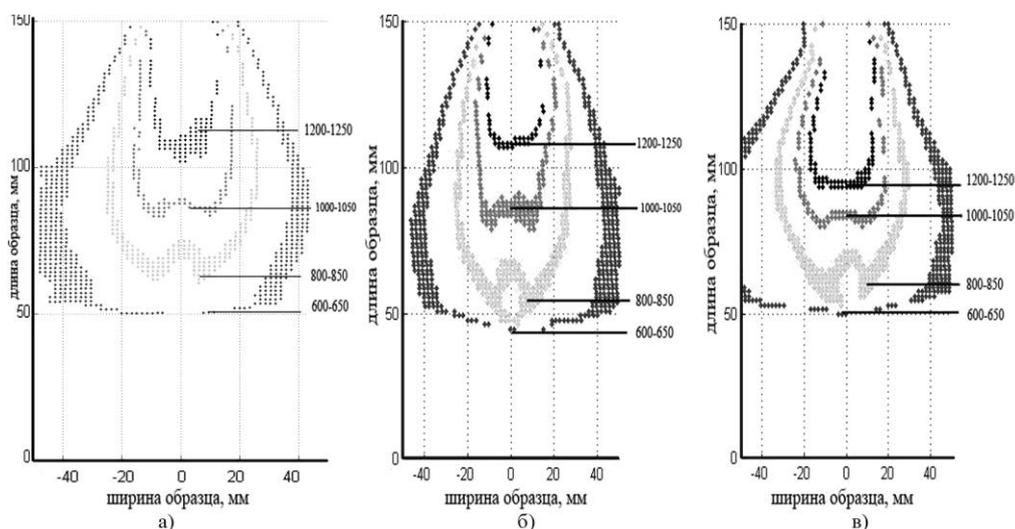


Рисунок 2 - Температурные поля после обработки: источник питания диодный выпрямитель ((ток сварки 100А, напряжение 22В, скорость сварки 13...14 см/мин): а – без покрытия; б - разработанное защитное покрытие [6]; в – Спрей «Super Pistolen Spray» [7]

Отличия, картины распределения тепловых полей при сварке с применением защитных покрытий, представленной на рисунке 2, можно объяснить более крупнокапельным переносом электродного металла.

Вывод.

Установлено, что при использовании защитного покрытия при РДС увеличивается: длительность короткого замыкания (КЗ) дугового промежутка на 5-11 % и время их формирования и перехода 10-12 %.

Список литературы

1. Зернин Е.А., Томас К.И. Автоматизированный метод исследования процесса нанесения покрытий// Инженерный вестник Дона. – 2015. - Т. 36. № 2-2. – С. 70.
2. Ильященко Д.П., Сапожков С.Б. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами LB-52U// Сварочное производство. – 2010. № 9. – С. 16-18
3. Ильященко Д.П., Зернин Е.А. Технологические и санитарно-гигиенические характеристики РДС покрытыми электродами УОНИ 13/55 с применением защитного покрытия// Ремонт, восстановление, модернизация. – 2010. - № 10. – С. 33-36.
4. Ильященко Д.П. Влияние защитных покрытий при РДС покрытыми электродами на химический состав и механические свойства сварных соединений из стали 09Г2С// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № s2. – С. 307-313.
5. Ланкин Ю.Н. Показатели стабильности процесса дуговой сварки плавящимся электродом // Автомат, сварка. — 2011. — №1. —с. 7-15.
6. Сапожков С.Б., Зернин Е.А., Ильященко Д.П. Покрытие для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла при дуговой сварке плавлением// Патент России № 2297311. приоритет от 09.03.2006.
7. <http://www.binzel-abicor.com/>
8. Мазель А.Г. Технологические свойства электросварочной дуги. «Машиностроение», 1969, 178 с.
9. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Физико – химические закономерности. «Машиностроение». 1973, - 448с.
10. Чинахов Д.А., Давыдов А.А., Нестерук Д.А. «Методика обработки температурных полей при сварке плавлением» сборник трудов международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А.А. Воробьева «Становление и развитие научных исследований в высшей школе»: – том 2/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 462с.

05.02.08

М.В. Пономарёв, И.Н. Фролова к.т.н.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
институт промышленных технологий машиностроения,
кафедра технологии и оборудования машиностроения,
Нижегород, maxx.ponomarev@mail.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ГРАНИЧНОЙ МОДЕЛИ ИЗ ОБМЕННОГО ФАЙЛА STEP. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ГРАНЕЙ

В работе представлены результаты изучения возможности и разработанные механизмы автоматизированного анализа геометрических данных граничной модели из обменного файла STEP. Описан разработанный программный модуль «STEP Analyzer» и принцип действия алгоритма определения ориентации граней.

Ключевые слова: *STEP файл, автоматизированный анализ геометрических данных, граничная модель, программный модуль «STEP Analyzer», ориентированное ребро, расширенная грань.*

1 Введение

В настоящее время значительный потенциал сокращения временных затрат на технологическое проектирования процессов механической обработки может быть реализован за счет внедрения разрабатываемой автором системы автоматизированного проектирования базовых структур технологических процессов механообработки на основе метода синтеза. Принципы этого метода описаны в работе [1].

В ряде предшествующих данной статье публикаций было дано теоретическое описание проблематики и базовых принципов работы разрабатываемой системы алгоритмов (работы [2], [3]).

Разрабатываемая система реализована тремя программными модулями: экстрактор — отвечает за чтение файла STEP, извлечение и сохранение необходимого набора данных; анализатор — проводит анализ полученной экстрактором информации, создаёт на этой основе дополнительный набор исходных данных; конструктор — непосредственно отвечает за создание базовой структуры техпроцесса на основе полученной от предыдущих модулей информации.

Принцип работы экстрактора описан в работе [2]. Цикл статей об автоматизированном анализе геометрических данных граничной модели, частью которого является данная статья, повествует о принципе действия анализатора. Общие принципы работы анализатора даны в работе [3]. Про первый алгоритм анализатора, алгоритм поиска смежных граней, речь шла в статье [4]. Целью данной статьи является описание второго из основных алгоритмов анализа — алгоритма определения ориентации граней.

2 Автоматизированный анализ геометрических данных. Определение ориентации граней

Перед тем, как перейти к описанию непосредственно алгоритма, необходимо сделать оговорку касаясь употребляемого в статье термина «грань». Под гранью здесь и далее по тексту мы подразумеваем понятие «расширенная грань», определение которого дано в стандарте ГОСТ Р ИСО 10303-511-2006: «Грань, определенная на поверхности. Такая грань является конечной частью поверхности, которая имеет свои границы, полностью определенные посредством топологических объектов, соответствующих геометрическим кривым. Требуется чтобы геометрия поверхности соответствовала либо элементарной поверхности, либо изогнутой поверхности, либо би-сплайновой поверхности».

2.1 Ориентация плоских граней

Для определения ориентации плоской грани нужно использовать информацию о направлении её нормального вектора и о маркере ориентации. Направление нормального

вектора хранит объект файла STEP «Axis Placement 3D» (расположение в трехмерных осях). Точнее, хранит ссылку на два объекта типа «Direction», первый из которых содержит единичный вектор оси Z, а второй — единичный вектор оси X локальной системы координат. Единичный вектор оси Z в данном случае будет определять направление нормального вектора грани.

Плоские грани в гранично-представленной модели имеют такое свойство, что вектор нормали, всегда направлен из тела детали. Тогда для определения ориентации грани относительно глобальной системы координат необходимо взять из первого объекта «Direction» компоненты вектора Z ЛСК, а из объекта «Advanced Face» — маркер ориентации («T» или «F»). Маркер «T» показывает, что направление нормали сонаправлено с вектором Z, маркер «F» — что оно противоположно направлено вектору Z. Таким образом, мы определили ориентацию плоской грани относительно глобальной системы координат модели.

2.2 Ориентация цилиндрических граней

Для цилиндрических граней механизм определения ориентации несколько другой. У них вектор Z ЛСК всегда направлен вдоль оси, поэтому невозможно по его направлению сделать вывод об ориентации грани. Для решения этой задачи автором был разработан специфический для цилиндрических граней метод определения ориентации. Схема цилиндрической грани с указанием расположения направляющих векторов ЛСК (локальной системы координат) её элементов в пределах ГСК (глобальной системы координат) модели приведена на рисунке 1.

Все цилиндрические грани в качестве своих границ имеют два ребра, назовем их e_1 и e_2 — объекты типа «Oriented Edge», представляющие собой окружности с центрами в точках $c_1(x_1, y_1, z_1)$ и $c_2(x_2, y_2, z_2)$ соответственно, где x_1, y_1, z_1 и x_2, y_2, z_2 — координаты в глобальной системе координат модели. В файле STEP объект «Oriented Edge» ссылается на объект «Edge Curve», определяющий форму ребра, который в свою очередь имеет ссылку на объект типа «Circle», в случае с цилиндрическими гранями. Этот объект хранит радиус окружности ребра и ссылку на объект «Axis Placement 3D», содержащий ссылки на координаты центра окружности, а также направление единичных векторов Z и X ребер. На рисунке 1 для ребра e_1 и e_2 показаны направления единичных векторов, Z', X' для первого ребра и Z'', X'' для второго, определяющие локальные системы координат этих ребер.

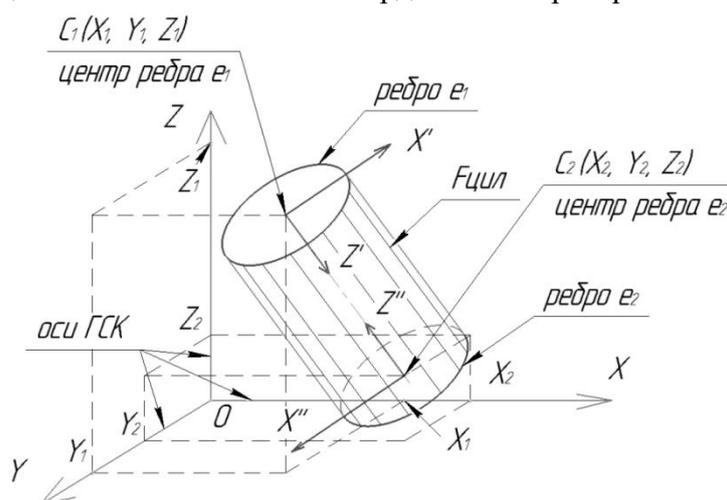


Рисунок 1 – Схема ребер цилиндрической грани

Разработанный алгоритм программного модуля «STEP Analyzer» для определения ориентации цилиндрических граней представлен на рисунке 2 в виде блок-схемы.

Представим пояснение по работе алгоритма и воспользуемся рисунком 1.

Рассмотрим цилиндрическую грань $F_{цил}$. Напомним, что c_1 и c_2 — это центры первого (e_1) и второго (e_2) ребер цилиндрической грани $F_{цил}$ соответственно. А Z' и Z'' — направление единичных векторов Z ЛСК этих ребер.

Алгоритм в начале работы запрашивает из баз данных «Грани» и «Ребра» информацию об этих элементах модели. Далее запускается цикл операций для каждой грани из списка «Грани».

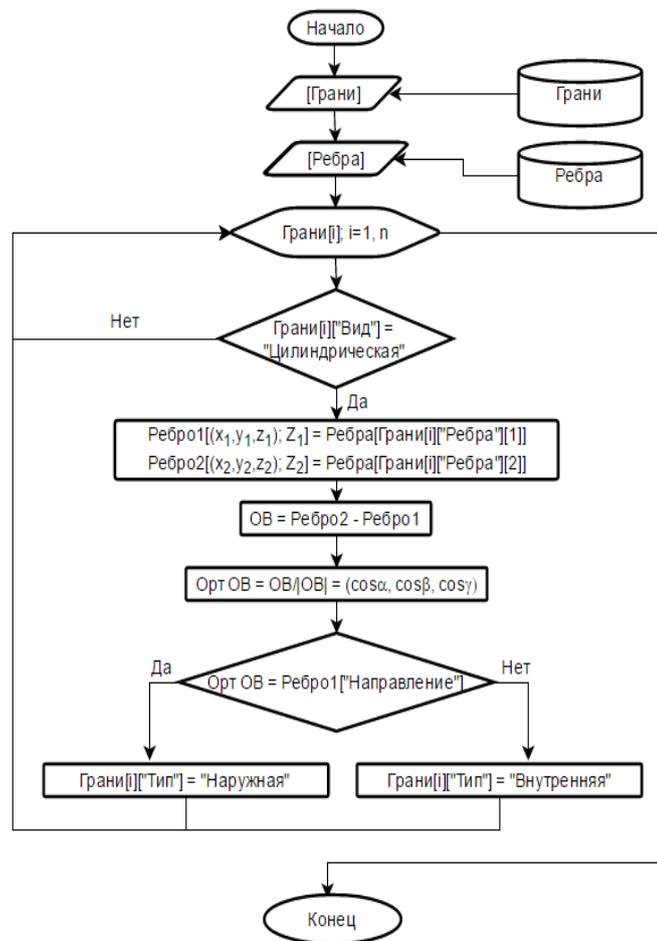


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма определения ориентации цилиндрических граней

В начале цикла выполняется проверка условия, является ли текущая грань цилиндрической. Если условие не выполняется, управление передается назад в оператор цикла, где выбирается следующая по списку грань для анализа. Если условие выполняется алгоритм переходит к следующему оператору.

У цилиндрической грани в граничной модели имеется только два ограничивающих её ребра. Одним из параметров каждой грани является список идентификаторов ограничивающих её ребер. По этим идентификаторам из списка «Ребра» выбирается необходимая для дальнейших расчетов информация, а именно: координаты x , y и z центров этих ребер и направление единичного вектора Z локальной системы координат каждого ребра и сохраняется в переменные-списки «Ребро1» и «Ребро2» соответственно.

Далее запускается функция расчета составляющих осевого вектора (ОВ на блок-схеме). Она вычисляет направление осевого вектора, который задан координатами начальной и конечной точки, где в качестве координат начала берутся координаты центра c_1 первого ребра e_1 из списка «Ребро1», а координатами конца вектора будут координаты центра c_2 второго ребра e_2 из списка «Ребро2». Расчет ведется по формуле 1 [4, с. 55]:

$$\vec{c} = (x_2 - x_1; y_2 - y_1; z_2 - z_1), \quad (1)$$

$$\vec{c} = (x_c; y_c; z_c),$$

где \vec{c} — вектор заданный координатами с началом в центре первого ребра и концом в центре второго ребра (рисунок 3); x_1, y_1, z_1 и x_2, y_2, z_2 — декартовы координаты центров первого и второго ребра соответственно; x_c, y_c, z_c — получившиеся координаты вектора \vec{c} . Получившийся вектор, заданный кортежем из трех координат x_c, y_c и z_c записывается в переменную «ОВ».

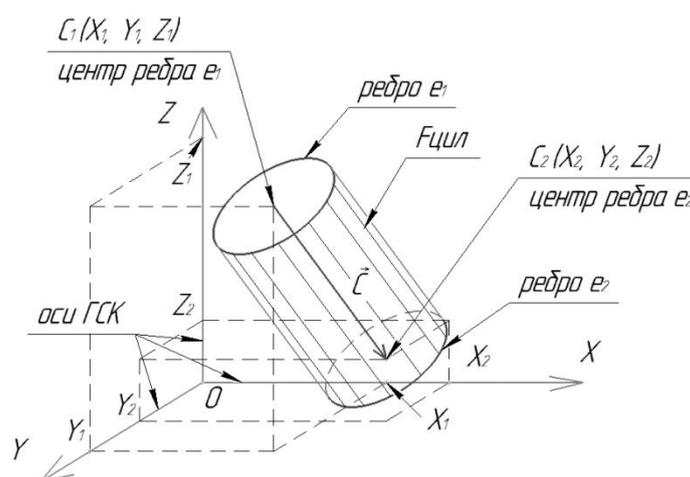


Рисунок 3 – Схема расположения осевого вектора \vec{c} цилиндрической грани

Для дальнейших операций находим единичный вектор вектора \vec{c} по формуле 2 и записываем результат в переменную «Орт ОВ» [4, с. 56]:

$$\vec{c}^0 = \frac{1}{|\vec{c}|} \vec{c} = (\cos \alpha, \cos \beta, \cos \gamma), \quad (2)$$

где $|\vec{c}|$ — длина вектора \vec{c} ; $\cos \alpha, \cos \beta, \cos \gamma$ — направляющие косинусы вектора \vec{c} .

Найдем длину вектора \vec{c} по формуле 3 [4, с. 55]:

$$|\vec{c}| = \sqrt{x_c^2 + y_c^2 + z_c^2}. \quad (3)$$

Направляющие косинусы находим по формулам 4 [4, с. 55]:

$$\cos \alpha = \frac{x_c}{\sqrt{x_c^2 + y_c^2 + z_c^2}}; \quad \cos \beta = \frac{y_c}{\sqrt{x_c^2 + y_c^2 + z_c^2}}; \quad \cos \gamma = \frac{z_c}{\sqrt{x_c^2 + y_c^2 + z_c^2}}. \quad (4)$$

Далее алгоритм проверяет, совпадает ли получившийся единичный вектор с единичным вектором первого ребра цилиндрической грани. Если совпадение найдено, то текущая грань является наружной, в противном случае — внутренней. Тип ориентации грани записывается в базу данных граней. Затем цикл повторяется для следующей грани из базы.

3 Заключение

Обменный файл формата STEP обладает широкими возможностями по хранению данных о трехмерной модели изделия. Его строгая логическая структура позволила создать автоматизированный алгоритм извлечения и анализа содержащихся в нем данных. Эти разработки позволяют двигаться в направлении создания алгоритма автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки.

Список литературы

1. Автоматизированное создание структуры технологического процесса: монография / И.Н. Фролова [и др.]; НГТУ. – Н. Новгород, 2011. – 183 с.
2. Пономарёв, М.В. Использование файлов формата STEP в процессе автоматизированного технологического проектирования. Особенности, проблемы, реализация / М.В. Пономарёв // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 1. – С. 127-131.
3. Пономарёв, М.В. Автоматизированная обработка геометрической информации граничной модели из файлов формата STEP. Общие положения / М.В. Пономарёв // ВЕКТОРЫ РАЗВИТИЯ НАУКИ: сборник статей студентов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей. – Уфа: АЭТЭРНА, 2015. /в 2 ч. Ч.1 – С. 90-94.
4. Пономарёв, М.В. Автоматизированный анализ геометрических данных граничной модели из обменного файла STEP. Поиск смежных граней / М.В. Пономарёв. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 5. – С. 266-268.
5. Сборник основных формул по аналитической геометрии и линейной алгебре/авт.-сост. В.В. Станцо. — М.: АСТ: Астрель, 2007. — 222, [2] с.: ил. — (Краткий справочник студента).

05.02.02

П.М. Салов, В.Н. Цай, С.С. Сайкин, Ю.И. Воронцов, Н.В. Мулюхин

Чувашский государственный университет имени Н.И. Ульянова,
 машиностроительный факультет, кафедра технологии машиностроения,
 Чебоксары, muliukhin@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ АБРАЗИВНОЙ СПОСОБНОСТИ КРУГОВ ПРИ БЕЗАЛМАЗНОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРАВКЕ

Дан анализ абразивной относительной способности шлифовальных кругов при безалмазной правке. В работе приведена методика проведения экспериментов. Выявлены оптимальные области применения условий правки. Рассмотрено влияние непрерывной правки на качество обрабатываемых заготовок различными кругами

Ключевые слова: правка, шлифование, абразивная способность, точность обработки, шероховатость поверхности, производительность процесса, шлифовальный круг, безалмазная правка.

При шлифовании труднообрабатываемых материалов используют непрерывную правку кругов [1-4]. Экономически целесообразно применять безалмазную правку, которая в ряде случаев эффективнее алмазной. Представляет значительный интерес не только обеспечение технологических параметров процесса, но и взаимная абразивная способность применяемых кругов. Исследования проводились на модернизированном плоскошлифовальном станке. Правящий круг устанавливался над рабочим в пневмошпинделе. Его продольное перемещение осуществлялось с помощью специального гидропривода, поперечное от отдельного микропривода, обеспечивающего подачу от 0,1 до 3 мкм на 1 оборот правящего круга. Схема проведения эксперимента представлена на рис 1.

Величина относительной абразивной способности определялась по формуле:

$$m = \frac{W_n}{W_k},$$

где W_n и W_k – объем абразивов, снимаемых с поверхности правящего и рабочего круга соответственно.

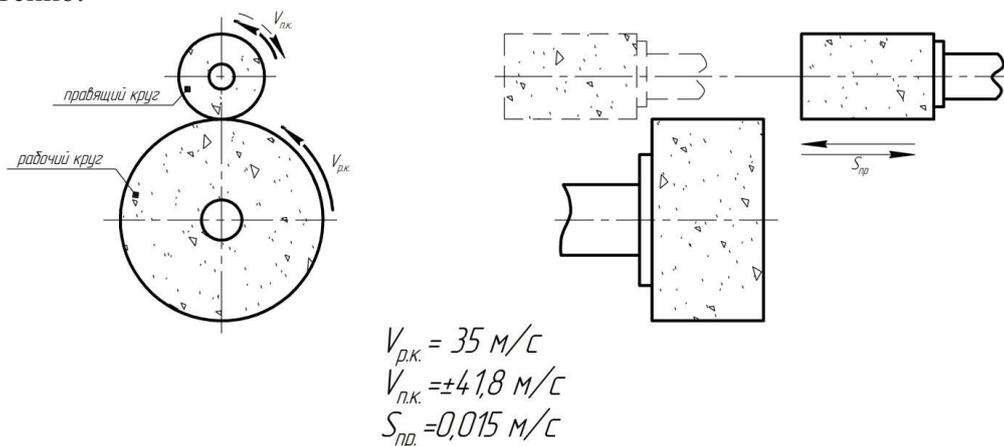


Рис. 1 – Схема правки шлифовального круга: встречная правка сплошными линиями, попутная – пунктирные

Скорость продольного перемещения правящего круга $S_{пр}=0,015$ м/с, величина вертикальной подачи правящего круга $t_b=0,03$ мм/дв.х. Шлифование и правка осуществлялась с СОЖ на основе Укринол-1, а также новые составы СОЖ [5,6].

Результаты эксперимента представлены на рис. 2, сплошные линии - износ рабочего круга, а пунктирные – правящего. Геометрические характеристики рабочего круга ПП 250x25x76. Прямые 1-6 соответствуют встречной правке, 7-12 попутной, и для следующих пар шлифовальных кругов взято сочетание: **1,8** – рабочий: 92АМ Р54 L 6V А2 + правящий: ПП 20x20x6 63С Р100 N 5V А2; **2,7** – рабочий: 92АМ Р54 L 6V А2 + правящий 20 АПП

20x25x6 24A P100 N 5V A2; **3,9** – рабочий: 91A P120 K 5V A2 + правящий – 20 АПП 20x25x6 24A P100 N 5V A2; **4,10** – рабочий 91A P120 K 5V A2 + правящий ПП 20x20x6 63С P100 N 5V A2; **5,12** – рабочий 63С P60 N 7V A2 + правящий ПП 20x20x6 63С P100 N 5V A2; **6,11** – рабочий 63С P60 N 7V A2 + правящий 20АПП 20x25x6 24A P100 N 5V A2.

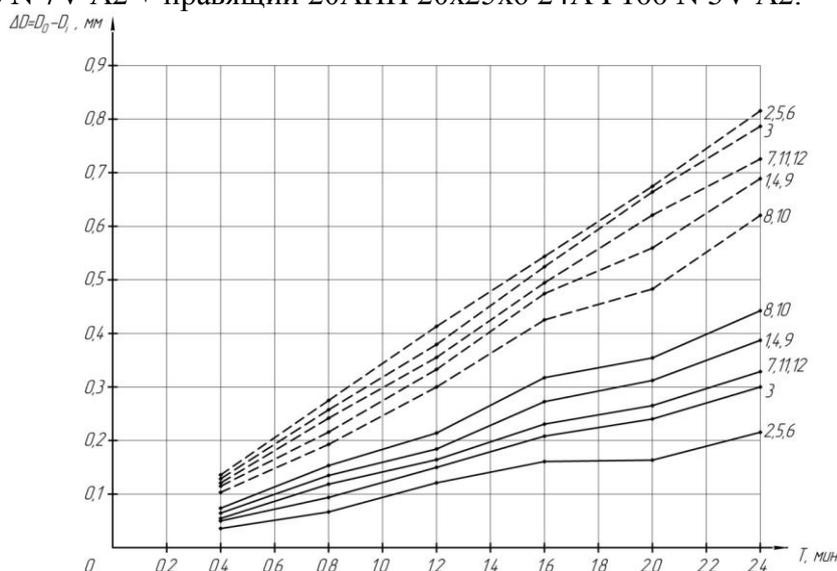


Рис. 2 – Изменение диаметров кругов при правке:

рабочий круг - сплошные линии, правящий – пунктирные.

Взаимный износ пар кругов, описанный графиками 8 и 10 наибольший, а в случае пары кругов 2,5,6 рабочий круг изнашивается медленно а правящий быстро. Это объясняется тем, что абразивная способность возрастает с увеличением разности зернистостей правящего и рабочего кругов. Так же взаимный износ кругов зависит от шлифовального материала и твердости кругов.

Результаты взаимной абразивной способности, представлены в таблице 1.

Большую абразивную способность правящий круг проявляет при встречной правке. Это объясняется высокой относительной скоростью проскальзывания кругов: при встречной правке $V_{отн}=76,8$ м/с, при попутной $V_{отн}=6,8$ м/с.

Таблица 1 – Результаты расчетов относительной абразивной способности пар кругов

№ п/п	Характеристики пар кругов	Абразивная способность, m	
		встречная правка	попутная правка
1	92AM P54 L 6V A2 63C P100 N 5V A2	0,11	0,08
2	92AM P54 L 6V A2 24A P100 N 5V A2	0,29	0,15
3	91A P120 K 5V A2 24A P100 N 5V A2	0,21	0,11
4	91A P120 K 5V A2 63C P100 N 5V A2	0,11	0,07
5	63C P60 N 7V A2 63C P100 N 5V A2	0,19	0,11
6	63C P60 N 7V A2 24A P100 N 5V A2.	0,23	0,14

В случае попутной правки съем абразива с поверхности рабочего круга зависит в основном от зернистости правящего круга. В случае встречной правки проявляются ударные процессы между встречающимися зёрнами, где важную роль занимают такие характеристики зёрна, как прочность закрепления зёрна в связке, прочность самого зёрна и т.д [7].

Обрабатывались заготовки из стали 3, жаропрочной стали 12X18H9T и титанового сплава BT9. Результаты шлифования различных материалов с непрерывной попутной правкой и без правки приведены в таблице 2 и диаграмме рис. 3.

Таблица 2 – Характеристики обработанных поверхностей.

Сочетание кругов	Шероховатость обработанной поверхности, Ra, мкм					
	Обрабатываемый материал					
	Ст.3		12X18H9T		BT9	
	Без правки	С правкой	Без правки	С правкой	Без правки	С правкой
91AP120K5VA2	0,4	0,16	0,8	0,4	0,8	0,5
92AM P54L6VA2	1,0	0,2	0,4	0,4	2,0	1,0
63C P60 N 7V A2	0,32	0,25	0,5	0,32	2,0	1,0

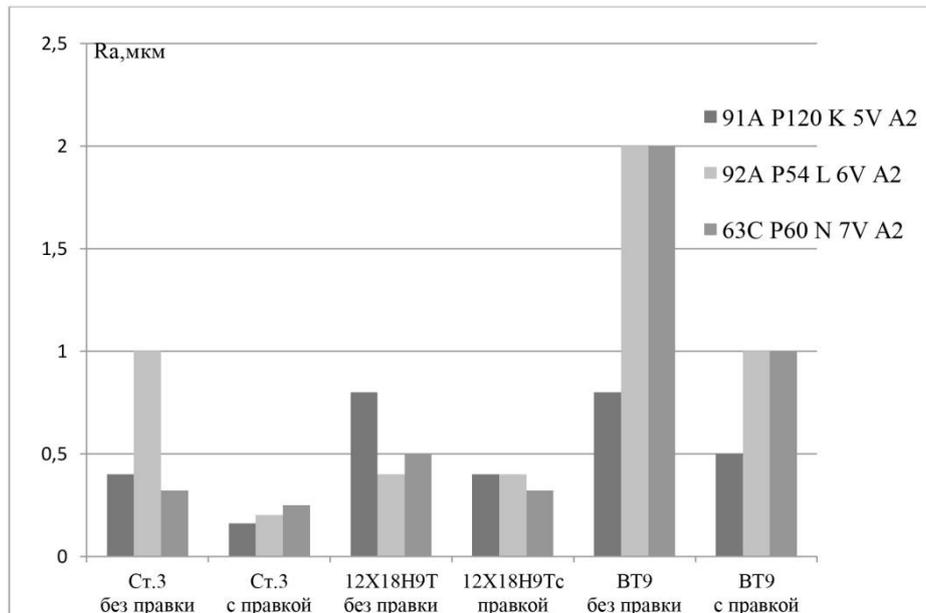


Рис. 3 – Диаграмма шероховатостей

Применение различных правящих кругов позволяет управлять технологическими параметрами процесса. Правящие круги из карбида кремния зеленого наиболее целесообразно использовать при удалении засалки на рабочем круге. Правящие круги из электрокорунда обеспечивает микропрофиль на рабочем, позволяющий получать меньшую шероховатость на обработанной поверхности.

Список литературы

1. Салов, П.М. Принципы самоорганизации износа шлифовальных кругов / П.М. Салов, Б.А. Кравченко. - Самара:Самар. гос. техн. ун-т, 2001. 118с.
2. Салов, П.М. Рациональное использование рабочей поверхности абразивных кругов/ П.М. Салов, Д.П. Салова. – Чебоксары: Чебокс. политехн. институт (филиал) МГОУ, 2010, - 332с
3. Салова Д.П., Виноградова Т.Г., Салов П.М. Анализ тепловых процессов при внутреннем шлифовании ответственных деталей// Технология машиностроения. 2011. №5. С. 10-13.
4. Денисенко А.Ф. Определение зоны интенсивного износа базирующих поверхностей инструментальной системы металлорежущих станков / Денисенко А.Ф., Казакова А.Ю.// «Высокие технологии в машиностроении» Материалы Всерос. н.-т. интернет-конференции.- Самара 2010, С. 84-86
5. Патент на изобретение RUS 2115699 / Концентрат водной смазочно-охлаждающей жидкости для механической обработки металлов (варианты) / Шалунов Г.П., Сайдаков Ю.Н., Титуренко С.Г., Шалунов Е.П., Ваганов В.К., Черемухина Л.Н., Курзанова С.З., Кузнецова М.А.
6. Патент на изобретение RUS 2109036 / Концентрат водной смазочно-охлаждающей жидкости для механической обработки металлов / Шалунов Г.П., Шалунов Е.П., Сайдаков Ю.Н., Андреев В.Л., Ваганов В.К., Кузнецова М.А., Курзанова С.З.
7. Илларионов, И.Е. Демпфирующие материалы / И.Е. Илларионов, И.М. Шаршаков; под ред. И.Е. Илларионова. – Чебоксары: ЧПИ МГОУ, 2011.

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

05.11.13

В.Д. Андреев, О.Г. Морозов, А.А. Тяжелова, В.В. Куревин

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

**ФОТОННЫЙ ДАТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ С АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ
МОДУЛЯЦИЕЙ**

В статье рассмотрены принципы построения волоконно-оптического датчика напряженности электрического поля (ВОД НЭП) на основе амплитудно-фазовой модуляции оптической несущей в безэлектродном интерферометре Маха-Цендера. В отличие от существующих разработанные ВОД НЭП являются составными и содержат в своей структуре два кристалла метаниобата лития с ортогонально повернутыми осями и размещенную между ними четверть-волновую пластину. Такая конфигурация позволяет получить на выходе датчика излучение, состоящее из двух составляющих разнесенных на удвоенную частоту наведенного электрического поля с амплитудой пропорциональной его напряженности. Диапазон измеряемых напряженностей – $10 - 10^3$ В/м в диапазоне частот от 10^2 до 10^9 Гц.

Ключевые слова: *напряженность электрического поля, волоконно-оптический датчик, амплитудно-фазовая модуляция, показатель преломления кристалла, интерферометр Маха-Цендера.*

Введение. Для оценки напряженности поля с помощью электрооптических датчиков, как правило, используется линейный эффект Погекельса в электрооптических кристаллах (ЭОК) класса 3m. При этом показатель преломления их принципиальных осей меняется пропорционально напряженности приложенного электрического поля.

Изменение показателя преломления вызывает пропорциональное изменение фазы, амплитуды, поляризации и частоты оптической несущей, проходящей через ЭОК. В соответствии с выбранным для регистрации параметром используются различные конфигурации датчиков.

Линейно-поляризованное вдоль одной из осей оптическое излучение будет промодулировано в ЭОК по фазе под воздействием электрического поля. При установке кристалла в одно из плеч интерферометра Маха-Цендера фазовая модуляция на выходе последнего преобразуется в модуляцию интенсивности и позволяет зарегистрировать напряженность электрического поля, приложенного к датчику. ЭОК с показателем преломления, зависящим от напряженности приложенного электрического поля, может быть использован в структуре интерферометра Фабри-Перо. Выходное излучение интерферометра будет промодулировано по амплитуде, при максимальной чувствительности измерений, обеспечиваемой работой датчика на центральной частоте резонансного пика. При круговой поляризации оптического излучения приложенное электрическое поле вызывает фазовую задержку между обыкновенным и необыкновенным лучами, распространяющимися вдоль принципиальных осей ЭОК. В следствие этого, выходная поляризация излучения будет отличаться от входной. При попадании этого излучения на поляризатор произойдет преобразование поляризационной модуляции в модуляцию интенсивности. Частотная модуляция оптической несущей реализуется во всех трех выше рассмотренных случаях и характеризуется появлением частотных составляющих сверху и снизу от частоты несущей, пропорциональных или удвоенных частоте приложенного электрического поля.

Цель данной работы рассмотреть возможность применения в ВОД НЭП, амплитудно-фазовой модуляции, которая позволила бы реализовать режим подавления оптической несущей [1] и получить выигрыш в отношении сигнал/шум измерений и в динамическом диапазоне датчика.

Общие требования к построению датчика. Современные средства измерения НЭП с фазовой, амплитудной и поляризационной модуляцией имеют существенное преимущество перед частотными измерителями возможностью работы не с широкополосным фотоприемником (до 1 ГГц) во всем диапазоне рабочих частот (до 1 ГГц), а с узкополосным фотоприемником по постоянному току. Анализ, проведенный нами, показал, что существуют измерительные устройства других классов [2, 3], которые работают на промежуточной частоте (двухчастотный режим), реализуя тем самым выигрыш до 2-4 раз по чувствительности.

Данные методы при реализации не требуют: во-первых, применения широкополосного приема, а позволяет обрабатывать сигнал на частоте биений компонент двухчастотного сигнала, равной разностной частоте между ними, что существенно сужает полосу пропускания приемной части устройства (с единиц ГГц до единиц МГц) и соответственно повышает отношение сигнал/шум измерений; во-вторых, применения пик-детектора с прямым детектированием, который характеризуется наличием сильной зависимости отношения сигнал шум от интенсивности шумов и других флуктуаций, особенно в низкочастотной области, а использует детектор огибающей полоса пропускания которого находится в области минимальных шумов приемной части устройства, что соответственно также повышает отношение сигнал/шум измерений и позволяет избежать влияния на точность измерения интенсивных низкочастотных флуктуаций и помех. Как показано в [4], не вдаваясь в физическую природу явлений, можно сказать, что при прямом детектировании собственные шумы детектора излучения превалируют над внешними и определяют пороговую мощность принимаемого сигнала. Учитывая результаты данного анализа, был предложен амплитудно-фазовый подход с использованием двойного модуляционного преобразования оптической несущей в составном кристалле с ортогональным поворотом принципиальных осей.

Структура ВОД НЭП на основе составного ЭОК. С учетом рассмотренных положений нами предложена гибридная структура ВОД. Гибридные технологии, при которых объемный кристалл эффективно соединяется с подводящим и отводящим оптическим волокном находят широкое применение. Как правило, во встроенных системах измерения НЭП в зоне активного воздействия электрического поля находится только ЭОК. Поэтому ВОД построенные по гибридным технологиям, с обеспечением минимальных потерь, с точной юстировкой оптических осей, может обеспечить высокую стабильность параметров выходного симметричного двухчастотного излучения с разностной частотой и амплитудой, зависящими от параметров приложенного электрического поля. Структура кристалла, взятого нами из ЭОК модулятора МЛ-5, показана на рис. 1.

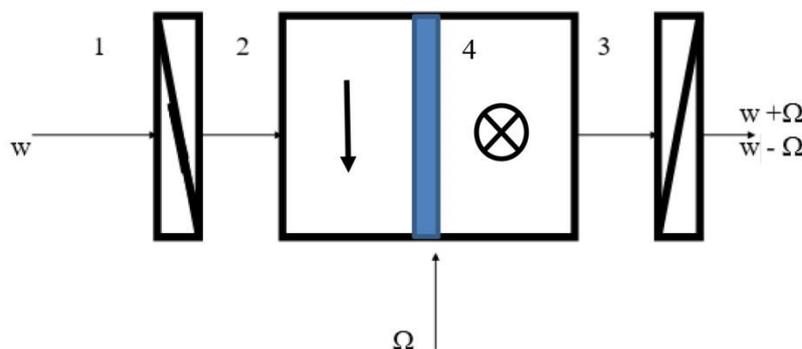


Рис. 1 – ЭОК волоконно-оптического датчика:

1,3 - поляризаторы, 2 - электрооптический модулятор; 4 – четвертьволновая пластина

ЭОК работает на поперечном эффекте Погкельса; он содержит два кристалла метаниобата лития, повернутых на 90° , между которыми установлена пластинка в четвертьволны из кварца. Для нормальной работы модулятора падающий свет должен иметь горизонтальную или вертикальную линейную поляризацию и мощность не более 3 мВт при максимальном диаметре пучка от 1 до 2 мм. Таким образом, могут использоваться как одномодовые кварцевые, так и многомодовые полимерные волокна, которые юстируются на торец кристалла.

При приложении внешнего электрического поля E_m в ЭОК формируется фазовый сдвиг $\Gamma(t) = \Gamma_0 + \Gamma_m \sin \Omega_m t$ для двух ортогональных направлений излучения вдоль осей x и y . Воспользовавшись формализмом матриц Джонса выходное излучение ЭОК можно описать как

$$E_{\text{вых}}(t) = E_0 \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{vmatrix} 1 & \exp^{j(\Gamma/2)} & 0 \\ 0 & \exp^{-j(\Gamma/2)} & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos^2 \beta & \cos \beta \sin \beta \\ \cos \beta \sin \beta & \sin^2 \beta \end{vmatrix} \exp^{j\omega t}, \quad (1)$$

где матрица {1} отображает распространение входного излучения, линейно поляризованного в плоскости, составляющей угол 45° с осями x и y , матрица {2} – фазовую пластину, соответствующую составному ЭОК, матрица {3} – поляризатор с главной осью, расположенной под углом β к оси поляризации лазерного излучения.

При $\alpha = 45^\circ$, $\beta = 90^\circ$ выражение (1) принимает вид

$$E_{\text{вых}}(t) = -jE_0 \sin(\Gamma/2) e^{j\omega t} = \sin \omega t \sin[(\Gamma_m/2) \sin \Omega_m t]. \quad (2)$$

Спектр данного излучения представляет собой симметричные составляющие на частотах $(\omega \pm (2n-1)\Omega_m)$, где $n = 1, 2, 3 \dots$, ортогонально поляризованные относительно составляющей исходного одночастотного излучения, которая подавлена, с амплитудами определяемыми функциями Бесселя от параметра электрического поля. Амплитуда составляющих основной частоты $n=1$, на порядок выше, амплитуды составляющих с $n=2, 3 \dots$

Как видно из (2) реализуется амплитудно-фазовая модуляция. Коэффициент нелинейности выходного излучения не превышает 1% при уходе температуры на $3-5^\circ\text{C}$ [4].

Заключение. В работе описан амплитудно-фазовый ВОД НЭП, на базе двух кристаллов метаниобата лития с ортогонально повернутыми осями и размещенную между ними четверть-волновую пластину. Результаты были подтверждены экспериментально. Диапазон измеряемых напряженностей – $10 - 10^3$ В/м в диапазоне частот от 10^2 до 10^9 Гц.

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РФ в рамках госзадания КНИТУ-КАИ (программа «Радиофотоника», 3.1962.2014/К).

Список литературы

1. Морозов О.Г. Амплитудно-фазовое преобразование частоты в системах временной и частотной рефлектометрии волоконно-оптических информационных и измерительных сетей // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2004. Т. 7. № 1. С. 63-66.
2. Морозов О.Г., Ильин Г.И. Амплитудно-фазовая модуляция в системах радиофотоники // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: РиИС. 2014. № 1 (20). С. 6-42.
3. Садыков И.Р., Морозов О.Г., Садеев Т.С. и др. Волоконно-оптический рефрактометрический датчик // Труды МАИ. 2012. № 61. С. 18.
4. Морозов О.Г. и др. Амплитудно-фазовые методы формирования зондирующих излучений для систем анализа волоконно-оптических структур // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. № 3. С. 119-124.

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

05.13.18

В.Н. Абузяров¹, В.И. Чепасов² д.т.н, И.А. Щудро² к.т.н., В.Н. Елисеев¹ к.п.н.¹Филиал Московского технологического института г. Оренбург, кафедра «Информатика и автоматизация», it@mti_orenburg.ru²Оренбургский государственный университет, кафедра «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем», povt@unpk.osu.ru**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БРАНДОНА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

В статье рассматриваются различные методы построения статистической модели. Особое место уделено методу Брандона. Условие преимущества метода перед другими. Алгоритм построения модели.

Ключевые слова: *метод Брандона, матрица, композиционные материалы, статистическое моделирование, надежность, метод главных компонент.*

Современные композиционные материалы имеют ряд недостатков:

– в силу анизотропии изменяются свойства композиционного материала от образца к образцу

– низкая ударная вязкость

– возможность возникновения скрытых дефектов

Все эти недостатки проявляются как в процессе производства, так и в период эксплуатации изделий из композитов.

Вопросам надежности изделий из композитов, а также совершенствованию технологий посвящены работы Акимова И.А. [1], Акимова А.И. [2], Тюкова Н.И. [3] и др. На надежность изделий из композиционных материалов особое влияние оказывает температурный режим.

Вместе с тем, вопросам моделирования процесса управления производством композиционных материалов, усовершенствованию технологий в открытых публикациях уделяется недостаточно внимания.

Известно, что математическое моделирование разделяют на аналитическое и компьютерное, составными частями которого являются численное, имитационное и статистическое моделирование.

Построение многомерной статистической модели базируется на экспериментальных данных, которые снимаются с действующих объектов. Если объект имеет большое число входных и выходных параметров тогда можно применять различные методы. К ним относятся факторный анализ, метод множественной корреляции, метод главных компонент и другие.

Метод главных компонент предполагает разделение корреляционной матрицы на ортогональные векторы (компоненты) по числу рассматриваемых переменных, которые соответствуют собственным векторам и собственным значениям корреляционной матрицы.

Факторный анализ рассматривает наличие небольшого числа переменных (факторов) в матрице ковариаций. Метод главных компонент ориентирован на дисперсии, факторный анализ ориентирован на корреляционную связь. При построении статистической модели можно воспользоваться методом Брандона, который отличается тем, что произведение функций входных параметров представляют выходную функцию.

где \bar{y} – средняя величина выходного параметра.

Первая зависимость будет определяться по нормированным значениям вектора выходных параметров и экспериментальным значениям первого влияющего фактора.

Когда зависимость $\hat{y}_i = f(x_1)$ выбрана, определяется остаточный показатель $y_{э1}$ для всех наблюдений

$$y_{э1} = \frac{y_{э0}}{f_1 x_1}.$$

Допуская, что $y_{эi}$ зависит от x_2, \dots, x_m и не зависит от x_1 , выбирается зависимость от второго фактора, при этом используется остаточный показатель $y_{э1}$ и экспериментальные значения второго фактора. После нахождения зависимости $\hat{y}_{э2} = f_2(x_2)$, находится остаточный показатель $y_{эi}$ для каждого наблюдения:

$$y_{э1} = \frac{y_{э0}}{f_1 x_1}.$$

Повторив действия для всех k -тых влияющих факторов, получим регрессионную зависимость рассматриваемого выходного параметра. Расположение факторов в этой зависимости определены при ранжировании и отличены от расположения в уравнении (1).

Все зависимости по выходным параметрам представляют собой статистическую модель многомерного технологического объекта.

Алгоритм построения статистической модели имеет несколько этапов. Первый этап предусматривает иерархию (ранжирование) факторов:

нахождение коэффициентов корреляции, создание исходной матрицы, определение частных коэффициентов, ранжирование факторов.

Второй этап отыскание зависимостей выходных параметров от влияющих факторов: нахождение вида расчетной зависимости, нахождение коэффициентов зависимости с помощью метода наименьших квадратов и проверка адекватности.

Вывод:

1. Метод Брандона используется при построении статистических моделей с небольшим количеством входных переменных иначе функция будет перегружена большим количеством соответствующих параметров.

2. Для многопараметрических входных величин целесообразно объединить близкие по весу параметры в кластеры

3. Данный метод позволяет автоматизировать процесс вычислений, уменьшить время и повысить степень близости расчетных данных к аппроксимирующей функции

Список литературы

1. *Акимов И.А.* Математическое моделирование тепловых процессов в многослойных конструкциях с фазовыми переходами: дис. д-ра техн. наук: 15.13.18 / И. А. Акимов. – СПб., 2007. – 287 с.
2. *Акимов А.И.* Решения комплексированных задач теплообмена, массообмена и термонапряжений в многослойных конструкциях с фазовыми переходами матричным методом / А. И. Акимов, В. Н. Елисеев, В. Н. Абузяров // Перспективы развития науки: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2014. –С. 3-5.
3. *Тюков Н.И.* Теоретические и экспериментальные исследования тепловых процессов изготовления изделий из композиционных материалов: монография / Н. И. Тюков, И. А. Акимов. – Уфа: РИО БашГУ, 2003. – 216 с.
4. *Закрейм А.Ю.* Введение в моделирование химико-технологических процессов. М.: Химия, Высш. шк., 1982. – 224 с.

05.13.01

А.Е. Баринов

Муромский институт (филиал) Владимирский государственный университет имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Муром, alexey.barinov.murom@yandex.ru

АЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОВЫХ ЯДЕР НА ГРАФАХ

Рассматривается разработка алгоритма нахождения соответствий на изображениях с использованием тепловых ядер на графах. На сопоставляемых изображениях выделяются особые точки и строятся графы. На основе термодинамического уравнения находятся наиболее стабильные особенности, которые участвуют в сопоставлении.

Ключевые слова: *нахождение соответствий, компьютерное зрение, графы.*

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научных проектов № 16-37-00235, № 15-07-01612**

Введение. Нахождение соответствий на изображениях является важной задачей в различных областях компьютерного зрения: обнаружении объектов, трехмерной реконструкции, распознавании образов и т.д. Рассматривается разработка алгоритма нахождения соответствий для определения положения и ориентации головы человека на основе изображений. Данный процесс состоит из следующих этапов: выделение области головы на видеоизображениях, отслеживание движения между кадрами путем нахождения соответствий, расчет углов и смещений. Существующие методы сопоставления находят соответствия между отдельными особенностями изображений и не учитывают их взаимного расположения. При наличии шумов, взаимных перекрытий, повторяющихся фрагментов сцен, изменении ракурса использование подобных подходов приводит к ошибкам нахождения соответствий. Одним из известных методов является дескриптор SURF (Speeded Up Robust Features) [1], обладающий высокой скоростью. Однако точность метода значительно уменьшается при сопоставлении изображений, полученных с различных ракурсов. Для повышения устойчивости предлагается использовать структурный подход на основе графов, который выделяет наиболее стабильные особенности [2, 3]. В работе предлагается использовать граф Делоне [4].

Алгоритм нахождения соответствий на изображениях. Повысить точность нахождения соответствий предлагается за счет использования только наиболее стабильных особенностей, которые присутствуют на двух сопоставляемых изображениях. Подобные стабильные особенности выделяются на начальном этапе алгоритма при помощи тепловых ядер на графах. Таким образом, используя только те особенности, которые с большей вероятностью будут присутствовать на сопоставляемых изображениях, предлагается уменьшить количество ложных соответствий. Такие особенности будут соответствовать вершинам графа, которые называются «горячими» [5]. «Горячие» вершины могут быть получены с помощью тепловых ядер и термодинамического уравнения, которое широко используется в физике и химии при изучении газов [5]. Для получения «горячих» вершин графа, инвариантных к различным типам преобразований, анализируется изменение состояния графа во времени. Также сопоставление даже небольшого количества вершин по принципу «многие-ко-многим» будет трудоемким [6]. Для решения этой задачи предлагается преобразовать полученные «горячие» вершины в иерархическую структуру, сопоставление которой будет осуществляться по принципу сравнения подграфов. На вход алгоритма поступает предварительно выделенная на изображении область головы. Выделяются особенности изображения с помощью SURF[1]. По точкам строится граф Делоне $G = (V, E)$, где каждая вершина соответствует выделенной особенности, а некоторые пары вершин

соединены ребрами согласно триангуляции.

Распределение информации по графу выражается с помощью термодинамического уравнения, решением которого является тепловое ядро. Тепловое ядро показывает изменение количества проходимой информации через каждую вершину графа с течением времени. Тепловое ядро описывается квадратной матрицей размером $|V| \times |V|$:

$$H_t(u, v) = \sum_{i=1}^{|V|} e^{-\lambda_i t} \phi_i(u) \phi_i(v), \quad ((1))$$

где t – время потенцирования собственного подпространства, $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{|V|}$ – собственные значения графа, $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_{|V|}$ – собственные векторы графа.

Значение времени влияет на распределение информации по графу. Эмпирическим путем, опираясь на данные расчетов, был сделан вывод, что наиболее оптимальным временем для выделения «горячих» вершин является величина $t = 11$. «Горячие» вершины – это вершины, через которые на протяжении некоторого отрезка времени проходит наибольшее количество информации.

Если граф имеет m вершин, то матрица теплоты H_t будет иметь m^2 элементов, среди которых необходимо выделить самые стабильные («горячие») вершины:

$$n_h = \{i / H_t(i, i) \geq \mu\}, \quad (2)$$

где μ – порог, который равен значению $(m + 1)$ -ого максимального элемента матрицы теплового ядра H_t .

Необходимо представить полученные «горячие» вершины в виде иерархической структуры. Кластеризация вершин в данном случае представляет итеративный процесс с пошаговым увеличением допустимого порога близости. В результате кластеризации получаются сегменты изображения (рис. 1).

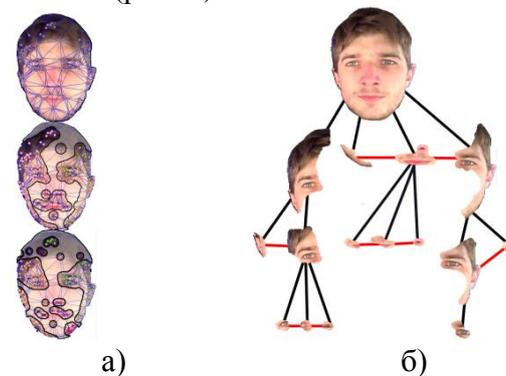


Рис. 1 – Пример построения иерархии «горячих точек» а) выделенные сегменты, б) иерархия сегментов

Сопоставление будет осуществляться по уровням дерева. Выделение уровней зависит от порога близости σ . Для двух изображений головы I_1 и I_2 алгоритм будет выглядеть следующим образом:

Шаг 1. Выделяются особенности детектором SURF, строится граф Делоне, выполняется поиск «горячих» вершин.

Шаг 2. «Горячие» вершины преобразуются в иерархическую структуру.

Шаг 3. Иерархии вершин сравниваются между собой. Сравнение осуществляется путем вычисления SURF-дескрипторов для «горячих» вершин, содержащихся в соответствующих слоях.

Результаты экспериментов. В ходе экспериментов разработанный алгоритм сравнивался с дескриптором SURF [1]. Тестирование осуществлялось с изображениями одинакового масштаба, без фона. Тестовые объекты были повернуты относительно друг друга. Пример сопоставления показан на рисунке 2.

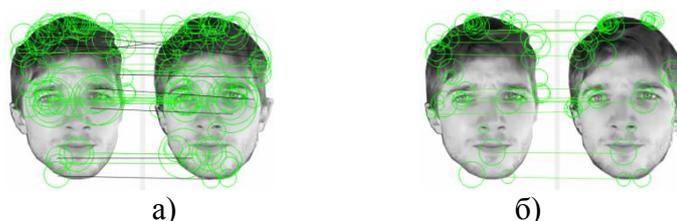


Рис. 2 – Пример нахождения соответствий: а) Нахождение соответствий на основе SURF, б) Нахождение соответствий на основе разработанного алгоритма

Сравнение по скорости показало, что разработанный алгоритм работает несколько медленнее метода SURF для объектов с ярко выраженными углами, но быстрее для изображений лица (рис. 2).

Сравниваемые подходы показывают высокую точность сопоставления, если углы поворота объектов на изображениях отличаются незначительно. Однако при повороте на 15° и более, точность алгоритма SURF заметно ухудшается. Разработанный алгоритм, напротив, в таких случаях показывает приемлемую точность (рис. 3).

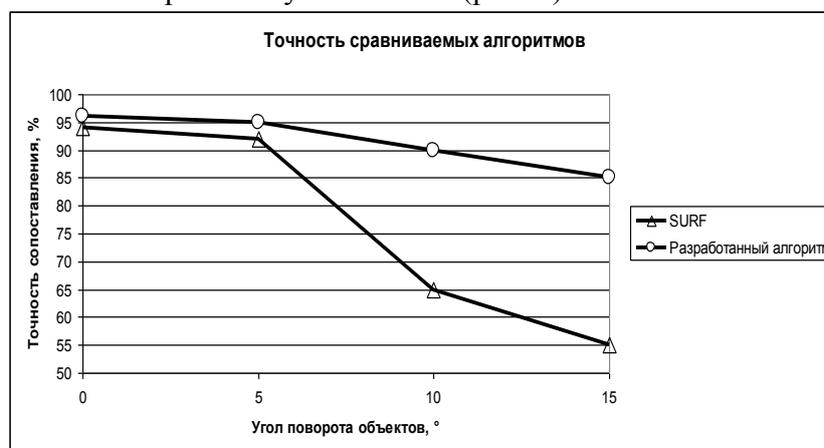


Рис. 3 – Сравнение работы алгоритмов по точности сопоставления изображений

Заключение. В работе описано применение тепловых ядер для сопоставления изображений. Полученные «горячие» вершины преобразуются в иерархическую структуру, которая упрощает и ускоряет процесс сопоставления. Показаны результаты работы предложенного алгоритма на изображениях. Результаты проведенных экспериментов позволяют говорить о том, что применение «горячих» вершин и иерархии может успешно использоваться для сопоставления изображений в задачах отслеживания положения и ориентации головы человека, где необходимо осуществлять покадровое слежение за объектом.

Список литературы

1. Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Van Gool L. SURF: Speeded Up Robust Features // Computer Vision and Image Understanding (CVIU), 2008. Vol. 110, No. 3, P. 346-359.
2. Захаров А.А., Тужилкин А.Ю. Формирование структурного представления трехмерных сцен на основе синтаксического анализа видеоизображений // Научно-технический вестник Поволжья, 2013. № 6. С. 285-288.
3. Баринов А.Е., Захаров А.А. Разработка алгоритма определения положения и ориентации 3D-объектов на основе извлечения градиентных особенностей изображения // Ползуновский вестник, 2014. № 2. С. 50-54.
4. Delaunay B. Sur la sphere vide // Izvestia Akademii Nauk SSSR, Otdelenie Matematicheskikh i Estestvennykh Nauk, 1934. P.793-800.
5. Bai X., Wilson R.C., Hancock E.R. Characterising graphs using the heat kernel// BMVC, 2005.
6. Fei-Fei, Fergus R., Perona P. One-shot learning of object categories // IEEE TPAMI, 2006. 28(4). P. 594-611.

05.13.06

А.П. Буйносов д.т.н.

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

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ

В статье описано разработанное автоматизированное рабочее место техника по замерам для мониторинга состояния колесных пар локомотивов на основе разработанных переносных электронных приборов ИД и КИП.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, локомотив, колесные пары, состояние, мониторинг, рабочее место, автоматизация.

В настоящее время на сети дорог принята планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта: независимо от фактического состояния оборудования через заранее определенные промежутки времени производится его частичная или полная разборка для профилактического осмотра, технического обслуживания или ремонта. Планово-предупредительные ремонтные работы, безусловно, уменьшают вероятность аварии, но не предохраняет узел или изделие в целом от неожиданных выходов из строя в межремонтный период.

Наиболее эффективен переход от эксплуатации локомотивов по заранее назначенному ресурсу к эксплуатации и техническому обслуживанию по данным безразборного контроля самых важных параметров, определяющих действительное техническое состояние узлов.

В настоящее время на сети железных дорог России внедряется комплекс многоцелевых информационных технологий, обеспечивающих мониторинг технического состояния ходовых частей подвижного состава. Особую базу составят результаты мониторинга состояния колесных пар локомотивов с применением систем обратной связи в масштабе реального времени.

На кафедре «Электрическая тяга» УрГУПС разработана компьютерная программа «АРМ «Депо», позволяющая хранить, систематизировать и обрабатывать данные, полученные в результате замеров геометрических параметров колесных пар электровозов и тепловозов [1].

Данная разработка – это часть системы контроля колесных пар, созданной автором в рамках отраслевой комплексной автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом [2]. Программа позволяет создавать базу данных электронных паспортов колесных пар индивидуально для каждого локомотива и, в отличие от аналогов, определять не только степень износа, но и прогнозировать изменение геометрических параметров колесных пар в зависимости от наработки, отслеживать динамику износа бандажей. Благодаря подпрограммам отображения и просмотра, результаты измерения представляются в виде таблиц замеров с привязкой к номеру и типу локомотива, с указанием даты и времени измерения; также в графическом виде представлены формы гребня и поверхности катания (в сравнении с эталоном). В информационной базе осуществляется прогнозирование дальнейшего изменения износа колес и формирование протоколов, стратегические прогнозы по всему парку подвижного состава [3].

Программа выполняет следующие функции: ввод новых данных через последовательный порт от переносного измерителя или вручную оператором с клавиатуры; просмотр и редактирование данных; расчет средних значений параметров и интенсивность износа гребней колес на 10 тыс. км для заданных локомотивов за выбранный период; построение графиков; формирование, просмотр и печать различных отчетов с результатами замеров для выбранных локомотивов. Программа работает в среде Windows XP, создана в пакете Microsoft Access 2011 [3].

Просмотр и редактирование информации о локомотивах осуществляется в форме «Локомотивы», которая открывается кнопкой «Локомотивы» на главной форме (рис. 1). На

форме отображается список локомотивов выбранной серии, зарегистрированных в базе данных, и три кнопки: «Добавить», «Удалить», «Закрыть».

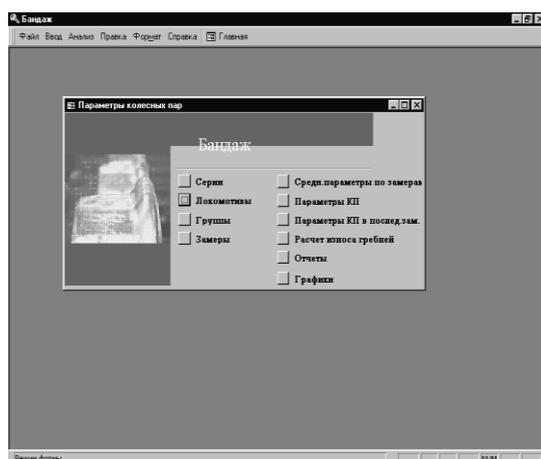


Рис. 1. Окно «Главная форма»

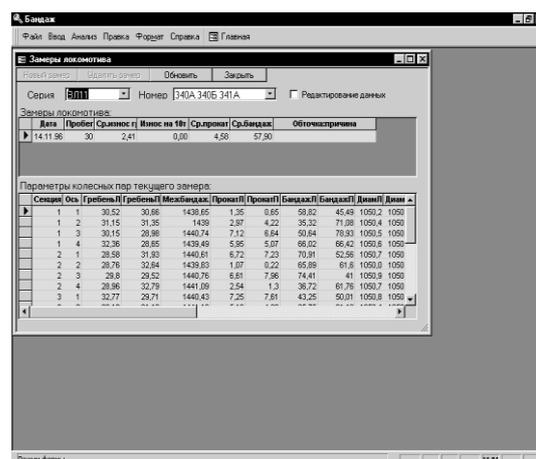


Рис. 2. Окно «Замеры локомотива»

Для ввода информации о новом локомотиве нажмите кнопку «Добавить». При этом открывается диалоговое окно «Новый локомотив», в котором необходимо задать серию, число осей в одной секции, число секций, номера секций в порядке их соединения и нажать кнопку «Ввести». По этой команде информация о новом локомотиве заносится в базу данных и окно «Новый локомотив» закрывается. Если одно из полей оказывается не заданным, выдается предупреждение. Серию можно выбрать из выпадающего списка, либо если это новая серия – ввести непосредственно в поле с клавиатуры.

Для удаления локомотива из списка необходимо в форме «Локомотивы» выбрать (сделать текущим) удаляемый номер и нажать на кнопку «Удалить». При этом будут удалены также все данные, относящиеся к этому локомотиву. Группы объединяют локомотивы по произвольно выбранному признаку и используются при формировании отчетов, расчете средних параметров. Можно, например, в одной группе объединить локомотивы, оснащенные гребнесмазывателями, в другой без них и в дальнейшем формировать отчеты, рассчитывать параметры отдельно по этим группам.

Эта программа удобна для работы с базой данных электронных паспортов колесных пар, она максимально автоматизирует и ускоряет работу. Информация в базу данных поступает по результатам ручных (шаблонных) методов измерений и с автоматизированных систем обмера колес, а также с переносных приборов КИП и ИД, относительная погрешность которых не превышает 2–5 % [2, 3]. Окно «Замеры локомотива» представлено на рис. 2.

Журнал замеров состоит из двух связанных таблиц и панели выбора серии и номера локомотива. Верхняя таблица отображает все произведенные замеры выбранного подвижного состава по датам, нижняя таблица – замеренные данные (толщину гребня, прокат, толщину бандажа, межбандажное расстояние, диаметр колеса).

При добавлении записи в таблицу замеров по датам в таблице с замеренными данными автоматически появляется шаблон – список номеров осей и секций. При этом количество осей берется из справочника «Серии локомотивов». На рис. 3 представлено окно журнал запросов программы АРМ «Депо».

Форма «Расчет износа гребней» (рис. 4) позволяет вычислить интенсивность износа гребней для заданных локомотивов за любой период времени. Форма открывается при нажатии на кнопку «Расчет износа гребней» на главной форме.

Для задания локомотивов, по замерам которых производится расчет, выберите одну из четырех опций: «Весь парк», «Группа», «Серия», «Локомотив». При выборе опции «Весь парк» в расчет войдут данные по всем локомотивам имеющимся в базе данных. При выборе опции «Группа» дополнительно предлагается задать название группы в поле с выпадающим списком. В результате в расчет войдут данные только по локомотивам входящим в выбранную группу. При выборе опции «Серия» дополнительно предлагается задать название

серии в поле с выпадающим списком. В расчете будут участвовать данные по локомотивам выбранной серии. При выборе опции «Локомотив» предлагается задать серию и номер локомотива. В расчет в этом случае войдут данные только одного локомотива.

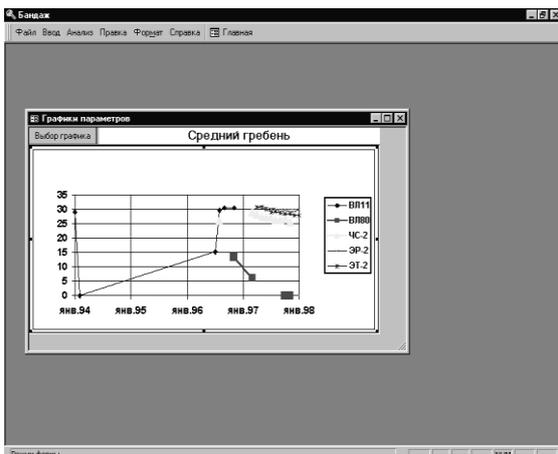


Рис. 3. Окно «Графики параметров»

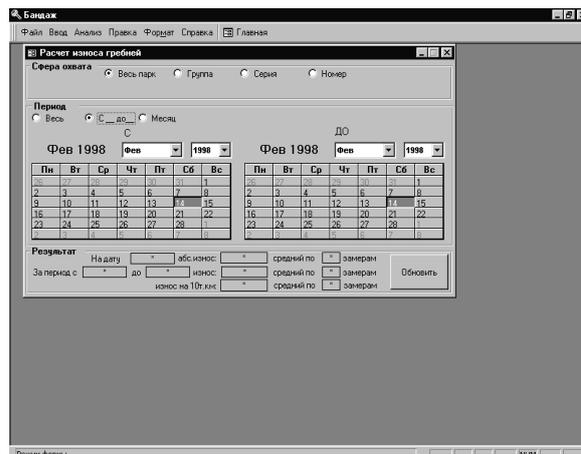


Рис. 4. Окно «Расчет износа гребней»

Для задания периода времени выберите одну из трех опций: «Весь», «С – до», «Месяц». При выборе опции «Весь», период считается бесконечным, и в расчете участвуют все существующие в базе данных замеры для заданных локомотивов. При выборе опции «С – до» предлагается выбрать начало и конец периода с точностью до дня. При выборе опции «Месяц» расчет производится за один месяц, который Вы укажете в поле с выпадающим списком.

Для корректного обмена данных между АРМами приняты некоторые правила на формат названий серий, групп и видов ремонта. Графики, которые может строить программа АРМ «Депо»: количества обточек и перекаток по месяцам; среднего износа гребня по месяцам; динамики изменения параметров колеса.

Построение графика осуществляется через меню «Графики» – «Динамика изменения параметров», при этом в журнале замеров должен быть выбран необходимый локомотив. Позволяет наблюдать изменения следующих параметров: толщина гребня, толщина бандажа, прокат, диаметр колеса, межбандажное расстояние [4].

Кроме этого, программный комплекс через устройство аварийного предупреждения о выходах контролируемых параметров колесных пар за пределы допуска подает соответствующие сигналы в подсистемы измерения, формирует базу текущих данных обследования колесных пар для последующего использования при обработке и прогнозирования их ресурса.

Список литературы

1. Буйносов А.П. Выбор остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11 // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2013. Т. 6. № 2. С. 221-228.
2. Буйносов А.П., Стаценко К.А., Кислицын А.М. Автоматическая измерительная система для контроля геометрических параметров колесных пар локомотивов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 3. С. 31-34.
3. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2013. Т. 6. № 2. С. 211-220.
4. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Измерительная система для контроля параметров колесных пар локомотивов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2013. № 11. С. 44-51.

05.13.01

И.Б. Гинзбург

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», кафедра «Прикладная информатика»,
Москва, iliagi@mail.ru

ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЕ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСЫ ДЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Для защиты вводимых пользователем в веб-интерфейс данных от возможной потери при сбоях соединения с сервером, что часто случается при беспроводном соединении, предлагается использовать разработанную автором кроссплатформенную библиотеку резервирования вводимых пользователем данных. Это позволит обеспечить отказоустойчивый ввод данных в веб-приложениях вне зависимости от надежности каналов передачи данных и позволит использовать геоинформационные системы с веб-интерфейсом с мобильных устройств в местах, где раньше это было невозможно.

Ключевые слова: *геоинформационные системы, дистанционное зондирование Земли, отказоустойчивые веб-приложения, резервирование вводимых данных.*

С распространением геоинформационных систем (ГИС) с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в различных сферах деятельности возникла необходимость делать текстовые и векторные пометки поверх имеющихся слоев данных ГИС. Ввод данных в ГИС все чаще требуется осуществлять при работе на выезде вдали от стационарных рабочих мест. Мобильные устройства могут подключаться к удаленным серверам по беспроводным каналам связи. С их помощью территориально распределенные пользователи могут оперативно вводить данные в ГИС.

В настоящее время веб-интерфейсы для ГИС с использованием данных ДЗЗ применяются лишь при подключении клиента по надежным проводным каналам связи, чаще в локальной проводной сети. Это связано с тем, что при работе с ГИС через веб-интерфейс в обычном браузере вводимые данные могут быть потеряны в случае сбоя соединения с сервером в момент отправки.

При работе мобильных клиентов с использованием беспроводных соединений часто возникают различные сбои и обрывы соединения с сервером. Это характерно для беспроводных соединений, поскольку они подвержены помехам и на их работоспособность влияет множество случайных факторов. Надежные каналы передачи данных при работе на выезде пользователям данных ГИС обычно недоступны.

В связи с этим актуальными являются задачи обеспечения отказоустойчивости системы «мобильное устройство – сервер» и обеспечения кроссплатформенности полученного решения, то есть возможности работы с различными операционными системами и видами мобильных устройств [1].

Несмотря на наличие различных систем программирования для создания приложений для мобильных устройств разного типа ни одна из них не может рассматриваться как средство создания кроссплатформенных отказоустойчивых приложений, поскольку они все привязаны к конкретным типам существующих мобильных платформ.

С увеличением числа мобильных платформ становится все труднее создавать отдельные клиентские приложения для ГИС для каждой платформы. Единственным по-настоящему эффективным средством для обеспечения кроссплатформенности является использование веб-интерфейсов. До недавнего времени веб-приложения не могли обеспечить отказоустойчивость при обрыве соединения с сервером, так как не имели средств резервирования данных.

С развитием стандарта HTML5 появилась возможность локального хранения данных средствами одного лишь веб-приложения, что требует от клиентского устройства лишь

наличия стандартного веб-браузера, который присутствует на всех существующих сегодня платформах [2].

Для решения задачи обеспечения отказоустойчивости веб-приложений автором разработана клиентская библиотека резервирования вводимых пользователем данных, использующая технологию организации локального хранилища данных HTML5 Local Storage [3] для сохранения данных пользовательского ввода для автоматического резервирования при потере соединения с сервером. В отличие от других способов организации программно изменяемого постоянного локального хранилища, доступного для веб-браузера, данная технология поддерживается всеми современными браузерами [4] для ПК (Chrome 4+, Firefox 3.5+, Safari 4+, Opera 10.5+, Internet Explorer 8+) и мобильных устройств (iOS Safari 3.2+, Android Browser 2.1+, Opera Mobile 11+, Internet Explorer Mobile 10+) без необходимости установки дополнительных плагинов.

Пока соединение с сервером возможно, пользователь даже не замечает того, что в его веб-приложении есть библиотека контроллера резервирования данных. Поскольку до подтверждения получения данных от сервера веб-клиент не может сказать, будут ли они успешно доставлены на сервер, все вводимые пользователем данные автоматически заносятся в локальное хранилище Local Storage перед отправкой на сервер, а после подтверждения получения сервером отправленных пользователем данных соответствующая запись в локальном хранилище Local Storage удаляется.

В случае отсутствия соединения с сервером пользователю выводится сообщение, что сервер недоступен, данные сохранены локально и будут отправлены на сервер автоматически при возобновлении соединения.

Если данные были успешно получены сервером, но разрыв соединения произошел в момент отправки сервером подтверждения, и подтверждение не было получено веб-браузером пользователя, то произойдет повторная отправка тех же данных при восстановлении соединения.

Обработка подобных ситуаций осуществляется с помощью серверного механизма контроля и учета версий для всех текстовых материалов, что позволяет избежать потери внесенных изменений, дублирования информации и коллизий совместного редактирования.

Схема работы клиентского контроллера резервирования вводимых пользователем данных показана на рисунке 1.

После того, как контроллер резервирования вводимых данных зафиксировал разрыв соединения с сервером, а введенные пользователем данные были сохранены локально, вступает в действие модуль проверки доступности сервера. Он автоматически посылает на сервер запросы о доступности с заданной в настройках периодичностью, пока не получит ответ сервера, что означает восстановление соединения.

После этого запускается процедура восстановления сохраненных данных, а пользователю выводится информационное сообщение о том, что есть локально сохраненные данные и система отправит их на сервер.

Отправка данных на сервер возможна при возобновлении соединения с сервером, даже если перед этим браузер был закрыт или устройство было выключено.

При восстановлении сохраненных данных на сервер сохраненные записи из локального хранилища Local Storage посылаются по очереди на сервер и удаляются из хранилища при получении подтверждения сервера о получении (ответ сервера «200 OK»).

Если при восстановлении сохраненных данных на сервер соединение с сервером будет нарушено, данные будут отправлены позже.

Поскольку и данные, и программный код веб-приложения сохраняются локально на устройстве пользователя, пользователь может продолжать работать с другими страницами приложения при потере соединения с сервером или закрыть браузер.

В случае закрытия браузера при следующем заходе на сайт веб-приложения будет автоматически запущена процедура проверки наличия сохраненных данных и их восстановления на сервер.

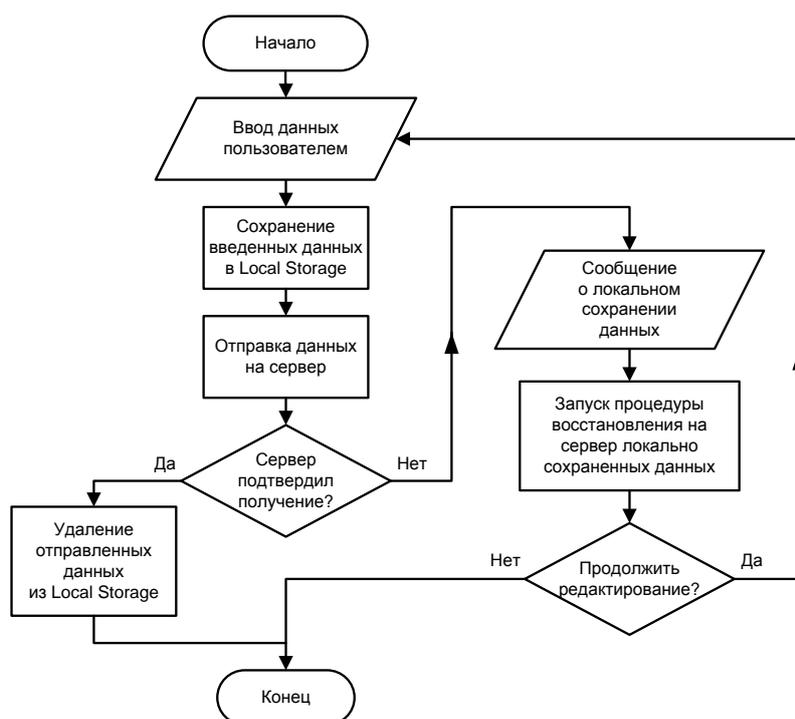


Рис. 1 – Схема процедуры отправки данных с резервированием

Схема работы контроллера резервирования данных при восстановлении сохраненных данных показана на рисунке 2.

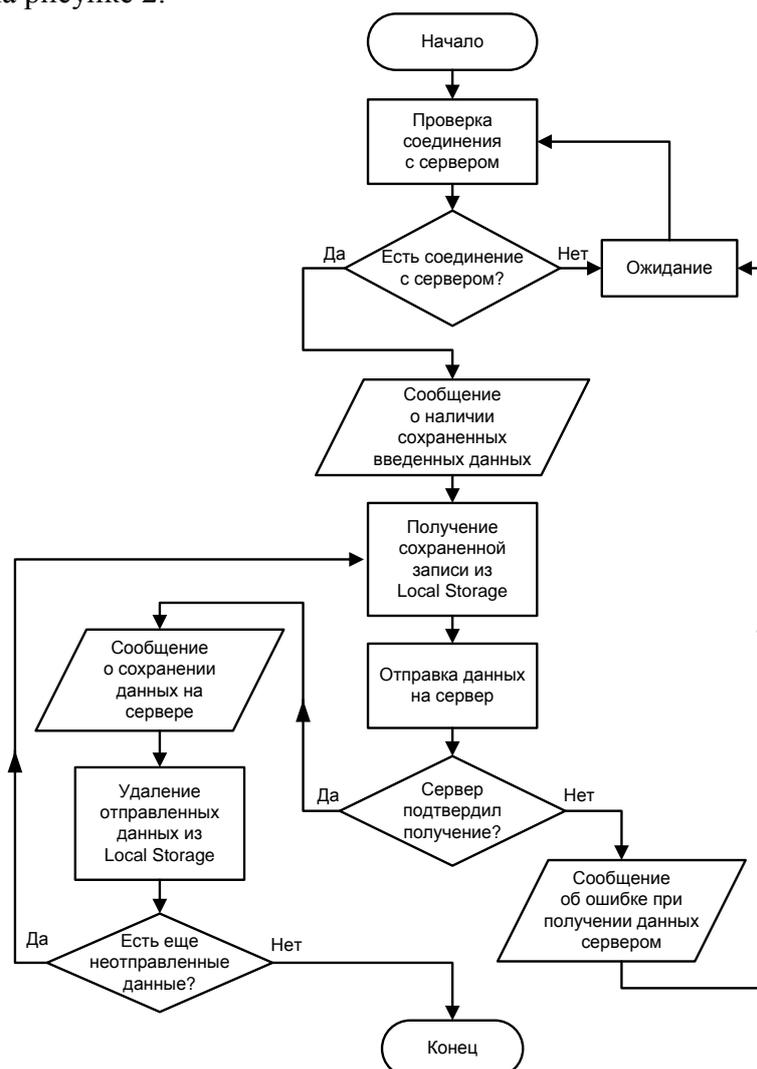


Рис. 2 – Схема процедуры восстановления сохраненных данных

Выводы. Использование предлагаемой библиотеки резервирования данных решает проблему потери вводимых пользователем данных при разрыве соединения клиента с сервером в момент отправки.

Разработанное решение позволяет эффективно устранить ряд недостатков, присущих веб-интерфейсам для ввода данных ГИС, а именно: обеспечивает единый подход к реализации клиентских веб-интерфейсов на JavaScript и HTML5; позволяет решить задачу обеспечения кроссплатформенности; обеспечивает резервирование вводимых пользователем данных при разрывах соединения с сервером и, в конечном итоге, обеспечивает надежность передачи данных между клиентской и серверной частью веб-приложения по любым каналам связи, как если бы они находились на одной физической вычислительной машине.

Предлагаемая реализация в виде клиентской библиотеки резервирования вводимых пользователем данных позволяет добавить перечисленные возможности любым уже существующим ГИС с использованием данных ДЗЗ с веб-интерфейсом при минимальных трудозатратах.

Это позволит разработчикам работать над созданием новых функций, а не над решением проблем поддержки очередной платформы, а пользователям – навсегда забыть о потерях вводимых данных, вызванных сбоями соединения клиента с сервером, и получить единую информационную среду на всех применяемых устройствах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №14-08-01028а.

Список литературы

1. Гинзбург И. Б., Падалко С. Н. Автономные веб-приложения для систем обработки космической информации [Электронный ресурс] // Журнал «Труды МАИ». – 2015. – №82. – Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=58832>
2. Гинзбург И. Б. Автономные отказоустойчивые веб-приложения для систем обеспечения доступа к данным дистанционного зондирования Земли [Электронный ресурс] // Журнал «Труды МАИ». – 2015. – №84. – Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=63149>
3. Web Storage (Second Edition). W3C Recommendation 19 April 2016 [Электронный ресурс] // Веб-сайт World Wide Web Consortium (W3C). – Режим доступа: <http://www.w3.org/TR/webstorage/> (дата обращения 10.06.2016)
4. Can I use Web Storage? [Электронный ресурс] // Can I use... Support tables for HTML5, CSS3, etc. – Режим доступа: <http://caniuse.com/namevalue-storage> (дата обращения 10.06.2016)

05.13.18

А.В. Казаков к.т.н., К.В. Бородулина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, Кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, Россия

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ КАНАЛОВ КАБЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ НА РАВНОМЕРНОСТЬ НАЛОЖЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ИЗ ВЫСОКОВЯЗКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В данной работе рассмотрена математическая модель процессов теплопереноса внутри канала кабельной головки. В процессе выполнения исследования были построены различные варианты моделей геометрии канала кабельной головки, и рассмотрено их влияние на скорость и температуру материала на выходе из канала. В результате работы была создана математическая модель, описывающая течение полимера с высокой вязкостью в канале кабельной головки.

Ключевые слова: течение полимерных материалов, высоковязкие материалы, численный анализ, каналы кабельной головки, трехмерная постановка задачи.

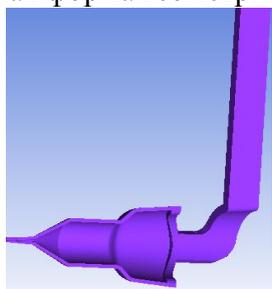
В качестве объекта исследования рассматривается трехмерное течение в канале кабельной головки. Предметом исследования является изменение картины теплового поля в зависимости и скорости в зависимости от геометрических размеров кабельной головки.

Цель исследования – исследование зависимости течения высоковязких полимерных материалов от геометрии канала с применением метода численного моделирования.

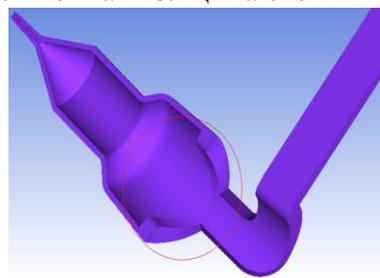
В данном направлении проводится множество исследований, как в России, так и за рубежом.

В работах [1-8] рассмотрены численные решения задач течения полимерных материалов в каналах различной формы.

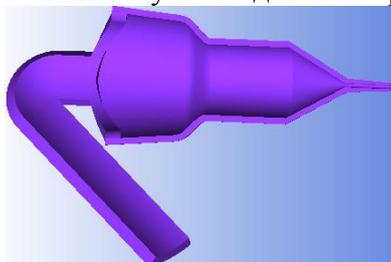
а) Исходная форма геометрии



б) Увеличенная толщина стенки канала



в) Измененный угол подачи материала



г) Упрощенная геометрия канала

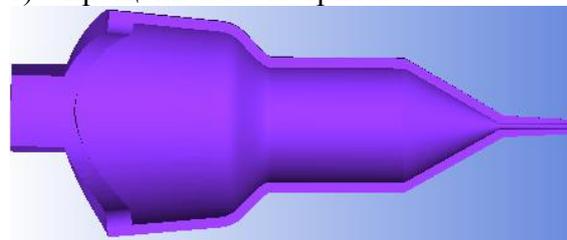


Рис. 1 – Рассматриваемые варианты геометрии

Было рассмотрено 4 различные модели, которые представлены на рисунке 1. Модели были получены путем изменения исходной модели (а): модель (б) – увеличением толщины стенки канала в два раза от исходной; модель (в) – изменением угла подачи материала от 90° до 135°; модель (г) – отсечением входного патрубка.

Математическая модель процесса описывается следующими уравнениями состояния:

1. Уравнение энергии: $c \cdot \rho \cdot v_i \frac{dT}{dx_i} = \lambda \Delta T + q_v$;

2. Уравнение движения: $\rho \cdot v_j \frac{dv_i}{dx_j} = \frac{dp}{dx_i} + \frac{d\tau_{i,j}}{dx_i}$;

3. Уравнение неразрывности: $-\rho \cdot \frac{dv_i}{dx_i} = v_i \frac{d\rho}{dx_i}$, где x_i – декартовы координаты; v_i –

компоненты вектора скорости (м/с); ρ , c , λ – плотность, теплоемкость, коэффициент теплопроводности (кг/м³, Дж/(кг·°C), Вт/(м·°C)); T – температура (°C); q_v – мощность внутренних источников тепла (Вт/м³); $\tau_{i,j}$ – компоненты девиаторного тензора напряжений;

4. Уравнение вязкости: $\mu = \mu_0 \exp(-\beta T) \left(\frac{I_2}{2}\right)^{\frac{n-1}{2}}$, где, μ_0 – начальная вязкость (Па·с); I_2 –

второй инвариант тензора скоростей деформаций; n – показатель аномалии вязкости; β – температурный коэффициент; T – температура (°C).

Граничные условия: На входе задается массовый расход посредством задания эпюры скорости; температура расплава равна температуре полимера на выходе из экструдера; на стенках формующего инструмента заданы условия прилипания и непроникновения; на неподвижных стенках задаются нулевые компоненты скорости; на границе контакта с токопроводящей жилой задаются температура и продольная компонента скорости; на выходе задается свободное истечение.

Были сделаны следующие допущения: процесс стационарный; теплофизические параметры постоянны; гравитационные силы не учитываются; упругие свойства не учитываются; вытяжка полимера за пределы кабельной головки не учитывается; цилиндрическая форма адаптера была заменена на прямоугольную эквивалентного сечения.

Сравним сечения поверхностных диаграмм во всех моделях геометрии, в которых наблюдается наибольшая неравномерность распределения температуры и скорости при фиксированном радиусе. Построим соответствующие диаграммы распределения скорости и температуры по сечениям, которые представлены на рисунках ниже.

На рис. 1 величина коэффициента при квадрате (a) показывает, на сколько линия отличается от прямой (чем он больше, тем линия сильнее отличается от прямой). Соотношение коэффициента неравномерности и соответственной модели канала приведено в таблицах 1 и 2.

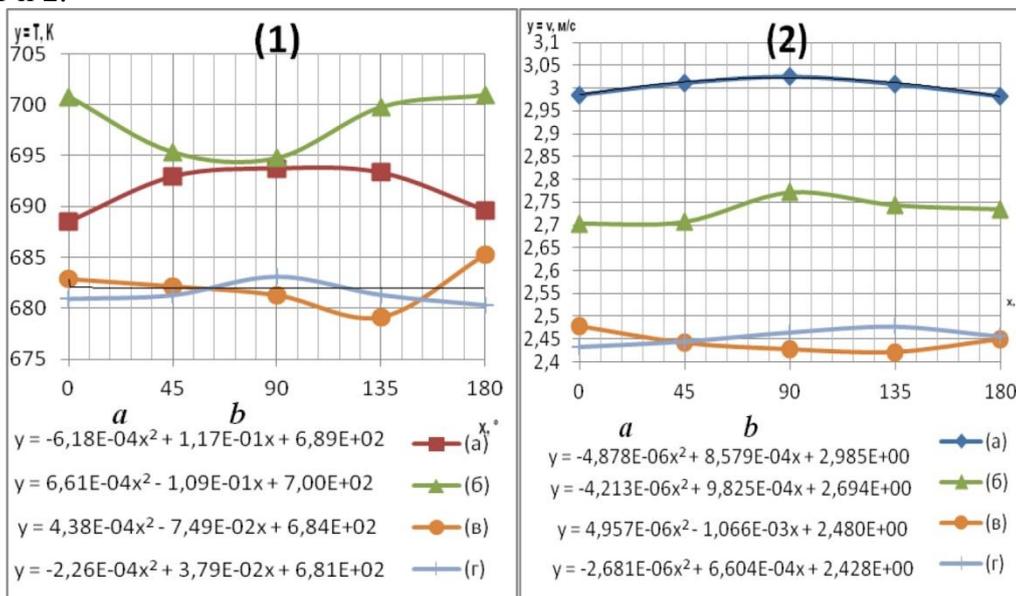


Рис. 2 – Распределение температуры (1) и скорости (2) по сечениям

Таблица 1 – Соотношение коэффициента неравномерности распределения температуры (a , b) и соответственной модели канала

Модель канала (рис. 1)	Коэф.неравномерности распределения температуры (a)	Коэф.неравномерности распределения температуры (b)
а) Исходная форма геометрии	$6,18 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-1}$
б) Модель канала с увеличенной толщиной стенки	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$1,09 \cdot 10^{-1}$
в) Модель канала с измененным углом подачи материала	$4,38 \cdot 10^{-4}$	$7,49 \cdot 10^{-2}$
г) Упрощенная геометрия канала	$4,37 \cdot 10^{-4}$	$7,6 \cdot 10^{-2}$

В результате проведенного исследования можно заключить, что модель канала, представленного на рис. 1а, имеет наибольшие коэффициенты неравномерности распределения температуры ($a=6,18 \cdot 10^{-4}$, $b=1,17 \cdot 10^{-1}$) следовательно, распределение температуры в данной модели наиболее неравномерно.

Таблица 2 – Соотношение коэффициента неравномерности распределения скорости (a , b) и соответственной модели канала

Модель канала (рис. 1)	Коэф.неравномерности распределения скорости (a)	Коэф.неравномерности распределения скорости (b)
а) Исходная форма геометрии	$4,878 \cdot 10^{-6}$	$8,579 \cdot 10^{-4}$
б) Модель канала с увеличенной толщиной стенки	$4,213 \cdot 10^{-6}$	$9,825 \cdot 10^{-4}$
в) Модель канала с измененным углом подачи материала	$4,957 \cdot 10^{-6}$	$1,066 \cdot 10^{-3}$
г) Упрощенная геометрия канала	$2,68 \cdot 10^{-6}$	$6,604 \cdot 10^{-4}$

По данным исследования видно, что модель канала, представленного на рисунке 1е, показывает наибольшие коэффициенты неравномерности распределения скорости ($a=4,957 \cdot 10^{-6}$, $b=1,066 \cdot 10^{-3}$), следовательно, распределение скорости в данной модели наиболее неравномерно.

Кроме этого для оценки неравномерности распределения скорости и температуры материала на выходе из канала, ввели дополнительный коэффициент, показывающий процентное соотношение минимального и максимального значения температуры и скорости при рассматриваемом радиусе канала ($k_T = \left(1 - \frac{T_{\max}}{T_{\min}}\right) \cdot 100\%$ и $k_v = \left(1 - \frac{v_{\max}}{v_{\min}}\right) \cdot 100\%$). Он

высчитывался по абсолютному значению отношения максимального значения показателя к минимальному. Данные расчета представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Соответствие модели канала и коэффициентов k_T и k_v

Модель канала (рис. 1)	k_T , %	k_v , %
а) Исходная форма геометрии	0,76	1,47
б) Модель канала с увеличенной толщиной стенки	0,88	2,56
в) Модель канала с измененным углом подачи материала	0,9	2,38
г) Упрощенная геометрия канала	0,41	1,87

Анализируя данные таблицы 3, можно прийти к выводу, что наиболее неравномерное распределение температуры материала на выходе из канала показывает модель рис. 1в, а по скорости – модель рис. 1б.

Если рассматривать параметры k_T , k_v , a , b совместно, то можно сделать вывод, что модель канала с упрощенной геометрией (рис.1г) дает наиболее равномерное распределение как температуры, так и скорости; а модель канала с измененным углом подачи материала (рис. 1в) дает наименее равномерные распределения.

Анализ расчетных данных показал степень влияния сложной геометрии каналов истечения высоковязких полимерных материалов на распределение потоков. Геометрические параметры канала кабельной головки влияют на характер течения полимерного материала.

Полученные результаты позволяют не только оценить возможность переработки таких материалов, как фторопласт, но и оценить равномерность наложения (а, следовательно, и качество) готового покрытия численным критерием.

Список литературы

1. *Бачурина М.В., Казаков А.В., Труфанова Н.М.* Математическое моделирование процесса стратифицированного течения расплавов полимеров в осесимметричной постановке. - Вестник ПНИПУ. – 2014. - №2. – с. 102-124.
2. *Казаков А.В., Труфанова Н.М.* Численное моделирование процесса течения полимера в кабельной головке и анализ зависимости параметров процесса от некоторых теплофизических свойств материала. - Вестник ПНИПУ. – 2009. - №1. – с. 130- 136.
3. *Гущин В.А., Матюшин П.В.* Математическое моделирование течений не сжимаемой жидкости. - Труды МФТИ. – 2009. - №4. – с. 18 – 33.
4. *Кутузова М.А., Кутузов А.Г., Кутузова Г.С.* Течение вязкоупругой жидкости FENE-P в формирующей головке экструдера. – с. 145 – 147.
5. *Шишлянников В.В.* Теплообмен неньютоновских жидкостей при течении в круглой трубе. - Известия ВолгГТУ. – с. 53 - 55.
6. *Хаметова М.Г.* Об особенностях стационарного распределения температуры расплава полимера в экструдере, вызванных теплообменом. - Известия МГТУ «МАМИ». – 2012. – №2. – с. 110 - 116.
7. *Колодежнов В.Н., Березнёв О.Г.* Математическое моделирование и анализ поведения неньютоновских жидкостей с пределом применимости степенного закона вязкости. - Воронежская государственная технологическая академия. – 2009. - №2. – с. 52-60.
8. *Лавров С.В.* Синтез математической модели течения вязкой неньютоновской жидкости в канале со сложной геометрией и идентификация ее параметров.

05.13.00

Т.К. Ксенофонтова, к.т.н.

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, факультет гидротехнического агропромышленного и гражданского строительства, кафедра инженерных конструкций, Москва, ksentanya@yandex.ru

МЕТОДИКА УЧЕТА ВЛИЯНИЯ РЕАКТИВНОГО ОТПОРА ГРУНТА ПРИ РАСЧЕТЕ ПОДЗЕМНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ

Подземные железобетонные трубы считаются жесткими конструкциями, поэтому при их расчете не учитывается реактивный отпор грунта, возникающий при деформации труб, в результате чего получаются значительно завышенные внутренние усилия. В статье приведена методика, позволяющая с помощью современных программных комплексов учитывать в расчете отпор грунта, величина которого характеризуется перемещениями стенки труб с учетом образования в них трещин.

Ключевые слова: подземные железобетонные трубы, реактивный отпор грунта, трещиностойкость железобетонных труб, метод конечных элементов.

При расчете подземных железобетонных труб считается, что они являются жесткими конструкциями, их деформации малы и, следовательно, влияние отпора грунта на работу труб невелико. Однако, как показывают расчеты [1, с. 61], [2, с. 80] и [3, с. 58–61], вследствие образования трещин в оболочке трубы, гибкость ее увеличивается, поэтому в трубах, при эксплуатации которых допускаются трещины, отпор грунта может оказать существенное влияние.

Были рассмотрены подземные железобетонные трубы, которые опирались на спрофилированное грунтовое основание и на железобетонный фундамент. После укладки труб на основание или фундамент выполнялась их обратная засыпка грунтом. Расчет выполнялся в условиях плоско-деформированного состояния при рассмотрении в расчете кольца трубы шириной 1 пог. м.

Расчет подземных труб с учетом отпора грунта проводился в следующей последовательности. Вначале выполнялся расчет трубы без учета отпора грунта в зоне обратной засыпки. В зоне опоры трубы отпор грунта учитывался: в зоне спрофилированного грунтового основания и, в случае опоры трубы на фундамент, – по подошве фундамента. Расчет труб выполнялся методом конечных элементов с помощью программного комплекса «ЛИРА-САПР 2013», в котором реализована модель грунтового основания П. Л. Пастернака с двумя коэффициентами постели.

В ходе расчета вычислялись перемещения оболочки трубы в грунтовом массиве и определялись участки оболочки, перемещения которых направлены в сторону грунта. На рис. 1 розовым цветом показана деформированная схема кольца трубы в случае ее опоры на спрофилированное грунтовое основание, из которой следует, что нижняя часть его имеет перемещения, направленные в сторону грунта.

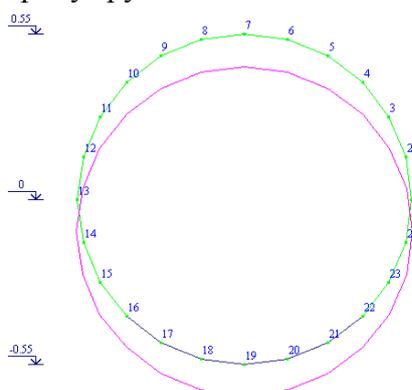


Рис. 1 – Расчетная и деформированная схемы кольца подземной железобетонной трубы

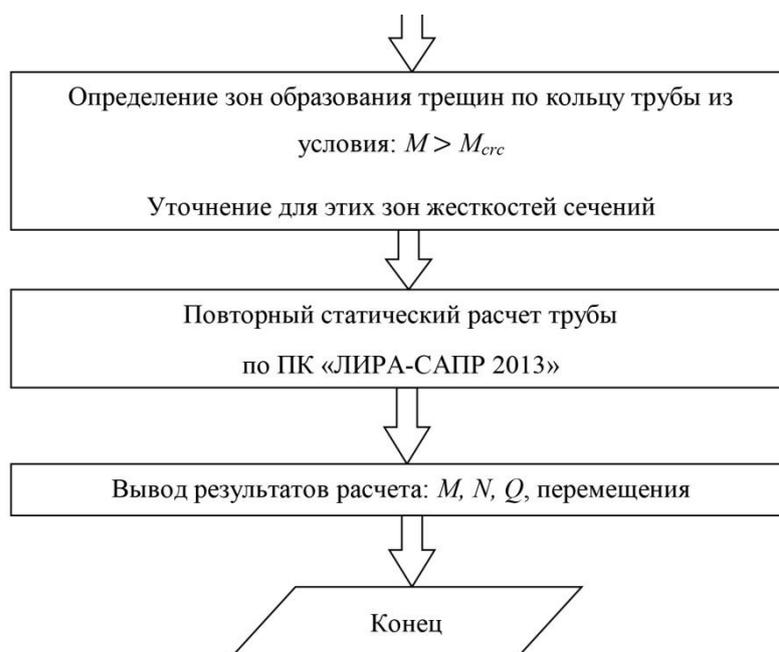
Для этих участков (зоны между узлами 13...16 и 1...22) определялось среднее давление грунта, направленное по нормали к оболочке трубы. На основе полученных значений с помощью ПК «ЛИРА-САПР 2013» вычислялись значения коэффициентов постели. Далее расчет выполняется повторно. На основе полученных внутренних усилий в оболочке трубы определяются зоны образования трещин. Для этих зон производилось определение новых жесткостей сечений по [4, с. 87], и расчет повторялся вновь.

Ниже показана блок-схема расчета подземных железобетонных труб с учетом отпора грунта и образования трещин. В исходных данных приняты обозначения: D – средний диаметр оболочки трубы; h – толщина стенки оболочки трубы; E_b – модуль упругости бетона; E_0 – модуль деформации грунта основания; E_{0z} – модуль деформации грунта обратной засыпки; φ – угол внутреннего трения грунта; γ_p – удельный вес грунта; H_p – глубина засыпки над верхом трубы.

Проверка образования трещин в расчетных сечениях трубы проводилась на основе сравнения расчетного изгибающего момента M с моментом трещиностойкости сечения M_{cr} . Трещины в сечении образуются, если выполняется условие – $M > M_{cr}$.

БЛОК-СХЕМА РАСЧЕТА ПОДЗЕМНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ С УЧЕТОМ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН И ОТПОРА ГРУНТА





Оценка влияния отпора грунта на внутренние усилия в оболочке трубы проводилась на примере расчета трубы диаметром 1000 мм. Труба опиралась на спрофилированное грунтовое основание, сложенное суглинками, с углом охвата 90^0 . Грунт обратной засыпки – мелкозернистый песок с коэффициентом пористости 0,65 и модулем деформации $E_{0z} = 28$ МПа. Глубина заложения – 3 м.

В табл. 1 приведены данные по изгибающим моментам в опасных сечениях трубы с учетом образования трещин и отпора грунта и без учета этих факторов.

Таблица 1 – Изгибающие моменты в трубе $\varnothing 1000$ мм, кН·м/м

№	Вид расчета	Сечение трубы		
		шельга	лоток	боковое сечение
1	Без учета трещин и отпора грунта	5,567	6,174	5,978
2	С учетом трещин, но без отпора грунта	4,754	4,892	5,820
3	Без учета трещин и с учетом отпора грунта	4,104	3,156	4,037
4	С учетом трещин и отпора грунта	2,215	3,679	4,598

Как видно из табл. 1, учет отпора грунта и образования трещин в работе кольца подземной трубы приводит к значительному перераспределению усилий. Так в шельге трубы за счет отпора грунта изгибающий момент уменьшился с 5,567кНм/м до 4,104кНм/м, что составляет 26,2%.

Аналогичные результаты получены и для труб других диаметров при различной глубине заложения.

Список литературы

1. *Виноградов С.В.* Влияние упругого отпора грунта на прочность подземной железобетонной трубы. – Труды / МГМИ. – М., 1979, т. 64, с. 59 – 65.
2. *Ксенофонтова Т.К.* Расчет подземных железобетонных труб с учетом трещинообразования и нелинейной работы грунта. Сб.: Материалы международной научно-практической конференции «Роль природообустройства сельских территорий в обеспечении устойчивого развития АПК», ч. II. – М., МГУП, 2007, с.77 – 80.
3. *Ксенофонтова Т.К.* Влияние жесткости основания на работу подземных труб, уложенных на фундамент. Сб.: Расчет конструкций мелиоративных сооружений. – М., МГМИ, 1990, с. 56 – 62.
4. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Пересмотр СП 63.13330.2011 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Введен в действие 1.01.2013 г. – М., 2012. – 155 с.

05.13.19

А.А. Медведев, Е.Н. Созинова, к.т.н.

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики,
факультет информационной безопасности и компьютерных технологий,
кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз,
Санкт-Петербург, a.medvedev.spb@mail.ru s.ekaterina-nik@mail.ru

КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Автор рассматривает основные термины, необходимые для более подробного изучения проблематики обеспечения информационной безопасности критически важных информационных систем, обозначает основные признаки принадлежности объекта к критически важным и кратко описывает алгоритм обеспечения информационной безопасности.

Ключевые слова: критически важные информационные системы, ключевая информация, информационная безопасность, ключевая система информационной инфраструктуры.

Сегодня не вызывает сомнений необходимость денежных вложений в обеспечение информационной безопасности современного крупного бизнеса. Именно по этому, очень важную роль в успешном развитии любой организации играет эффективное обеспечение информационной безопасности (ИБ). Особое внимание следует уделять тем организациям, где функционируют критически важные информационные системы (КВИС), хранится и обрабатывается критически важная информация (КВИ). На сегодняшний день, нет общепринятого определения термина «критически важная информационная система». Для более подробного изучения проблематики обеспечения ИБ КВИС, в первую очередь, необходимо дать определение этому термину.

Система - это образующая единое целое совокупность материальных и нематериальных объектов, объединенных некоторыми общими признаками, назначениями, свойствами, целями, условиями существования, жизнедеятельности, функционирования и т.д. Системы значительно отличаются между собой как по составу, так и по главным целям.

Информационная система (ИС) - это взаимосвязанная совокупность информационных, технических, программных, математических, организационных, правовых, эргономических, лингвистических, технологических и других средств, методов, а также персонала, используемых для сбора, обработки, хранения и выдачи информации в интересах достижения поставленной цели.

Общую структуру информационной системы можно рассматривать как совокупность подсистем независимо от сферы применения. В этом случае, структура любой информационной системы может быть представлена совокупностью обеспечивающих подсистем.

Критически важная система (КВС) – это система, которая осуществляет управление, регулирует деятельность или управляет обеспечением критически важного объекта (КВО) или процесса (КВП).

Нарушение процессов нормального функционирования КВС может привести к срыву выполнения жизненно важных функций государственного управления, управления войсками, оружием, экологически опасными и экономически важными производствами и т.д. и, как следствие, недопустимому ущербу национальным интересам, жизни и здоровью людей.

Таким образом, можно сделать вывод, что «Критически важная информационная система» - это взаимосвязанная совокупность информационных, технических, программных, математических, организационных, правовых, эргономических, лингвистических, технологических и других средств, методов, а также персонала, используемых для сбора,

обработки, хранения и выдачи ключевой информации для управления, регулировки деятельности или управления информационным обеспечением критически важного объекта или процесса.

Ключевая информация — это обрабатываемая в КВИС информация о состоянии КВО или КВП, информация о КВИС (о ее составе, характеристиках программного и программно-аппаратного обеспечения, размещении, коммуникациях и др.), которая в случае ее хищения (ознакомления с ней) может быть непосредственно использована для деструктивных информационных воздействий на КВИС; а также иная информация, уничтожение, блокирование или искажение которой может привести к нарушению функционирования КВИС.

Критически важный объект (КВО) - объект, нарушение (или прекращение) функционирования которого приводит к потере управления, разрушению инфраструктуры, необратимому негативному изменению (или разрушению) организации, предприятия, экономики страны, субъекта Российской Федерации либо административно-территориальной единицы или существенному ухудшению безопасности жизнедеятельности населения, проживающего на этих территориях, на длительный срок.

Основным признаком принадлежности объекта к критически важным является наличие на объекте экологически опасного или социально значимого производства или технологического процесса, нарушение штатного режима которого приводит к чрезвычайной ситуации определенного уровня и масштаба, а также наличие на объекте информационной системы (элементов системы), которая осуществляет функции управления важными для Российской Федерации или организации процессами и нарушение функционирования которой приводит к значительным негативным последствиям.

После отнесения объекта к КВО, определяется и ключевая информация, а так же её содержание и место нахождения. Далее производится оценка возможных последствий нарушения целостности данных - ключевой и информационной безопасности. После необходимо установить ограничения и правила допуска лиц к ключевой информации. Затем специалисты ищут потенциальные угрозы ИБ. После их выявления моделируются опасные ситуации и оценивается степень риска при условии их возникновения. Далее определяется вероятность физического доступа к месту хранения ключевой информации. И только после этого составляется концепция информационной безопасности и разрабатываются средства по её формированию и поддержанию.

Тема защиты КВО и КВИС не нова. В 2005-2007 годах были разработаны такие документы, как:

Совет безопасности РФ:

- Совет Безопасности 08.11.2005 «Система признаков критически важных объектов и критериев отнесения функционирующих в их составе информационно-телекоммуникационных систем к числу защищаемых от деструктивных информационных воздействий».

ФСТЭК:

- «Базовая модель угроз безопасности информации в ключевых системах информационной инфраструктуры» (утв. ФСТЭК России 18.05.2007);
- «Методика определения актуальных угроз безопасности информации в ключевых системах информационной инфраструктуры» (утв. ФСТЭК России 18.05.2007);
- «Общие требования по обеспечению безопасности информации в ключевых системах информационной инфраструктуры» (утв. ФСТЭК России 18.05.2007);
- «Рекомендации по обеспечению безопасности информации в ключевых системах информационной инфраструктуры» (утв. ФСТЭК России 19.11.2007).

При рассмотрении данной темы, необходимо ввести еще один, не менее важный термин и часто используемый термин – это Критически важная или ключевая система информационной инфраструктуры (КСИИ).

КСИИ - это информационно-управляющая или информационно-телекоммуникационная система, которая осуществляет управление КВО / КВП, или информационное обеспечение управления таким объектом (процессом), или официальное информирование граждан, и в результате деструктивных информационных воздействий на которую может сложиться чрезвычайная ситуация, или будут нарушены выполняемые системой функции управления со значительными негативными последствиями.

Изучив основные термины и определения из исследуемой области, можно сделать вывод, что критически важные информационные системы – это достаточно широкое понятие. Вследствие деструктивного воздействия на КВИС может возникнуть ЧС, неприемлемый ущерб или нарушение функционирования системы управления со значительными негативными последствиями. Именно поэтому необходимо и важно управлять информационной безопасностью критически важных информационных систем.

Список литературы

1. *Мухин И.Н.* Анализ рисков управления информационной безопасностью предприятия как этап комплексной защиты объектов информатизации // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки.- 2012.- № 4-5.- С. 33-37.
2. *Родина Ю.В.* Информационная безопасность и риски информационной безопасности. интерпретация понятий // В сборнике: Экономика и менеджмент: от теории к практике, сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Инновационный центр развития образования и науки. г. Ростов-на-Дону.- 2014.- С. 122-124.
3. *Васильев В.* Информационная безопасность критически важных объектов // PC Week Review: ИТ-безопасность, сентябрь 2013
4. Критически важные объекты и кибертерроризм. – М.: МЦНМО, 2008. [Под ред. В.А. Васенина] Часть 1. Системный подход к организации противодействия. – 398 с. Часть 2. Аспекты программной реализации средств противодействия. – 607

05.13.19

А.А. Медведев, Е.Н. Созинова, к.т.н.

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики,
факультет информационной безопасности и компьютерных технологий,
кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз,
Санкт-Петербург, a.medvedev.spb@mail.ru s.ekaterina-nik@mail.ru

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Автор рассматривает основные этапы управления информационной безопасностью критически важных информационных систем, предлагает алгоритм управления, описывает цели и задачи каждого этапа.

Ключевые слова: критически важные информационные системы, управление, информационная безопасность, риски, ключевая информация.

Управление информационной безопасностью – важный вид деятельности, целью которого является контроль процессов обеспечения информацией и предотвращение ее несанкционированного использования. То есть, по своей сути, управление информационной безопасностью является управлением информационными рисками, нацеленным на достижение приемлемого уровня этих рисков.

Управление информационной безопасностью — это циклический процесс, включающий осознание степени необходимости защиты информации и постановку задач; сбор и анализ данных о состоянии информационной безопасности в организации; оценку информационных рисков; планирование мер по обработке рисков; реализацию и внедрение соответствующих механизмов контроля, распределение ролей и ответственности, обучение и мотивацию персонала, оперативную работу по осуществлению защитных мероприятий; мониторинг функционирования механизмов контроля, оценку их эффективности и соответствующие корректирующие воздействия.

Управление информационной безопасностью критически важных информационных систем – это циклический процесс, который обеспечивает конфиденциальность, целостность и доступность критически важной информации и включающий в себя различные мероприятия по анализу, планированию, оценке, контролю, реализации, поддержке и обеспечению информационной безопасности критически важных информационных систем.

Основные этапы управления информационной безопасностью критически важных информационных систем:

Этап №1: анализ. Прежде чем приступить к управлению информационной безопасностью КВИС, необходимо тщательно проанализировать уже существующую систему информационной безопасности, а так же системы хранения и обработки КВИ.

Есть три основных шага, которые необходимо для этого сделать:

1. Выявление критически важной информации;
2. Выявление слабых мест в системе информационной безопасности и анализ бизнес-процессов;
3. Оценка возможностей (необходимой степени) защиты этой информации.

Выявление критически важной информации. На этом этапе происходит определение тех документов и данных, безопасность которых имеет огромное значение для компании, а утечка – несет огромные убытки.

Выявление слабых мест в корпоративной безопасности. Эта задача выполняется непосредственно специалистами, проводящими аудит. От результатов этой работы зависит выбор схемы построения информационной безопасности. При выявлении брешей в информационной и, как следствие, корпоративной безопасности оцениваются не только

технические средства. Важно также оценить лояльность работников к руководству и взаимоотношения в коллективе – всё это входит в обязанности отдела по работе с персоналом.

Оценка возможностей (необходимой степени) защиты информации. Это завершающий подэтап, в ходе которого на основании проведенного анализа составляется список конкретных мер, которые необходимо принять для достижения определенной степени защиты. Рекомендации могут носить как технический, так и организационный характер. Кроме того, анализируются и финансовые возможности компании по защите информации, поскольку многие средства защиты информации могут оказаться слишком дорогими для предприятия.

Этап №2: контроль. На данном этапе, происходит формирование системы управления информационной безопасностью в рамках организации и формирование организационной структуры для подготовки, утверждения и реализации Политики информационной безопасности.

Так же, немаловажно произвести четкое распределение ответственностей и сформировать документации по контролю. Цель данного этапа – это организовать правильную работу и основать структуру.

Этап №3: планирование. Цель планирования - разработать и рекомендовать подходящие метрики и способы измерения информационной безопасности. В первую очередь планирование должно учитывать требования и особенности конкретной организации. Источниками информации для формирования требований к информационной безопасности являются бизнес-риски, планы, стратегия, соглашения. При этом важно учитывать моральную, законодательную и этическую ответственности в контексте информационной безопасности.

Этап №4: реализация. Цель реализации - обеспечение подходящих процедур, инструментов и контролей безопасности для поддержки необходимого, заранее согласованного уровня обеспечения информационной безопасности и управление рисками информационной безопасности. В рамках реализации проводятся следующие мероприятия: идентификация активов, категорирование активов, определение ценности активов, классификация информации, определение и классификация критически важной информации, анализ уязвимостей, анализ рисков, составление модели угроз, составление модели нарушителя.

Этап №5: оценка. На данном этапе производится экспертиза для оценки реального уровня защищенности критически важных информационных систем. Цель оценки: проверка соответствия политики информационной безопасности требованиям к информационной безопасности, определение критериев для проведения экспертизы, определение реального уровня защищенности информационных систем, предоставление информации для регуляторов и внешних аудиторов при необходимости.

Этап №6: поддержка. Суть данного этапа заключается в периодическом мониторинге и анализе рисков и уязвимостей КВИС. Цели поддержки: улучшение системы защиты информации КВИС, совершенствование средств и контролей информационной безопасности, поддержка надлежащего уровня информационной безопасности КВИС, достижение наиболее эффективного управления ИБ КВИС, достижение приемлемого уровня рисков информационной безопасности.

Информационная безопасность не является самоцелью, она должна служить интересам бизнеса и организации. Информационная безопасность должна соответствовать уровню важности информации. Безопасность планируется путем соблюдения баланса между мерами безопасности, ценностью информации и существующими угрозами в среде обработки.

Для поддержания необходимого и должного уровня ИБ КВИС необходимо создать качественную систему управления информационной безопасности (СУИБ). В организациях, существование которых значительно зависит от информационных технологий, могут быть использованы все инструменты для защиты КВИ. Тем не менее, безопасность информации

необходима для потребителей, партнеров по сотрудничеству, других организаций и правительства. В связи с этим, для защиты ценной информации, необходимо что бы каждая организация стремилась к той или иной стратегии и реализации системы безопасности на её основе. Система управления информационной безопасностью является частью комплексной системы управления, основанной на оценке и анализе рисков, для разработки, реализации, администрирования, мониторинга, анализа, поддержания и повышения информационной безопасности и ее реализации, полученных из целей организации и требования, требования безопасности, используемых процедур и размерах и структуре ее организации.

Список литературы

1. *Астахов А.М.* Искусство управления информационными рисками. - ДМК Пресс, 2010. - 314 с.
2. *Мухин И.Н.* Анализ рисков управления информационной безопасностью предприятия как этап комплексной защиты объектов информатизации // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки.- 2012.- № 4-5.- С. 33-37.
3. Критически важные объекты и кибертерроризм. – М.: МЦНМО, 2008. [Под ред. В.А. Васенина] Часть 1. Системный подход к организации противодействия. – 398 с. Часть 2. Аспекты программной реализации средств противодействия. – 607
4. *Родина Ю.В.* Информационная безопасность и риски информационной безопасности. интерпретация понятий // В сборнике: Экономика и менеджмент: от теории к практике, сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Инновационный центр развития образования и науки. г. Ростов-на-Дону.- 2014.- С. 122-124.
5. *Васильев В.* Информационная безопасность критически важных объектов // PC Week Review: ИТ-безопасность, сентябрь 2013

05.13.06

И.С. Надеждин, А.Г. Горюнов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Физико-технический институт, кафедра электроники и автоматики физических установок,
Томск, kun9@list.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ЛУНОК НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ШАРИКОВ

Работа посвящена разработке математической модели формирования эрозионных лунок на поверхности металлических шариков в водном растворе под действием электрических импульсов. Результаты моделирования были сопоставлены с экспериментальными данными.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, металлические шарики, очистка воды, электроэрозионные лунки.

Применение электрической энергии в физико-химических методах очистки воды составляет основную концепцию новых методов.

Цель данной статьи разработка математической модели образования электроэрозионных лунок на поверхности металлических шариков в водном растворе под действием электрических импульсов. Математическая модель будет использоваться для разработки системы управления электроэрозионной установкой очистки воды и оптимизации энергозатрат на процесс водоподготовки.

Электроэрозионной обработки материалов основана на вырывании частиц с поверхности материала с помощью коротких электрических импульсов. Технологии водоочистки на основе электроэрозионной обработки металла заключается в следующем. В бак-реактор засыпают металлические шарики, диаметром 0,6-1 см. Через бак прокачивают воду, содержащую вредные примеси. Через загруженные шарикам пропускают токи короткой длительности. Под действием токов на поверхности загруженных металлических шариков происходит процесс электрической эрозии. Выделившиеся продукты эрозии являются высокодисперсными частицами металла. Размер диспергированных частиц составляет примерно от 10-100 нм. Продукты эрозии металла в процессе разряда переходят через жидкую фазу с окислением водой и кислородом. Образовавшиеся гидроксиды и оксиды металла, являются активированными коагулянтами, которые сорбируют примеси вредных веществ, содержащиеся в воде.

Для определения концентрации примесей в очищаемой воде необходимо определить массу продуктов электроэрозии. Объем образовавшейся лунки на шарике в результате электроэрозии пропорционален массе образовавшихся продуктов эрозии. Таким образом, для определения количества диспергированного материала необходимо определить параметры лунок, образуемых в результате электрической эрозии.

При разработке модели электроэрозионной очистки воды принимают следующие допущения:

- радиус лунки (R_s) является функцией от тока и длительности разряда. Данное допущение обоснован в работе [1];
- наплывом металла по краям образующихся лунок пренебрегаем, считая, что водой уносится 100 % выделившихся продуктов эрозии;
- распределение тепла на поверхности шариков имеет Гауссовское распределение;
- объем образовавшейся лунки (кратера) равен объему параболоида вращения. Это допущение обосновано в работе [2].

Количество энергии или тепловой поток поступающий на поверхность металлического шарика имеет Гауссовское распределение и определяется следующим соотношением:

$$q(r) = \frac{4,45 \cdot f \cdot U \cdot I}{\pi \cdot R_s^2} \cdot \exp\left(-4,5 \cdot \left(\frac{r}{R_s}\right)^2\right) \quad (1)$$

В выражении (1), f доля тепла, поступившая в металлический шарик; U напряжение разряда (В); I ток разряда (А), R_S радиус лунки (мкм). Радиус искры определяется соотношением:

$$R_S = 2,04 \cdot \exp(-3) \cdot I^{0,43} \cdot t_{on}^{0,44} \quad (2)$$

В выражении (2), t_{on} длительность импульса (мкс). Эффективная доля тепла (f), поступившая в металлический шарик определяется следующим соотношением:

$$f = 5,672 + 0,2713 \cdot I^{0,5598} \cdot t_{on}^{0,4602} \quad (3)$$

В (3), f определяется в %. Использование выражения (3), для определения доли поступившего тепла, описано и обосновано в работе [3].

Для определения объема, образовавшихся продуктов эрозии, необходимо определить глубину лунки. Нагревание шарика происходит не бесконечно, а до температуры плавления железа, после чего металл выбрызгивается, образуя лунку. Поэтому глубина лунки зависит от теплопроводности материала, температуры кипения и от величины теплового потока на поверхности шарика. Глубина лунки определяется из выражения:

$$h_{лун} = \frac{q(r)}{K \cdot (T_{плав} - T_0)} \quad (4)$$

В выражении (4), K – теплопроводность металла (Вт/К·м); $T_{плав}$ – температура плавления металла (К); T_0 начальная температура шариков в аппарате (К). Основываясь на допущении, принятом ранее, объем образовавшейся лунки определяется следующим выражением:

$$V_{лун} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot R_S \cdot h_{лун} \quad (5)$$

Разработанная математическая модель электроэрозионной очистки воды была реализована в пакете MATLAB. Были заданы следующие параметры электрического импульса: $I = 60$ А, $U = 100$ В, $t_{on} = 10^{-6}$ сек. Полученные результаты моделирования представлены на рисунках 1-3.

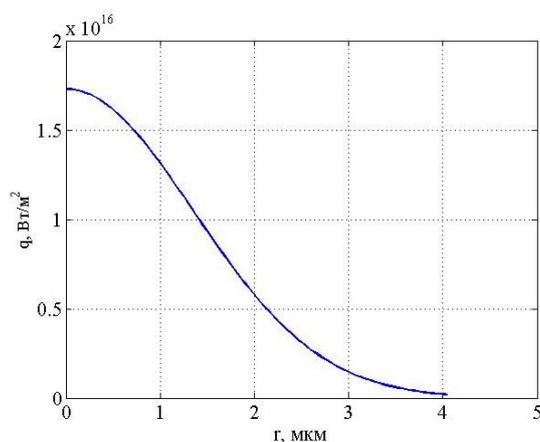


Рис. 1 – Распределение энергии на поверхности шарика

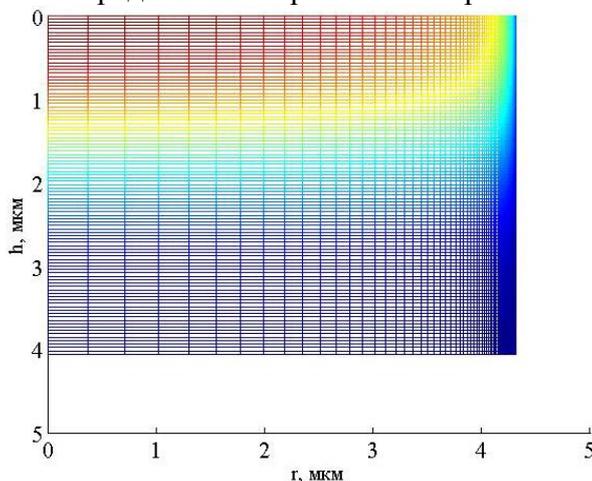


Рис. 2 – Распределение температуры внутри шарика

Как видно на рисунке 1, с удалением от эпицентра электрического разряда энергия (тепловой поток) рассеивается по нормальному закону распределения. Под действием теплового потока происходит нагревание шарика. Распределение температуры в шарике представлено на рисунке 2.

В результате действия теплового потока на поверхность шарика образуется лунка. Ассиметричное изображение полученной лунки представлено на рисунке 3.

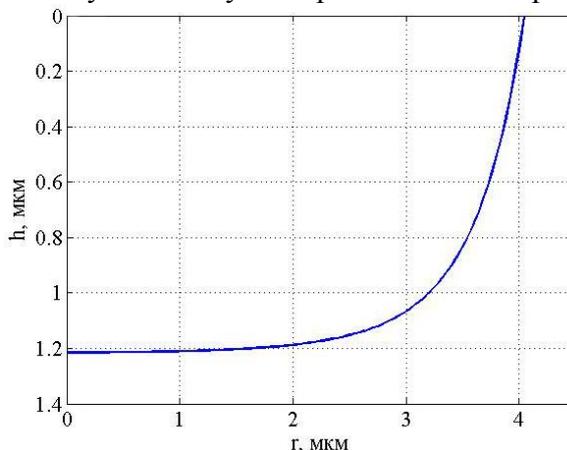


Рис. 3 – Ассиметричное изображение образовавшейся лунки

Используя выражение (7) определили объем образовавшейся лунки в результате одного электрического разряда. Для оценки адекватности разработанной математической модели сопоставили экспериментальные данные полученные в результате обработки шариков при разных параметрах электрических импульсов. Результаты сопоставления и параметры электрических импульсов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сопоставление расчетных и экспериментальных данных

№ экс.	Параметры электрических импульсов			$V_{\text{лун.}}, \text{ мкм}^3, \text{ модель}$	$V_{\text{лун.}}, \text{ мкм}^3, \text{ эксперимент}$
	$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$t_{\text{он}}, \text{ мкс}$		
1	200	120	10	12,3	12,6
2	180	115	10	11,5	11,7
3	150	90	10	10,6	10,4
4	125	75	10	8,8	8,7
5	100	60	10	7,5	7,3

Для полученных данных рассчитали среднеквадратическую погрешность. В результате расчета получили, что расхождение между расчётными и экспериментальными данными составляет 3,8 %. Это говорит о не значительном расхождении между данными и свидетельствует об адекватности разработанной модели.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-31-00085 мол_а.

Список литературы

1. Kumar A., Bagal D.K., Maity K.P. Numerical Modeling of Wire Electrical Discharge Machining of Super alloy Inconel 718. Procedia Engineering, Vol. 97, 2014, pp. 1512 – 1523.
2. Shabgard M., Ahmadi R., Seyedzavvar M., Oliaei S.N.B. Mathematical and numerical modeling of the effect of input parameters on the flushing efficiency of plasma channel in EDM process. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 65, 2012, pp. 79–87.
3. Wuyi Ming, Guojun Zhang, He Li, Jianwen Guo, Zhen Zhang, Yu Huang, Zhi Chen. A hybrid process model for EDM based on finite-element method and Gaussian process regression. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 74, Issue 9, 2014, pp. 1197-1211.

05.13.05

**В.В. Пуртов, О.Г. Морозов д.т.н., И.И. Нуреев к.т.н.,
А.Ф. Аглиуллин к.т.н., В.И. Артемьев**

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

КАТЕТЕР ДЛЯ МАНОМЕТРИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОДНОТИПНЫХ ВОЛОКОННЫХ РЕШЕТОК БРЭГГА

В статье рассмотрены принципы построения катетеров для манометрии высокого разрешения желудочно-кишечного тракта на основе волоконных брэгговских решеток (ВБР). В отличие от существующих волоконно-оптических датчиков (ВОД) для катетеров рассмотрены датчики на основе одностипных ВБР. Для анализа места приложения давления предложено использовать метод вариации разностной частоты при зондировании последовательности ВБР двухчастотным узкополосным излучением. Величина давления может быть определена по амплитудным или фазовым параметрам последнего на выходе ВБР, к которой оно приложено. Разработанные подходы позволяют как улучшить характеристики измерительного преобразования, так и снизить в 3-5 раз стоимость информационно-системы получения информации с ВОД.

Ключевые слова: *манометрия высокого разрешения, катетер, волоконная брэгговская решетка, последовательность одностипных волоконных брэгговских решеток, метод вариации разностной частоты.*

Введение. Манометрия высокого разрешения (МВР) верхних отделов желудочно-кишечного тракта переходит со стадии исследований в клиническую практику [1]. Следовательно, существует потребность в простых в использовании и адаптированных к положительному восприятию пациента и удобных для врача диагностических устройствах для МВР пищевода. Кроме известных методов, таких как перфузионная манометрия или манометрия с использованием твердотельных датчиков, на первый план среди врачей и производителей медицинского оборудования выходит МВР с использованием катетеров с встроенными в них волоконно-оптическими датчиками (ВОД), состоящими из одной или нескольких волоконных брэгговских решеток (ВБР) [2].

В ряде работ [2, 3] представлен дизайн ВОД давления на основе ВБР-катетеров с силиконовой оболочкой, преобразующей поперечное давление в осевое. Предложенные концепции катетеров масштабируются до уровня эндоскопов, с возможностью расширения их функции для анализа полых мышц и сфинктеров в разных местах. Недостатками метода является необходимость применения сложной широкополосной дорогостоящей аппаратуры для сбора информации с ВОД, что определяется использованием ВБР с разной длиной волны [4, 5]. В данной статье рассматривается возможность построения катетера с последовательно расположенными одинаковыми ВБР.

Моделирование структуры ВОД. Минимизация количества типов ВБР, задействованных для обслуживания физического уровня измерений [6-9], является одной из важных задач при проектировании катетера. Для минимизации могут быть использованы структуры, содержащие одностипные датчики, объединенные в группы в определенном порядке с изменяющимся по определенному закону коэффициента отражения, ширины полосы пропускания ВБР и т.д. При этом однако также подразумевается спектральный анализ получаемой информации. Двухчастотное зондирующее излучение не использовалось ранее для построения систем получения информации с группы одностипных ВБР. Однако использование непрерывного лазерного излучения позволяет предположить возможность использования частотного мультиплексирования для реализации системы, даже если все решетки в волокне катетера будут одинаковы.

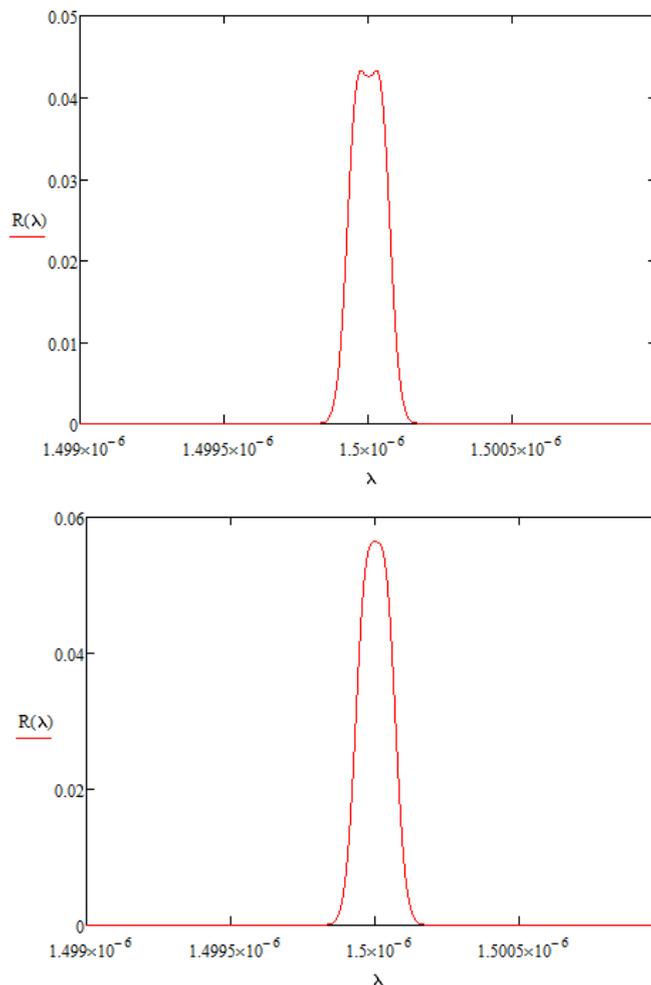
При такой реализации соблюдаются требования по универсальности элементной базы физического уровня и модулей программного обеспечения обработки информации с ВОД катетера. При этом стоимость реализации информационной системы ВОД, построенной на основе методов двухчастотного или полигармонического зондирования ВБР, в 3-5 раз меньше стоимости типовой широкополосной системы спектрального анализа, например, на базе оптического анализатора спектра EXFO. Может быть использован один лазерный излучатель на несколько катетеров. В каждом канале может быть установлено до 5-15 однотипных ВБР.

Огибающую спектра для нескольких слабоотражающих последовательно расположенных ВБР можно определить, как в [5]:

$$I_{ni}(\lambda) = (1 - R(\lambda))^{2(i-1)} R(\lambda) \cdot I_0(\lambda), \quad (1)$$

где $R(\lambda)$ – коэффициент отражение решетки; i – количество решеток; $I_0(\lambda)$ – спектральная интенсивность источника излучения. Отметим, что температурные соотношения в этом случае характерные для каждой из ВБР, спектральные характеристики которых отражены в (1), одинаковы в силу близости расположения решеток в катетере. Изменение фактора i при изменении давления на одной из ВБР (происходит “выпадение” решеток из группы) приводит к изменению “общей” ширины спектра ВБР в (1) – частотный параметр измерений, а также к изменению величины коэффициента отражения $R(\lambda)$ – амплитудный параметр измерений.

Описанные в (1) зависимости последовательности ВБР были использованы нами для моделирования измерительных характеристик катетера в среде Mathcad. Анализ полученных результатов показал, что при уменьшении количества решеток общий коэффициент их отражения увеличивается, а спектр огибающей сужается и брэгговская структура приобретает форму одинарной ВБР при выпадении, например, всех последних в последовательности решеток. Проиллюстрируем это рис. 1.



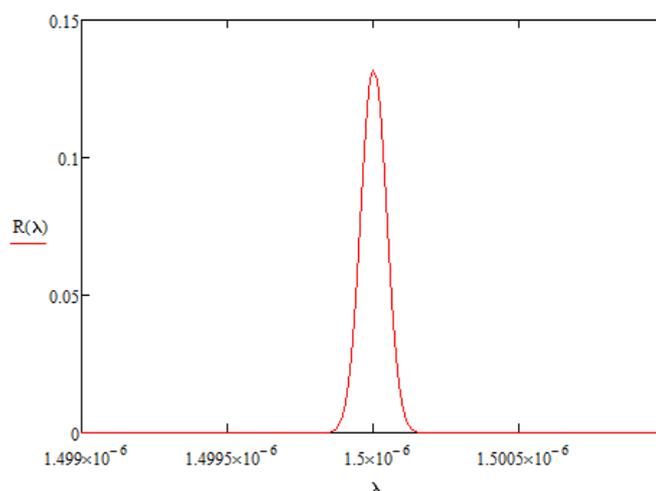


Рис. 1 – Огибающая спектра $R(\lambda)$ для пяти однотипных ВБР (а) с «выпадением» 3-ей ВБР (б) и четырех последних (в)

Метода определения места приложения давления. Анализ рис. 1 позволил синтезировать метод для анализа ВБР в последовательности, основанный на определении добротности общего контура для огибающей спектра последовательно установленных ВБР.

Определяя положение центральной частоты двухчастотного излучения относительно центральной частоты решетки, можно определить полосу пропускания последовательности, которая зависит от числа решеток. Для этого предложен метод вариации разностной частоты [10], основанный на соотношении:

$$Q_{1,2} = \frac{v_{FBG}}{f_1 - f_2} \sqrt{\frac{i_{out(v_{FBG})}}{i_{out1,2}} - 1}, \quad (2)$$

где $i_{out(v_{FBG})}$ и $i_{out1,2}$ – амплитуды максимума огибающей спектра и компонент двухчастотного излучения на выходе фотоприемника, когда центральная частота составляющих f_1 и f_2 настроена на центр спектральной характеристики. Значения $i_{out1,2}$ определяются по выходным сигналам фотоприемника, параметр $i_{out(v_{FBG})}$ не известен. Если изменить $\Delta f = f_1 - f_2$ на некоторую величину $\Delta f'$, не меняя положения зондирующего излучения на центре спектральной характеристики, получим новые значения частот $f_3 = f_1 - \Delta f'$ и $f_4 = f_2 + \Delta f'$. Для частот f_3 и f_4 перепишем выражение (2) как

$$Q_{3,4} = \frac{v_{FBG}}{f_3 - f_4} \sqrt{\frac{i_{out(v_{FBG})}}{i_{3,4}} - 1}. \quad (3)$$

Поскольку $Q_{1,2} = Q_{3,4}$, путем совместного решения уравнений (2) и (3) получим $i_{out(v_{FBG})}$. Затем, подставляя это значение в любое из выражений, получим значение максимума огибающей спектра, на основании чего будет определено количество не выпавших ВБР и, в предположении, их номер. Можно заметить, что при большем коэффициенте отражения ВБР, задача решается более информативно, хотя число решеток уменьшается.

Измерение величины давления. Измерение величины давления для «выпавших» ВБР может быть осуществлено либо по амплитудным характеристикам отраженного от решетки лазерного излучения, либо по спектральным характеристикам, для чего необходимо определить ее центральную длину волны известными методами двухчастотного зондирования [11-13]. В первом случае погрешность измерения будет определяться величиной младшего разряда АЦП в системе регистрации. Во втором случае – эта величина будет определяться погрешностью интеррогатора. В обоих случаях достижимо измерение величины давления, преобразованного в растяжение, в доли микрон.

Заключение. Метод МВР на основе волоконно-оптических катетеров с однотипными ВБР может найти применение для решения ряда актуальных задач в практике медицины. При этом широкополосные источник излучения и фотоприемник прямого детектирования заменяются соответственно на узкополосный комб-генератор и избирательный фотоприемник на разностной частоте с малым уровнем шумов. Использование двухчастотного зондирования, также позволяет получить выигрыш по чувствительности измерений. Использование метода вариации разностной частоты и дополнительно ЛЧМ-сканирования позволит определить локализацию места приложения давления при анализе последовательности однотипных ВБР.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках госзадания на выполнение НИР в КНИТУ-КАИ на 2014-2016 годы (программа «Радиофотоника», задание 3.1962.2014/К).

Список литературы

1. Roriz P., Frazão O., Lobo-Ribeiro A.B. et al. Review of fiber-optic pressure sensors for biomedical and biomechanical applications // Journal of Biomedical Optics. 2013. V. 18. № 5. P. 050903.
2. Arkwright J.W., Doe S.N., Blenman N.G. et al. The use of wavelength division multiplexed fiber Bragg grating sensors for distributed sensing of pressure in the gastrointestinal tract // IEEE Photonics Global Conf. 2008. P. 1-4.
3. Voigt S., Rothhardt M., Becker M. et al. Homogeneous catheter for esophagus high-resolution manometry using fiber Bragg gratings // Proc. of SPIE. 2010. V. 7559. P. 75590B.
4. Natanson O.G., Morozov O.G., Akhtiamov R.A. et al. Development problems of frequency reflectometry for monitoring systems of optical fiber structures // Proc. of SPIE. 2005. V. 5854. P. 215-223.
5. Нуреев И.И. Радиофотонные амплитудно-фазовые методы интерро-гации комплексированных датчиков на основе волоконных решеток Брэгга // Инженерный вестник Дона. 2016. №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3581.
6. Куревин В.В., Морозов О.Г. и др. Структурная минимизация волоконно-оптических сенсорных сетей экологического мониторинга // Инфокоммуникационные технологии. 2009. Т. 7. № 3. С. 46-52.
7. Куприянов В.Г., Степущенко О.А., Куревин В.В. 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.
8. Морозов О.Г., Нуреев И.И., Феофилактов С.В. и др. Вопросы применения концепции программно-определяемых сетей для систем внутрискважинной волоконно-оптической телеметрии // Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 10. С. 83-90.
9. Садыков И.Р., Морозов О.Г., Садеев Т.С. и др. Волоконно-оптический рефрактометрический датчик // Труды МАИ. 2012. № 61. С. 18.
10. Морозов Г.А., Морозов О.Г. и др. Микроволновая обработка терморезистивных и термопластичных полимеров // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2011. Т. 14. № 3. С. 114-121.
11. Morozov O.G., Aybatov D.L., Prosvirin V.P. et al. Methodology of symmetric double frequency reflectometry for selective fiber optic structures // Proc. of SPIE. 2008. V. 7026. P. 70260I.
12. 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.
13. Касимова Д.И., Кузнецов А.А. и др. Оценка возможностей применения волоконных решеток Брэгга с гауссовым профилем отражения в качестве датчика температуры // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и информационные системы. 2013. № 2 (18). С. 73-81.

05.13.15

И.А. Стотланд¹, Н.А. Стариковская², М.А. Кириченко³

Московский технологический университет (МИРЭА),
факультет информационных технологий, кафедра корпоративных информационных систем
Москва, ¹irastot@gmail.com, ²starikovkaya@mirea.ru, ³kmar.kmar@mail.ru

МЕТОДЫ АВТОНОМНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ КОНТРОЛЛЕРОВ СВЯЗИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ¹

В работе представлены методы автономной верификации контроллеров связи, позволяющие комплексно проверять контроллеры, не разрабатывая при этом дополнительных тестовых систем и эталонных моделей. Рассмотрены основные особенности и типовая структура контроллеров связи, выделены уровни их реализации. Рассмотрена архитектура тестовой системы, основанная на универсальной методологии верификации UVM.

Ключевые слова: *контроллер связи, микропроцессорная система, тестовая система, UVM, автономная верификация.*

Введение

В состав современных систем на кристалле (СнК) могут входить несколько процессорных ядер, контроллеры периферийных устройств, специальные процессоры и ускорители. Организацией взаимодействия между функциональными модулями СнК занимаются контроллеры связи, от качества реализации которых зависит как производительность СнК, так и правильность его работы в целом. В связи с этим при разработке современных СнК предъявляются жесткие требования к корректности функционирования и надежности контроллеров связи, входящих в состав СнК. Для проверки контроллеров связи на соответствие таким требованиям применяют различные методы функциональной верификации на всех стадиях маршрута проектирования СнК[1]. Автономная верификация может быть применена на самых ранних стадиях разработки, как только готова модель уровня регистровых передач (RTL-модель) контроллера.

Для автономной верификации RTL-модели необходима разработка тестовой системы, генерирующей тестовые воздействия, проверяющей корректность реакций и оценивающей качество проверок [2]. Существует ряд методологий верификации, предоставляющих набор программных библиотек, макросов и методических указаний к разработке тестовых систем. Универсальная методология верификации (Universal Verification Methodology, UVM) [3] является на данный момент наиболее распространенной. Однако UVM описывает универсальный подход и не учитывает специфику проверяемого устройства, что могло бы упростить верификацию и сократить ее сроки. В данной статье предложены и расширены методы автономной верификации, позволяющие проверять контроллеры связи на всех уровнях реализации (физическом, канальном, транспортном), и основанные на существующих успешных подходах методологии UVM.

Архитектура контроллеров связи

Основными задачами контроллеров связи является организация обменов типа: «процессорное ядро — процессорное ядро», «процессор — пространство ввода/вывода», «процессор — процессор» и обеспечение заданной производительности и качества обмена. При этом можно выделить общее свойство для всех контроллеров связи: иерархическую трехуровневую архитектуру, включающую: физический, канальный и транспортный уровни. Для обеспечения дуплексного обмена контроллеры также разделяются на сектор передачи и сектор приёма.

Физический уровень отвечает за кодирование и декодирование данных, передаваемых по физической среде, контроль мощности и линий передачи. Традиционно физический уровень реализуется посредством двух подмодулей: электрического модуля физического уровня

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-37-00185

(ЭФУ) и логическим модулем физического уровня (ЛФУ). Модуль ЭФУ осуществляет преобразование входящего битового потока канала ввода/вывода в символьный поток, направляемый в приемный канал модуля ЛФУ. Модуль ЛФУ осуществляет инициализацию модуля ЭФУ, исполняет команды модуля транспортного уровня. Контроллеры ЭФУ зачастую имеют сложную функциональность и трудоемки в плане разработки и отладки. В связи с этим в последнее время разработчики СнК покупают готовые модули ЭФУ — IP-блоки, которые уже отлажены и могут быть сразу включены в состав контроллера.

Основными задачами транспортного уровня контроллера связи являются: контроль потока транзакций, их целостности и очередности, маршрутизация пакетов в соответствии с настройками, контроль целостности данных. Единицей передачи информации на транспортном уровне является пакет.

Канальный уровень ответственен за взаимодействие с транспортным и физическим уровнями, обеспечение сервиса по надежному обмену, контроль и управление потоком данных посредством кредитных механизмов. Единицей передачи информации на канальном уровне является транзакция.

Постановка задачи

В соответствии с типовой архитектурой и функциями, выполняемыми уровнями контроллеров связи, выделим основные задачи, стоящие при верификации контроллеров связи. К ним относятся следующие проверки: комплексная проверка реализаций всех трех уровней контроллера; целостности и корректности данных на всех уровнях реализации; соблюдения протокола очередности на транспортном уровне; отсутствие ошибок типа «отказ в обслуживании»; свойств справедливости и достижимости состояний; маршрутизации пакетов на транспортном уровне; исправление ошибок, обрывов на физических каналах и их инициализация и настройка. Существующие методики функциональной верификации компонентов СнК на уровне регистровых передач можно разделить на две основные группы: использующие для проверки эталонные модели и самопроверяющие методы. В случае верификации контроллеров связи применение эталонных TLM-моделей (модулей уровня транзакций) эффективно при верификации контроллеров транспортного и канального уровней, не имеющих требований к временным характеристикам. В случае верификации контроллеров физического уровня такой подход не позволяет проверить все требования к функционированию. В связи с этим задача комплексной проверки контроллеров связи, включающих не только контроллеры транспортного и канального уровня, но и физического, является актуальной.

Методы комплексной автономной верификации контроллеров связи

Для комплексной проверки всех уровней был предложен подход, основанный на разработке одной тестовой системы и одного устройства для верификации (Design Under Verification, DUV). При этом DUV включает два контроллера связи, соединенных между собой посредством модулей ЭФУ (рис. 1).

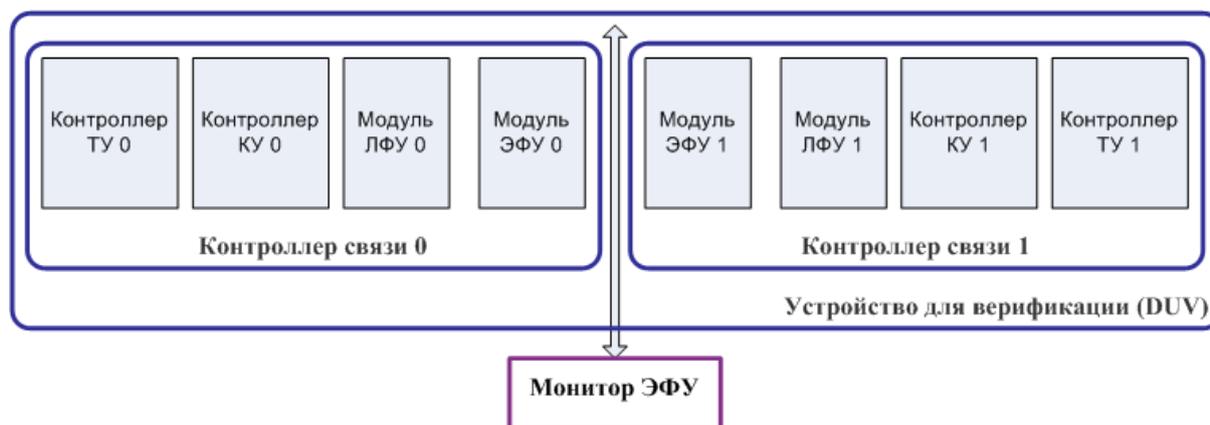


Рис.1 – Структура устройства для проверки

Типовая архитектура UVM тестовой системы контроллера связи включает (рис. 2): ведущие агенты, генерирующие поток воздействий и состоящие из драйверов, мониторов и секвенсеров; ведомые агенты, состоящие из мониторов и передающие реакции в модуль проверки (uvm_scoreboard). Генерацией воздействий на транспортном уровне занимается виртуальный секвенсер — модуль, генерирующий поток пакетов, кредитов для контроля потока и конфигурирующий регистры физического уровня. Для проверки реакций предлагается использовать эталонную программу TLM-модель транспортного и канального уровня. Для проверки логического физического уровня эффективно использование утверждений System Verilog (assert_block), позволяющих «на лету» проверять целостность и корректность данных, а также временные характеристики работы контроллера.

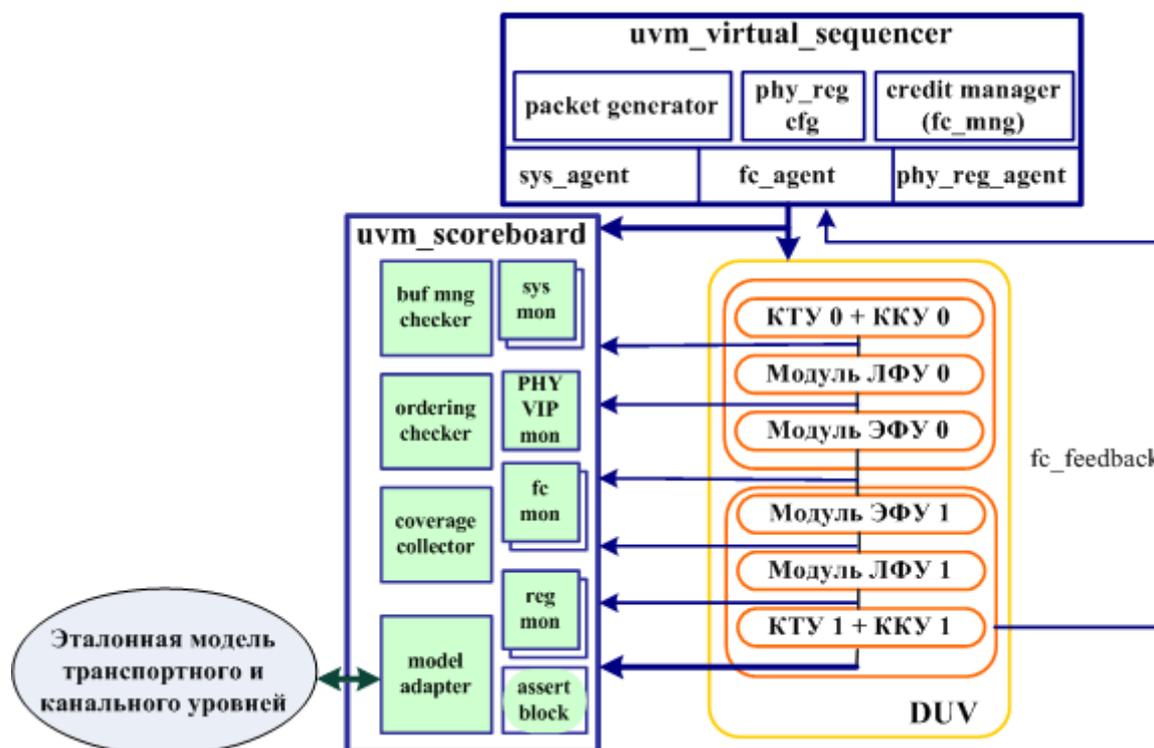


Рис.2 – Архитектура тестовой системы в соответствии с UVM

Заключение

Предложенные в работе методы позволяют проводить автономную верификацию контроллеров связи всех типов. Они дают возможность не разрабатывать несколько тестовых систем и эталонных моделей для каждого уровня реализации — с одной стороны; и проверять контроллер комплексно, включая модуль ЭФУ, — с другой. Подход был применен при верификации нескольких промышленных контроллеров связи: контроллера межпроцессорного обмена, контроллера связи процессора с контроллером периферийных устройств, моста между двумя контроллерами связи разных поколений. Разработанная тестовая система и тесты позволили обнаружить и исправить ряд логических ошибок в устройствах.

Список литературы

1. Lam W. Hardware design verification: simulation and formal method-based approaches. New Jersey: Prentice Hall, 2005.
2. Стотланд И.А., Лагутин А.А. Применение эталонных событийных моделей для автономной верификации модулей микропроцессоров // «Вопросы радиоэлектроники», сер. ЭВТ, 2014, вып.3. С. 17-27.
3. Standard Universal Verification Methodology. [Электронный ресурс] / <http://accellera.org/downloads/standards/uvm> (дата обращения 10.06.16).

05.13.18

Е.В. Субботин, А.Г. Щербинин, Ю.М. Хасянова

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

ПОДБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ШНЕКА ЭКСТРУДЕРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ НАГРЕВОСТОЙКИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В работе проведены численные исследования по оценке влияния геометрии шнека на характеристики пластицирующего экструдера. Построены зависимости производительности экструдера, длины зоны плавления и времени пребывания полимера от частоты вращения шнека для двух видов нагревостойких полимерных композиций.

Ключевые слова: нагревостойкие полимерные композиции, экструзия, геометрия шнека, численное исследование.

Непрерывно возрастающие потребности экономики вызывают необходимость прогресса не только в области генерации электроэнергии, но и в сфере ее передачи [1]. В связи с этим большое практическое значение на сегодняшний день имеет задача повышения нагрузочной способности силовых кабелей. Одним из путей решения данной проблемы может быть использование в качестве изоляционных материалов, нагревостойких полимерных композиций, применение которых позволит существенно повысить допустимые токовые нагрузки. Однако поскольку основным способом переработки подобных материалов на сегодняшний день остается экструзия [2], при переходе на новые полимеры приходится решать задачи подбора рациональных геометрических параметров каналов экструзионного оборудования.

В данной работе с помощью пространственной математической модели процессов движения, плавления и течения полимеров в винтовом канале экструдера [3], проведены численные исследования по оценке влияния геометрии шнека (см. рис. 1) на характеристики пластицирующего экструдера, геометрия которого представлена в таблице 1.

Исследования проводились для нагревостойких полимерных композиций РЕЕК и Tefzel, реологические и теплофизические свойства которых, представленные в таблице 2, определялись экспериментально [4].

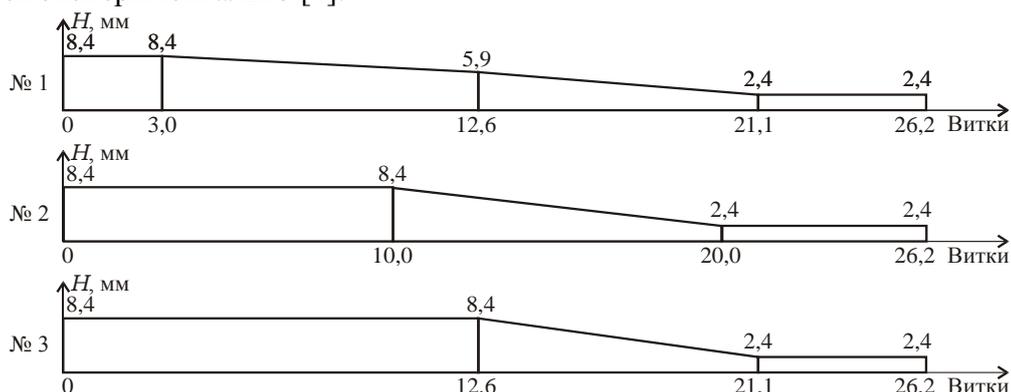


Рис. 1 – Варианты геометрических параметров шнека

Таблица 1 – Геометрические параметры одношнекового экструдера

Внутренний диаметр цилиндра (корпуса), мм	45,0
Шаг винтовой нарезки, мм	45,0
Ширина канала, мм	40,0
Ширина гребня винтовой нарезки, мм	5,0
Суммарная длина шнека, витки	26,2
Угол подъема винтовой линии	17,65
Радиальный зазор между гребнем шнека и корпусом, мм	0,1

Таблица 2 – Реологические и теплофизические свойства полимеров

Полимер	n	μ_0	T_0	β	T_{II}	ρ_s	ρ_m	λ_s	λ_m	C_s	C_m
	–	Па·с ^{n}	°С	1/°С	°С	кг/м ³		Вт/(м·°С)		Дж/(кг·°С)	
РЕЕК	0,72	1290	360	0,008	345	1320	1120	0,290	0,290	1550	1860
Tefzel	0,56	8900	310	0,025	263	1690	1437	0,250	0,250	1700	1800

В таблице 2: n – показатель аномалии вязкости; μ_0 – коэффициент консистенции при температуре T_0 ; β – температурный коэффициент вязкости; T_{II} – температура плавления, соответствующая средней температуре из диапазона фазового перехода; ρ , λ , C – плотность, коэффициент теплопроводности и удельная теплоемкость соответственно. Индекс s соответствует твердому состоянию, а m – расплавленному.

Температурные профили цилиндра экструдера приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение температуры по длине корпуса экструдера

Полимер	Температура цилиндра, °С					
	0 вит.	3,3 вит.	10 вит.	16,4 вит.	23 вит.	26,2 вит.
РЕЕК	340	350	360	365	370	370
Tefzel	250	280	310	330	340	340

Число оборотов шнека изменялось от 10 до 60 об./мин с шагом 10 об./мин. Начальная температура гранулята для всех полимеров задавалась равной 20 °С.

Численные исследования показали, что для всех рассмотренных вариантов геометрии шнека и полимеров зависимость производительности экструдера от числа оборотов шнека имеет характер близкий к линейному.

На рисунке 2 приведены графики отклонения производительности экструдера относительно варианта геометрии шнека №1.

Для материала РЕЕК при переходе на шнеки с геометрией №2 и №3 происходит снижение производительности во всем диапазоне изменения числа оборотов шнека. Наибольшее снижение производительности экструдера (на 7%) наблюдается для геометрии №3 при частоте вращения шнека равной 60 об./мин (рис. 2, а). Для материала Tefzel в интервале числа оборотов шнека от 10 до 30 об./мин происходит снижение производительности экструдера, а затем ее рост до 1,5% для шнека с геометрическими параметрами №2 и до 4% для шнека №3 при частоте вращения шнека, равной 60 об./мин (рис. 2, б).

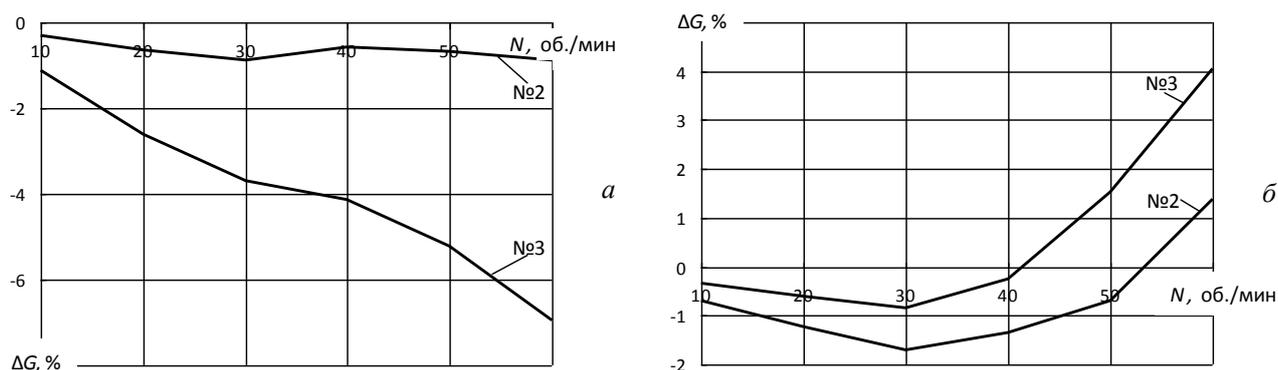


Рис. 2 – Относительное изменение производительности экструдера от частоты вращения шнека для материалов РЕЕК (а) и Tefzel (б)

На рисунке 3 приведены графики зависимости координаты окончания зоны плавления от числа оборотов шнека для исследуемых вариантов геометрии шнека.

Для материала РЕЕК во всем диапазоне изменения числа оборотов шнека наиболее быстро расплавление твердой фазы происходит для шнека с геометрическими параметрами №3 (рис. 3, а). Для Tefzel в диапазоне числа оборотов шнека от 10 до 30 об./мин координаты окончания зоны плавления для исследуемых вариантов геометрии шнека отличаются

незначительно (рис. 3, б), а при увеличении числа оборотов шнека отклонения между рассматриваемыми кривыми растут. Отличие вариантов №2 и №3 по отношению к варианту №1 для данного параметра при скорости вращения шнека 60 об./мин достигает 5% и 10% соответственно.

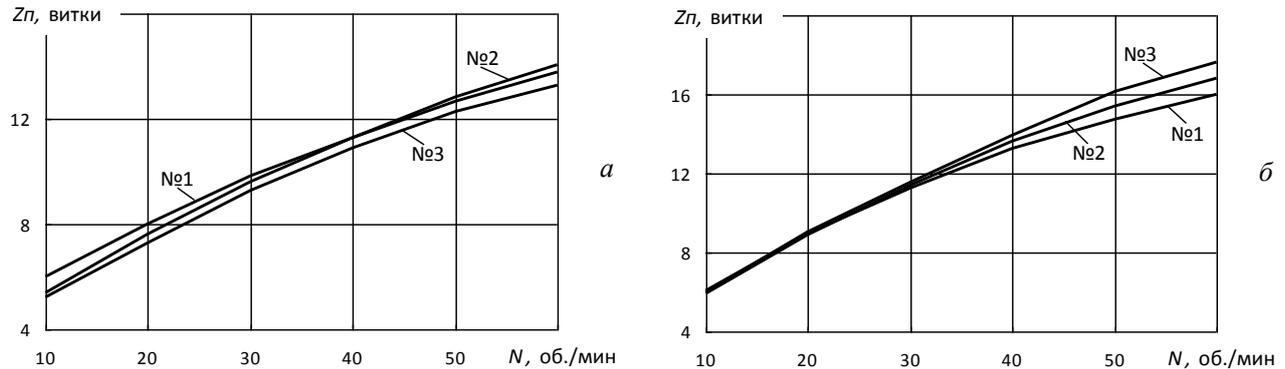


Рис. 3 – Зависимости координаты окончания зоны плавления от числа оборотов шнека для материалов ПEEK (а) и Tefzel (б)

Следует отметить, что для некоторых материалов важнейшее значение имеет время пребывания полимера в канале экструдера (см. рис. 4). Например, для ПEEK по рекомендации производителя оно не должно превышать 1800 с (30 мин.).

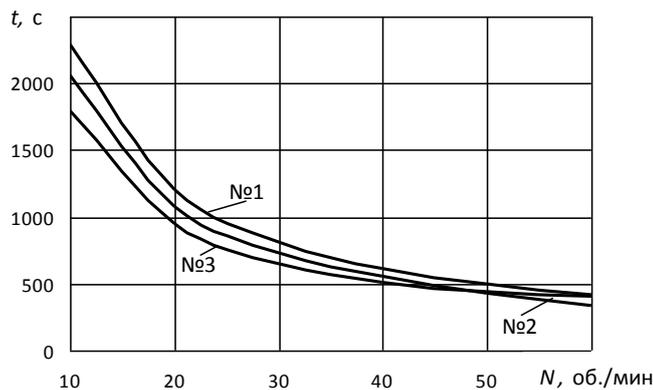


Рис. 4 – Зависимость времени пребывания материала ПEEK в канале экструдера от частоты вращения шнека

Как видно из рисунка 4, время пребывания также зависит от геометрии канала шнека. Применение шнеков с геометрией №2 и №3 приводит к снижению времени пребывания полимерного материала в канале экструдера при частоте вращения шнека 10 об./мин на 10% и 21% соответственно. Таким образом, геометрия шнека №3 с точки зрения данного параметра является более предпочтительной.

Список литературы

1. Зувев Э.Н. Основы техники подземной передачи электроэнергии. М.: Энергоатомиздат, 1999. 256 с.
2. Раувендаль К. Экструзия полимеров. СПб.: Профессия, 2008. 786 с.
3. Субботин Е.В., Щербинин А.Г., Труфанова Н.М. Численный анализ процессов теплопереноса полимеров в винтовом канале экструдера с учетом теплопроводности шнека // Вычислительная механика сплошных сред. 2015. Т.8, №3. С. 329–339.
4. Шах В. Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 746 с.

05.13.00

А.С. Титовцев

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Кафедра интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами,
Казань, notna6683@mail.ru

МОДЕЛЬ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПОЛНЫМ НАБОРОМ НАКОПИТЕЛЕЙ

Представлена математическая модель открытой многоканальной системы массового обслуживания, имеющей t обслуживающих устройств одинаковой производительности с экспоненциально распределенным временем обслуживания. Входной поток, носящий пуассоновский характер, включает заявки разных типов, поступающих из произвольного количества источников h и имеющих различные ограничения по длине очереди, при этом интервалы между соседними ограничениями везде равны единице. Получены общие формулы для вероятностных характеристик, а также первых и вторых моментов числовых характеристик, характеризующих качество обслуживания системы в стационарном режиме работы.

Ключевые слова: очередь, качество обслуживания, система массового обслуживания, $M/M/t/K$, обслуживающее устройство.

1. Введение

В работе [1], развивающей идеи [2–4], представлена универсальная математическая модель открытой многоканальной системы массового обслуживания (СМО), имеющей t обслуживающих устройств (каналов) одинаковой производительности с экспоненциально распределенным временем обслуживания. Входной поток требований в этом случае является суперпозицией произвольного числа компонент h , каждая из которых представляет собой пуассоновский поток заявок, обслуживаемых в порядке очереди. Для каждого типа требований, поступающих в систему из j -го источника, действует своё ограничение на длину очереди ε_j , при этом $\varepsilon_0 < \varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \dots < \varepsilon_h$. В работе [1] дан достаточно подробный вывод основных числовых характеристик дискретных и непрерывных величин, характеризующих системы массового обслуживания этого типа.

С точки зрения возможных приложений представляет, однако, существенный интерес рассмотреть ещё один вариант системы массового обслуживания этого типа, который отличается от описанной выше универсальной модели тем, что интервалы между соседними ограничениями всюду составляют единицу. В такой ситуации система содержит полный набор всех возможных размеров накопителя, пройденных с единичным шагом. Этот вариант СМО, таким образом, можно назвать системой массового обслуживания с полным набором накопителей.

Данная модель хорошо дополняет универсальную модель, имеет более простые математические формулы для различных числовых характеристик, характеризующих качество обслуживания СМО, и удобна для использования в тех случаях, где ограничения по длине очереди, действующие для заявок, поступающих из разных источников, отличаются незначительно, в пределах нескольких единиц. В этом случае можно формально считать, что количество источников больше, чем есть на самом деле, причём для заявок из каждого следующего источника действует ограничение по длине очереди, на единицу большее, чем для заявок из предыдущего источника. При этом, если источник заявок j , для которых действует ограничение ε_j , существует, то интенсивность соответствующего потока требований будет λ_j , в противном случае в математической модели следует определить интенсивность потока $\lambda_j = 0$.

2. Вероятностные характеристики СМО в стационарном режиме

Примем следующую систему обозначений:

$$\varepsilon_0 = E_0 = 0; \quad \varepsilon_j = \sum_{i=0}^j E_i = j, \quad j = \overline{1, h}; \quad - \text{ограничения длины очереди для заявок } j\text{-й}$$

компоненты;

$$\Lambda_i = \sum_{j=i}^h \lambda_j; \quad \text{где } \lambda_j - \text{интенсивность потока заявок } j\text{-й компоненты};$$

$$R_i = \sum_{j=i}^h \rho_j = \frac{\Lambda_i}{\mu}, \quad \text{где } \rho_j = \frac{\lambda_j}{\mu} - \text{приведенная интенсивность потока заявок } j\text{-й компоненты};$$

μ – интенсивность обслуживания заявок одним обслуживающим устройством.

В этом случае, составив и решив систему уравнений Колмогорова непрерывной марковской цепи с учётом условия нормировки $\sum_{i=0}^{m+\varepsilon_h} P_i = 1$, можно получить следующие выражения для вероятностей возможных состояний СМО в стационарном режиме её функционирования:

$$P_0 = \left[e_m(R_0) + \frac{R_0^m}{m!} \sum_{g=1}^h \prod_{j=1}^g \frac{R_j}{m} \right]^{-1};$$

$$P_i = \begin{cases} \frac{R_0^i}{i!} P_0, & 0 \leq i \leq m \\ \prod_{g=1}^{i-m} \frac{R_g}{m} \frac{R_0^m}{m!} P_0, & m+1 \leq i \leq m+h \end{cases},$$

В этих выражениях $e_m(R_0) = \sum_{i=0}^m \frac{R_0^i}{i!}$ – неполная экспонента. Отсюда можно получить

традиционные вероятностные характеристики системы массового обслуживания:

- вероятность немедленного обслуживания вновь прибывшей в систему заявки

$$P_{IS} = \sum_{i=0}^{m-1} P_i = e_{m-1}(R_0) P_0;$$

- вероятность ожидания обслуживания вновь прибывшей заявкой в очереди

$$P_W = \frac{1}{R_0} \sum_{i=1}^h R_i P_{m+i-1};$$

- вероятность отказа в обслуживании вновь прибывшей заявке

$$P_L = \frac{1}{R_0} \sum_{i=1}^h (R_0 - R_i) P_{m+i-1} + P_{m+h} = \sum_{i=1}^h P_{m+i-1} - P_W + P_{m+h} = 1 - P_{IS} - P_W.$$

3. Числовые характеристики СМО

С помощью найденных выше вероятностных характеристик можно легко выразить все основные числовые характеристики стационарного режима работы СМО данного типа. Имеем

- пропускная способность СМО:

$$A = \Lambda_0(1 - P_L) = \Lambda_0(P_{IS} + P_W);$$

- моменты числа требований, одновременно находящихся под обслуживанием:

$$n^{(1)} = R_0 P_0 e_{m-2}(R_0) + m(P_W + P_L);$$

$$n^{(2)} = R_0 P_0 e_{m-2}(R_0) + R_0^2 P_0 e_{m-3}(R_0) + m^2(P_W + P_L);$$

- моменты числа заявок, находящихся в очереди на обслуживание:

$$l^{(K)} = \sum_{i=m+1}^{m+h} (i-m)^K \prod_{g=1}^{i-m} \frac{R_g}{m} \frac{R_0^m}{m!} P_0, \quad K = 1, 2;$$

- моменты числа требований, находящихся в системе в целом:

$$k^{(K)} = \sum_{i=1}^m i^K \frac{R_0^i}{i!} P_0 + \sum_{i=m+1}^{m+h} i^K \prod_{g=1}^{i-m} \frac{R_g}{m} \frac{R_0^m}{m!} P_0, K = 1, 2.$$

- функция распределения времени ожидания заявки в очереди:

$$F_W(t) = 1 - \frac{m}{qR_0} e^{-m\mu t} \sum_{i=1}^h P_{m+i} e_{i-1}(m\mu t);$$

- плотность распределения времени ожидания заявки в очереди:

$$f_W(t) = \frac{dF_W(t)}{dt} = \frac{m^2 \mu^2}{q\Lambda_0} e^{-m\mu t} \sum_{i=1}^h P_{m+i} \frac{(m\mu t)^{i-1}}{(i-1)!};$$

- моменты времени ожидания обслуживания заявкой в очереди:

$$t_W^{(1)} = l^{(1)} / A; \quad t_W^{(2)} = \frac{1}{Am\mu} \sum_{i=m+1}^{m+h} (i-m)(i-m+1) P_i;$$

- моменты времени пребывания заявки в системе в целом:

$$t_T^{(1)} = k^{(1)} / A; \quad t_T^{(2)} = \frac{1}{Am\mu} \left[\sum_{i=m+1}^{m+h} (i-m)(i-m+1) P_i + 2m \sum_{i=1}^{m+h} iP_i \right].$$

Список литературы

1. A. Kirpichnikov, A. Titovtsev, Mathematical model of a queuing system with arbitrary quantity of sources and size-limited queue, *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 106, No. 2 (2016), 649–661.
2. J.W. Cohen, Certain delay problems for a full availability trunk group loaded by two sources, *Communication News*, 16, No. 3 (1956), 105–113.
3. A.P. Kirpichnikov, A.S. Titovtsev, Open systems of multicomponent flows differentiated service, *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 29, No. 7 (2014), 108–122.
4. H. Takagi, Explicit delay distribution in first-come first-served M/M/m/K and M/M/m/K/n queues and mixed loss-delay system, *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 40, No. 2 (2007), 185–200.

05.13.18

Н.М. Труфанова д.т.н., В.А. Будаян

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

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА И ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ТОКОВ ПРИ ПРОКЛАДКЕ КАБЕЛЯ ЧЕРЕЗ СТЕНУ

Данная работа посвящена решению задачи сложного теплообмена при прокладке кабелей различных сечений и конструкций через стену. Поставленная задача решалась численно в условиях естественной конвекции методом конечных элементов в инженерном программном пакете ANSYS Fluent. В результате численного решения получены мощности тепловых потерь в металлических элементах конструкции силового кабеля, поля температур в месте прокладки кабеля для различных по сечению и конструкции кабелей.

Ключевые слова: прокладка силовых кабелей, теплообмен, максимальная температура силового кабеля, температурное поле.

В основы данной работы заложено предположение - что прокладка кабелей, с различной формой токопроводящих жил (круглые и секторные), в одинаковых стесненных условиях оказывает различное влияние на длительно допустимые токовые нагрузки для таких кабелей.

Вопросы определения нагрузочной способности кабелей в различных условиях прокладки исследуются весьма широко [1-3]. Для определения токовых нагрузок, при которых происходит нагрев элементов кабеля до предельно допустимых температур, необходимо решить задачу теплообмена. Математическая модель движения и теплообмена воздуха основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии.

При создании модели сделаны следующие допущения: процесс стационарный; теплофизические свойства твердых материалов не зависят от температуры; течение воздушных масс ламинарное.

Процесс теплообмена описывается следующими уравнениями:

Уравнение движения:

$$\begin{aligned}
 U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_x}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial U_x}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \mu \frac{\partial U_x}{\partial z} \\
 U_x \frac{\partial U_z}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_z}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_z}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial U_z}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial U_z}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \mu \frac{\partial U_z}{\partial z} \\
 U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_y}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial U_y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \mu \frac{\partial U_y}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{g\beta(T-T_0)}{\rho}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Уравнение неразрывности:

$$U_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + U_y \frac{\partial \rho}{\partial y} + U_z \frac{\partial \rho}{\partial z} = \rho \left(\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right), \tag{2}$$

Уравнение энергии для воздуха:

$$\rho c \left(U_x \frac{\partial t}{\partial x} + U_y \frac{\partial t}{\partial y} + U_z \frac{\partial t}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \lambda \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \lambda \frac{\partial t}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \lambda \frac{\partial t}{\partial z}, \tag{3}$$

Уравнение теплопроводности для кабельных линий:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) + q_v = 0, \tag{4}$$

Уравнение теплопроводности для твердых материалов:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_i \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_i \frac{\partial}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_i \frac{\partial}{\partial z} \right) = 0, \quad (5)$$

Плотность воздуха зависит от температуры по закону Буссинеска:

$$\rho(T) = \rho_0 [1 - \beta(t - t_0)], \quad (6)$$

где x, y, z – декартовы координаты; U_x, U_y, U_z – компоненты вектора скорости воздуха в канале; t – температура, °С; P – отклонения давления воздуха от гироскопического; g – ускорение свободного падения; ρ, μ – плотность и вязкость воздуха; ρ_0 – плотность воздуха при температуре $t_0=20^\circ\text{C}$, q_v – мощность внутреннего источника тепла; β – температурный коэффициент плотности воздуха; λ_i – теплопроводность материалов.

Граничные условия: для скоростей на поверхности стенки канала и кабелей – не проникновения и прилипания; на границах расчетной области и на границах контакта разнородных сред задаются граничные условия четвертого рода и условия сопряжения температур. Мощность внутреннего источника тепла в токопроводящей жиле определяется согласно закону Джоуля – Ленца

Реализация математической модели производилась в программном комплексе ANSYS. Исследуемые объекты соответствуют способу прокладки открытой электропроводки при пересечении стены. На рисунке 1 кабель (1) проложен в трубе из ПВХ (4), которая в свою очередь проложена в стене (2), пространство (3) между кабелем и трубой заполнено легкоудаляемой смесью. Высота помещения 2,5 метра. Решение задачи произведено с учетом наличия плоскости симметрии, расположенной параллельно плоскости XY в центре прокладки кабеля через стену. На рис. 2 приведена прокладка кабеля при решении симметричной задачи.

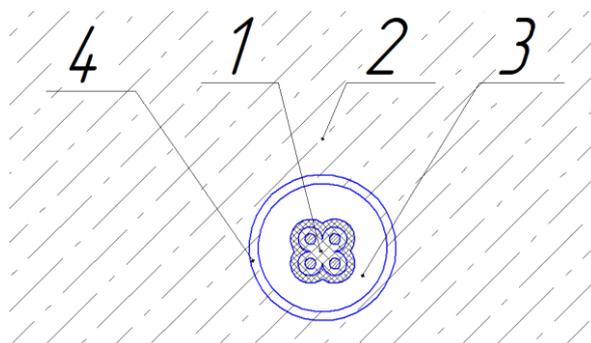


Рис. 1. Прокладка кабеля при проходке через стену

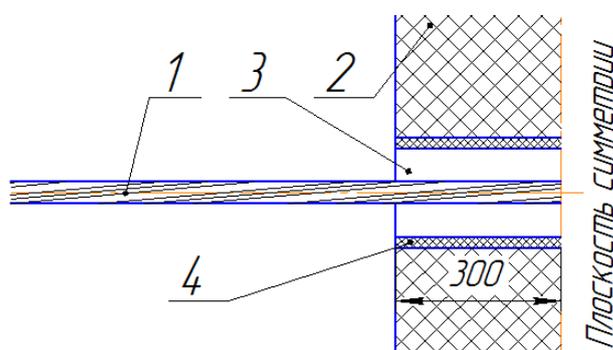


Рис. 2. Прокладка кабеля. Вид в плоскости YZ. Разрез вдоль оси кабеля

В работе [4] проведено исследование температурных полей в месте прокладки кабелей через стены с применением разных материалов для заделки, где рассматривалась двумерная модель, предполагающая, что передачи тепла по оси Z (вдоль кабеля) не происходит. Проведено сравнение применяемой трехмерной модели с двумерной использованной в работе [4]. В таблице представлены результаты моделирования тепловых полей с использованием двух моделей при одинаковых исходных данных.

Таблица - Сравнение моделей

Ток, А	Температура, К						Разница между результатам, %			
	плоская модель			объемная модель			ТПЖ	ОБОЛ	ТРУБА	Среднее
	ТПЖ	ОБОЛ	ТРУБА	ТПЖ	ОБОЛ	ТРУБА				
24	341	327	321	342	328	321	1,4	1,4	0,0	1,0
20	328	318	313	329	319	313	1,4	1,4	0,0	1,0
16	317	310	307	318	311	308	1,4	1,4	1,4	1,4
12	308	305	303	309	306	304	1,4	1,4	1,4	1,4
8	302	300	300	303	301	300	1,4	1,4	0,0	1,0

Из проведенного сравнения можно сделать вывод об адекватности применяемых моделей, так как разница между результирующими значениями температур не превышает 1,4 %. Применение двумерной модели не приводит к значительному искажению результатов моделирования и может использоваться для получения достоверных данных о температурных полях в месте прокладки кабеля через стену.

Для определения длительно допустимого тока кабеля определяется зависимость температуры токопроводящих жил от протекающих по ним токов с использованием двумерной модели теплопереноса. Для сравнения кабелей с различным сечением ТПЖ была введена величина относительного тока I^* , % являющаяся отношением величины протекающего тока к длительно допустимому току по ГОСТ Р 53769-2010. Проводим сравнение температур кабелей широко применяемых в системах электроснабжения ВВГнг 4x10, 4x25 и 4x50 с круглыми токопроводящими жилами и 4x50, 4x120 с секторными токопроводящими жилами. В результате численного моделирования установлено что протекание длительно допустимых токов не приводит к перегреву изоляции токопроводящих жил (максимальная длительно допустимая температура для кабелей с ПВХ изоляцией 70°C) кабелей с жилами круглой формы, их максимальная температура при этом составляет 64, 65 и 68 °C для кабелей с жилами сечением 10, 25 и 50 мм² соответственно. Однако, протекание тока той же величины по кабелю с жилами секторной формы приводит к превышению допустимой температуры на 9 и 13 °C для кабелей с жилами сечением 50 и 120 мм² соответственно.

По полученным температурным зависимостям можно сделать вывод о том что кабели имеющие секторные токопроводящие жилы, проложенные через стену, нагреваются до больших температур, чем кабели с круглыми токопроводящими жилами аналогичного сечения. Это обуславливается тем что кабели с токопроводящими жилами секторной формы имеют меньший диаметр, что в свою очередь означает, что они имеют меньшую площадь поверхности для теплообмена с окружающей средой по сравнению с кабелями с круглыми жилами. Также необходимо отметить что для безопасной эксплуатации кабелей с токопроводящими жилами секторной формы необходимо снижать допустимую токовую нагрузку для таких кабелей на 12-17%.

Список литературы

1. Titkov V.V., Tukeyev P.D. The Heating Mode Of Cable Transformer With Cooling System // Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies. 2015. Vol.1, Issue 1. November. Pp. 90–94.
2. Труфанова Н.М., Навалихина Е.Ю. Математическое моделирование нестационарных процессов теплопереноса в прямоугольном кабельном канале // Электротехника. 2015. № 11. С. 37-41.
3. Труфанова Н.М., Навалихина Е.Ю. Управление токовой нагрузкой линий в кабельном канале с учетом сложного теплообмена // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, №4(5). С. 1318–1321.
4. Труфанова Н.М., Будаян В.А. Численный анализ температурных полей и роботоспособности кабеля при прокладке через стену или перекрытие // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. №4. С. 54–57.

05.13.18

Н.М. Труфанова, Н.А. Костарев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
 Электротехнический факультет, Кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
 Пермь, ktei@pstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА НЕФТИ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ГРЕЮЩЕГО КАБЕЛЯ

В данной работе была разработана математическая модель процессов теплопереноса нефти в вертикальной скважине, реализация которой позволит определять области возможного выпадения парафина и условия предотвращения этого явления. Было исследовано влияние греющего кабеля, дебита и температуры забоя на длину участка возможного выпадения парафина.

Ключевые слова: *парафины, ANSYS Fluent, теплоперенос, нефтяная скважина, греющий кабель.*

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 позволяет снизить текущие и капитальные затраты в технологии нефтедобычи. Одним из возможных подходов в решении этой задачи является использование греющего кабеля.

Рассматривается продольное сечение глубиной 2000м. Конструкция скважины изображена на рисунке 1.

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 - однородная среда.

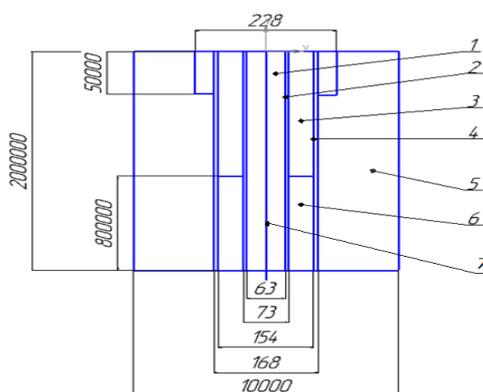


Рис. 1 Конструкция нефтяной скважины. 1- Нефтяная жидкость 2) Насосно-компрессорная труба; 3) Воздух; 4) Обсадная колонна; 5) Грунт, 6) Нефтяная жидкость 7) Греющий кабель
 С учетом сделанных допущений система дифференциальных уравнений имеет вид
 Уравнение движения:

$$\rho(U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 U_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_x}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

$$\rho(U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y}) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 U_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_y}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

Уравнение теплопроводности для нефтяной жидкости:

$$\rho c \left(U_x \frac{\partial T}{\partial x} + U_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \lambda_H \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + q_v \quad (3)$$

Уравнение теплопроводности для твердых элементов конструкции скважины и воздуха:

$$\lambda_i \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (4)$$

где x, y , – декартовы координаты; U_x, U_y – компоненты вектора скорости нефти в насосно-компрессорной трубе; t – температура, °C; P – отклонения давления воздуха от гироскопического; ρ, μ – плотность и вязкость нефти; q_v – мощность внутреннего диссипативного источника тепла; λ_i – теплопроводность материалов.

Система дифференциальных уравнений (1)-(4) замыкается следующими граничными условиями:

На границе раздела разнородных сред задается равенство тепловых потоков и температур:

$$T|_n = T|_{n+1} \quad (5)$$

$$\lambda_n \frac{\partial T^{(n)}}{\partial x} = \lambda_{n+1} \frac{\partial T^{(n+1)}}{\partial x} \quad (6)$$

На границе массива земли, окружающего скважину, задается температура соответствующая геотерме:

$$T|_{гр.зем.} = T(h) \quad (7)$$

В забое скважины задается температура забоя ($T=100$ °C) и расход через столб насосно-компрессорной трубы (40 т/сут):

$$T|_{h=2000} = T_{забоя} = 100^\circ C; \quad Q|_{h=0} = Q|_{h=2000} = 40 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (8)$$

Температура на поверхности земли равна -3 °C,

$$T|_{h=0} = T|_{устья} = -3^\circ C \quad (9)$$

Свойства конструктивных элементов приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Свойства конструктивных элементов

Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Теплоемкость C , Дж/(кг·°К)	Теплопроводность λ Вт/(м·°К)	Вязкость μ кг/(м·с)
Грунт	1900	1680	1,82	-
Цемент	1400	900	0,85	-
Сталь	8030	502,48	16,27	-
Нефть	743,5	2000	0,15	0,4416
Воздух	1,225	1006,43	0,0242	1,78e-05

В работе проведено исследование влияния температуры забоя и дебита на температурное поле скважины. Так же было исследовано влияние греющего кабеля на длину участка возможного выпадения парафина. В результате были получены температурные поля в поперечных сечениях скважины по длине и распределение температуры на внутренней стенке насосно-компрессорной трубы, что позволило прогнозировать возможное выпадение парафинов и определять условия предотвращения их выпадения.

Задача решалась численно, методом конечных элементов. Для расчетов использовалась среда инженерных расчетов ANSYS Fluent.

Одним из условий выпадения парафина является понижение температуры нефтяной жидкости, до температуры выпадения парафина и ниже. Длины участка возможного выпадения парафина, полученные в работе, представлены на рисунке 5. Видно, что как дебит, так и температура забоя сильно влияет на длину участка.

Одним из способов борьбы с парафиновыми отложениями является греющий кабель. В данной работе греющий кабель размещается от устья до начала участка возможного выпадения парафина. В качестве греющего кабеля используется кабель КГн МП-12/2х2,0-55-100-Оа.

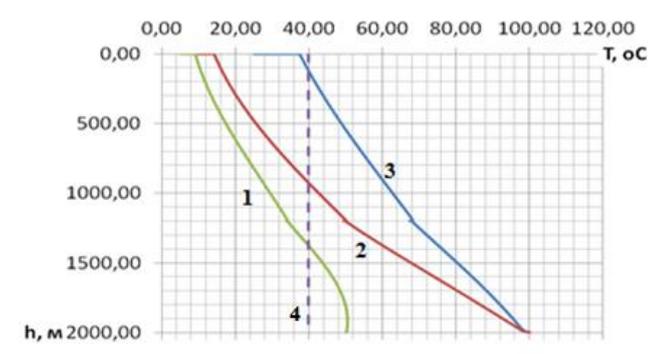


Рис. 3. Распределения температур на стенке насосно-компрессорной трубы по глубине для скважин с различной температурой забоя и дебитом. 1 –дебит 20 т/сут и температуре забоя 50 °С; 2 –20 т/сут , 100 °С; 3 –40 т/сут 100 °С; 4 – температура выпадения парафина

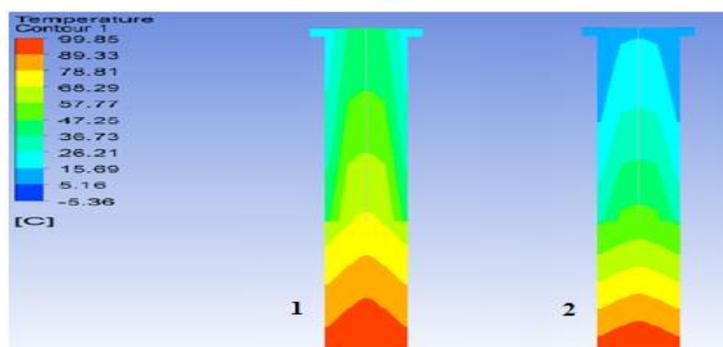


Рис. 4. Температурное поле скважины при различном дебите. 1 – Дебит 40 т/сут; 2 –Дебит 20 т/сут.

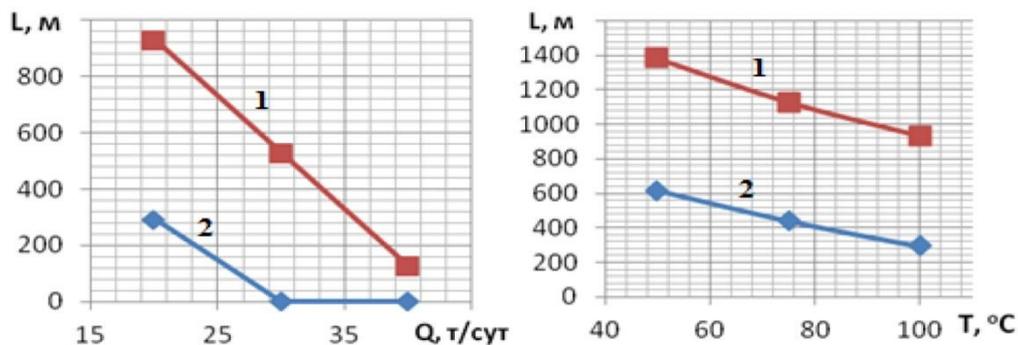


Рис. 5. Зависимость длины участка выпадения парафина от дебита и температуры забоя. 1- температура выпадения парафина равна 40 °С; 2- температура выпадения парафина равна 20 °С

Удельная мощность нагрева равна 50 Вт/м. Кабель размещается по центру внутри насосно-компрессорной трубы. Длина кабеля при температуре забоя 100 °С и дебите 20т/сут равна 931 метр.

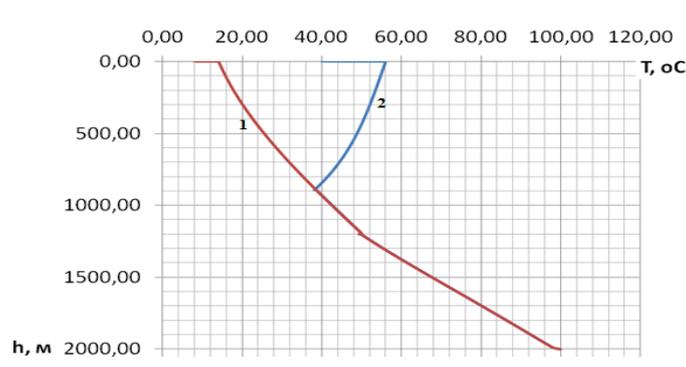


Рис. 6. Зависимость температуры на внутренней стенке НКТ от глубины для скважины с греющим кабелем и без. 1- без кабеля; 2 – с греющим кабелем

На рисунке 6 видно, что с греющим кабелем температура нефтяной жидкости не опускается ниже температуры выпадения парафина.

Разработанная модель процессов тепломассопереноса нефти в вертикальной скважине, позволяет оценить длину участка возможного парафинообразования. Было доказано, что греющий кабель является эффективным способом борьбы с отложением парафина.

Список литературы

1. *Персиянцев М.Н.* Добыча нефти в осложненных условиях М.: Недра-Бизнесцентр, 2000. - 653 с.
2. *Сорокин С.А., Хавкин С.А.* Особенности физико-химического механизма образования АСПО в скважинах // Бурение и нефть. 2007. №10. С. 30-31.
3. *Tarom N., Hossain M.M.*. Using ANSYS to Realize a Semi-Analytical Method for Predicting Temperature Profile in Injection/Production Well // World Academy of Science, Engineering and Technology 72 2012
4. *H.J. Ramey, Jr.*, Wellbore heat transmission, *Journal of Petroleum Technology* 14 (4), 872-875
5. *Малышев А.Г., Черемисин Н.А., Шевченко Г.В.* Выбор оптимальных способов борьбы с парафинообразованием. Техника и технология добычи нефти, №9, 1997, с. 62 – 69
6. *Макиенко Г.П., Буренков А.Е., Долгошапко М.А., Савченко В.Г., Жога В.П.* Кабели нагревательные и борьба с отложениями парафина при добыче нефти.// Пермская область для нефтегазовой индустрии: Пермь, аг-во «Стиль-МГ», 2002 , с.23-27.
7. *В.А. Привезенцев, И.И. Гроднев, С.Д. Холодный, И.Б. Рязанов* / Под ред. В.А. Привезенцева. Основы кабельной техники М.: Энергия, 1975. 472 с.
8. *Труфанова Н.М.* Переработка полимеров: учеб. пособие. Пермь:Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009 -159 с.

05.13.18

Н.М. Труфанова, И.И. Хейфец

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
 Электротехнический факультет, Кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
 Пермь, ktei@pstu.ru

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОПЕРЕЧНЫХ СВЯЗЕЙ РАДИАЦИОННО-СШИТОГО ФТОРОПЛАСТА

Работа посвящена экспериментальному исследованию механических характеристик радиационно сшитого фторопласта. Были проведены экспериментальные исследования прочности и разрывной деформации различных фторопластов, на основании которых были оценены их степени сшивки.

Ключевые слова: фторопласт, поперечная сшивка, степень сшивки, прочность, разрывная деформация.

Одним из широко используемых изоляционных материалов является фторопласт (политетрафторэтилен) – полимер тетрафторэтилена (либо сополимер тетрафторэтилена с другими мономерами), обладающий хорошими механическими и диэлектрическими свойствами, теплостоек и морозостоек. Фторопласт сохраняет эластичность при температурах от -70 до $+270$ С. Для придания фторопласту особых свойств (повышенная механическая прочность, химическая и температурная устойчивость) применяется сшивка. Поскольку сшивка фторопласта не возможна пероксидным и силановым методами, используется сшивка ионизирующим β и γ – излучением.

Эксплуатационные свойства фторопласта, определяются степенью сшивки- количеством поперечных связей в единице объёма. Для определения плотности поперечных связей фторопласта была найдена температура равновесного состояния. При этой температуре кристаллические связи разрушатся и останутся лишь поперечные межмолекулярные связи. При этом, в полимере не должно начинаться термической деструкции. Диапазон температурного равновесия определяется посредством дифференциально-сканирующей калориметрии. Диаграмма ДСК приведена на Рис. 1

На основании диаграммы ДСК установлена температура равновесия, которая составила 280° . Равновесное состояние сшитого полимера так же характеризуется пологими термомеханическими кривыми (плато текучести).

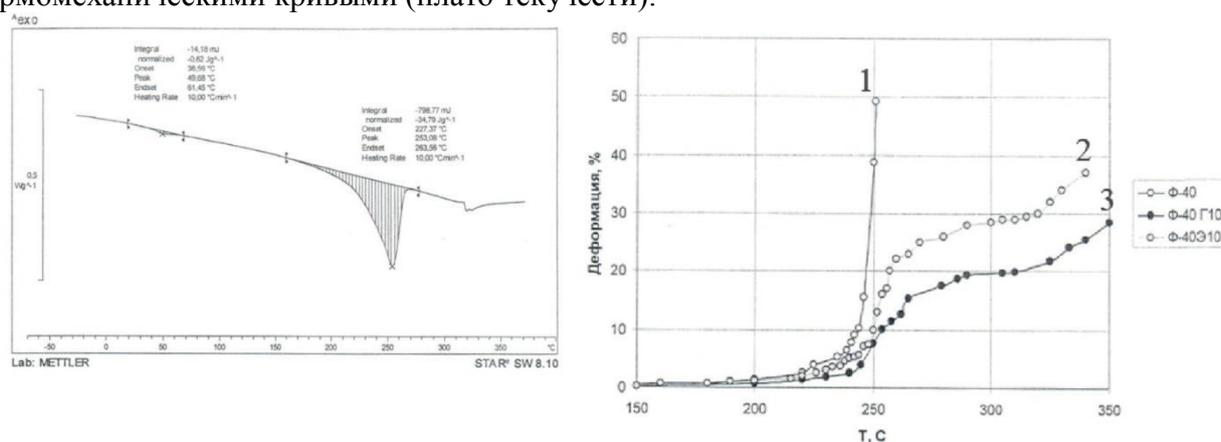


Рис. 1. Диаграмма ДСК фторопласта Ф-40, доза 10 Мрад и его термомеханические кривые.

Исходя из Рис. 1, плотность химических связей находится при температуре 300° С.

Плотность химической сетки облученных фторопластов ρ_c оценивали методом ступенчатого приращения нагрузки графически по тангенсу угла наклона начального участка зависимости

$$\sigma = f(\alpha), \text{ где } \alpha = \lambda - \frac{1}{\lambda^2}$$

Зависимость $\sigma = f(\alpha)$ приведена на Рис. 2.

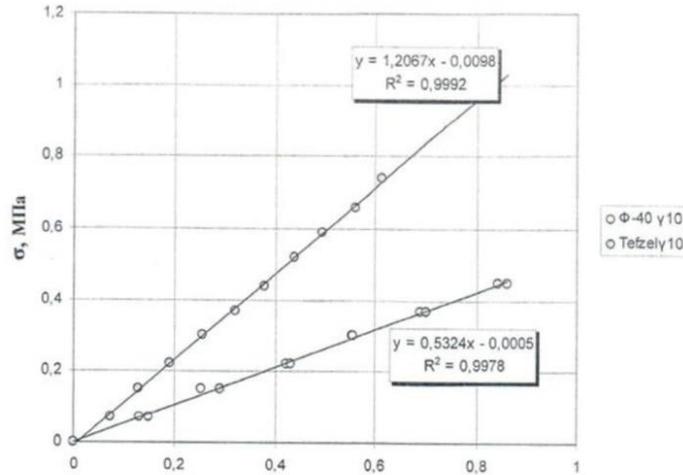


Рис. 2. Зависимость для фторопласта марки Ф-40 и Tefzel после гамма облучения (10 Мрад).

Из рис.2 видно, что зависимости условного напряжения от деформации имеют линейный характер и выходят из начала координат. Значение n_c (моль/см³), соответствующее числу молей отрезков цепи между узлами сетки в единице объема, определялось по выражению:

$$n_c = \frac{\sigma}{RT(\lambda - 1/\lambda^2)}; \tag{1}$$

где: σ - условное напряжение, кгс/см²; λ – относительное удлинение, %; T - температура; R - универсальная газовая постоянная.

Зависимость степени сшивки фторполимеров от дозы поглощённого излучения для двух материалов приведены на Рис. 3.

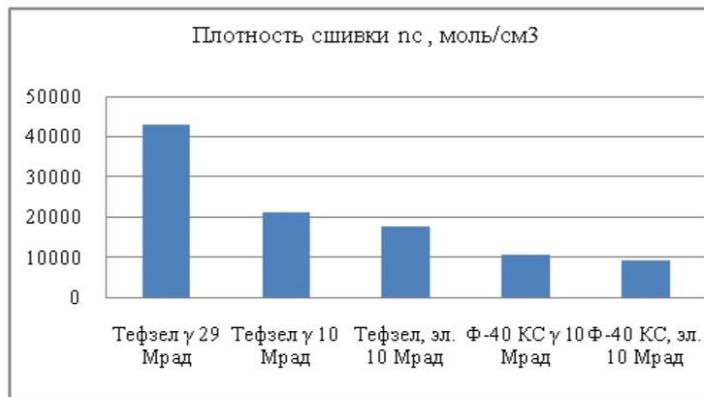


Рис. 3. Плотности сшивки фторопластов при разных поглощённых дозах.

На Рис.4 приведены зависимости прочности и разрывной деформации от температуры. При повышении температуры прочность уменьшается, в то время как разрывная деформация изменяется немонотонно в зависимости от значений плотностей сшивки. Образцы не подверженные излучению имеют наибольшее значение разрывной деформации в диапазоне температур от 100 до 150°С.

Из данных рис. 5 видно, что при более регулярной сетке механическая прочность при 20°С снижается, при 200°С проходит через максимум и при 300°С возрастает. При всех температурах разрывная деформация снижается с ростом степени сшивки.

На рис. 6 приведены кривые растяжения фторопласта Ф-40. Видно, что в зоне высоких температур в полезном диапазоне деформаций (0-100%) эксплуатационные качества фторопласта повышаются. Нужно отметить, что в области температур не превышающих 100°С прочность не сшитых образцов несколько выше, чем прочность сшитых. Однако с ростом температуры ситуация меняется на противоположную.

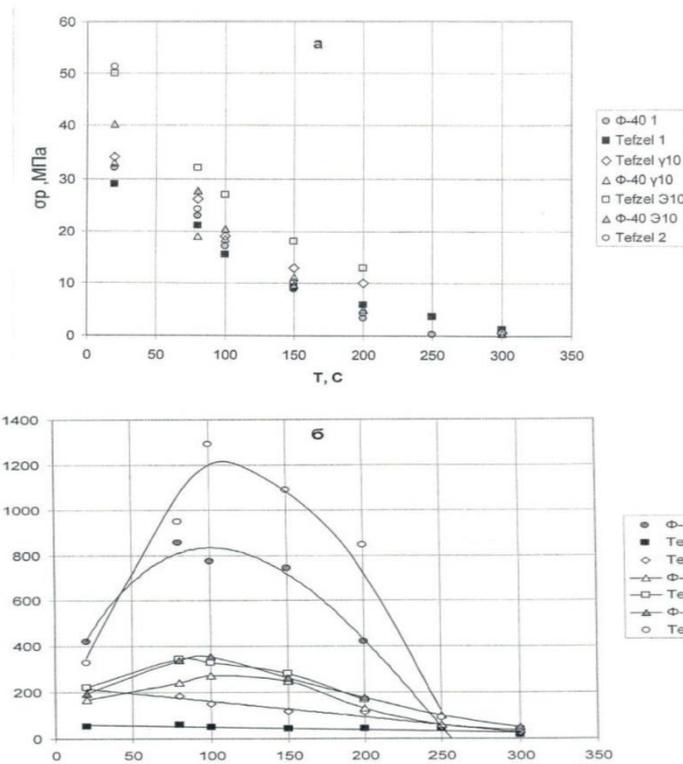


Рис. 4. Зависимость прочности и разрывной деформации от температуры

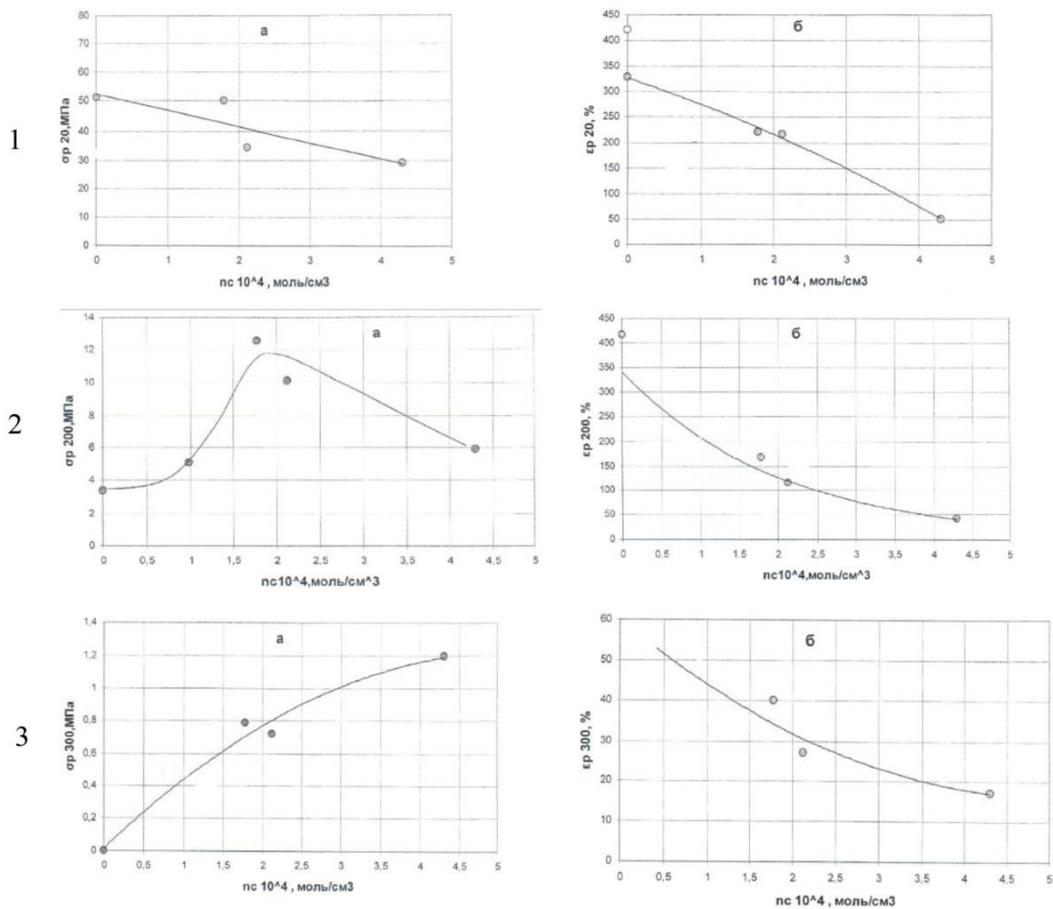


Рис. 5. Зависимости прочности (а) и разрывной деформации (б) от степени сшивки для фторопласта Теззел при температуре 20°C (1), 200°C (2) и 300°C (3).

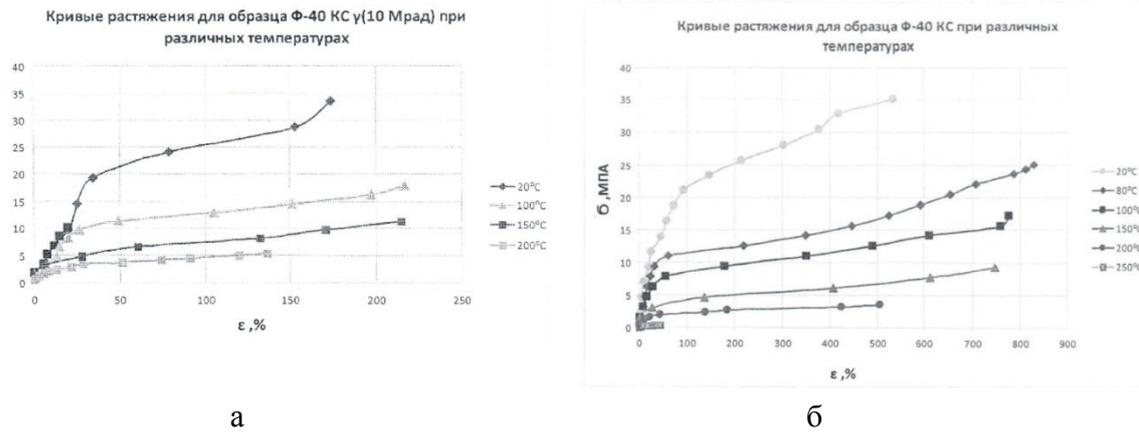


Рис. 6. Кривые растяжения облучённого (а) и не облучённого образцов(б).

Выводы

1. Определены значения плотности сетки фторопластов. Установлено, что сшитый Ф-40 имеет большую прочность.
2. Установлено, что при одинаковых условиях облучения фторопласт Tefzel обладает большей сшивающей способностью, нежели Ф-40.
3. Выяснено, что β-излучение даёт более регулярную пространственную сетку, нежели γ-излучение.

Список литературы

1. Махлис, Ф.А., Радиационная физика и химия полимеров. 151с. М.: Атомиздат 1972.
2. Лямкин, Д.И., Влияние способа сшивания на стабильность химической сетки полимерной изоляции кабельных изделий при термомеханическом воздействии. / Пластические массы. №2, 2012г. 25 с.
3. Егоров, В.Н., Метод объёмного цилиндрического резонатора для исследования диэлектриков на СВЧ // Кабель-NEWS. Декабрь 2009.
4. Костромин, В.В., Методы исследования диэлектрических свойств электроизоляционных материалов /В.В.Костромин, Б.С.Романов. // Кабель-NEWS. Декабрь-январь 2009-2010.
5. Григорян А.Г. Производство кабелей и проводов с применением пластмасс и резин. М.: Энергоатомиздат, 1992.
6. Сирота, А.Г., Модификация структуры и свойств полиолефинов. Л.: Химия, 1984, 152с.
7. Боев, М.А., Термомеханический метод оценки переметров сетки сшитых полимеров / М.А. Боев, Д.И. Лямкин, К.Г. Мисюк и др. // Кабельная техника, 1996, №10 (248), с.8-14.

05.13.18

А.С. Филичев, З.Я. Якупов

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

О ГРУППОВОМ ПОДХОДЕ К ДОКАЗАТЕЛЬСТВУ ГИПОТЕЗЫ АДАМАРА

Гипотеза Адамара о существовании матриц Адамара порядка $4n$ для любого положительного целого n остаётся недоказанной уже более ста лет с того самого момента, как её сформулировал французский математик Жак Адамар в 1893 году. В работе предпринята попытка подхода к решению этой проблемы путём применения теории групп.

Ключевые слова: *матрицы Адамара, гипотеза Адамара, теория кодирования, помехоустойчивые коды.*

Матрицы Адамара – это квадратные матрицы порядка n , строки которых состоят из чисел 1 и -1 и являются ортогональными по отношению друг к другу [1, с. 2].

Матрицы Адамара находят свое применение при решении различных задач теории кодирования, и не только. Например, матрицы Адамара применяются при построении функций Уолша, используемых для кодового разделения каналов в некоторых стандартах сотовой связи (IS-95, CDMA 2000 или UMTS). Данные матрицы находят свое применение при расшифровке спиральной структуры молекул ДНК, при производстве пространственных апертур, используемых в работе некоторых рентгеновских телескопов, в теории планирования экспериментов, в комбинаторике, в численном анализе, в теории интегральных уравнений [2].

Известна гипотеза Адамара, согласно которой матрицы Адамара существуют для любого порядка n , кратного четырем [1, с. 6–7].

Рассмотрим конечное множество G строк длины n , элементами которых являются 1 и -1. Всего таких строк – 2^n . Далее выбираем n , только кратные четырем.

Пример множества G строк длины 4:

1 1 1 1,	1 -1 1 1,	-1 1 1 1,	-1 -1 1 1,
1 1 1 -1,	1 -1 1 -1,	-1 1 1 -1,	-1 -1 1 -1,
1 1 -1 1,	1 -1 -1 1,	-1 1 -1 1,	-1 -1 -1 1,
1 1 -1 -1,	1 -1 -1 -1,	-1 1 -1 -1,	-1 -1 -1 -1.

Зададим на этом множестве строк обычную операцию поэлементного умножения, которая замкнута на G . Введенная операция ассоциативна и коммутативна.

Строка, состоящая из n единиц, – нейтральный элемент операции.

Для каждой строки из G симметричным элементом является сама строка g_i .

Тогда, исходя из вышесказанного, множество строк G является абелевой группой [3].

Среди элементов G есть такие строки, из которых можно построить матрицу Адамара. Для этого процесса необходимо иметь не менее n строк.

Таким образом, задача доказательства гипотезы Адамара сводится к доказательству того, что таких строк (будем называть их адамаровыми строками или строками Адамара) должно быть не менее n .

Для ясности, далее под адамаровыми строками будем понимать только такие строки, из которых можно построить нормализованную матрицу Адамара [1, с. 5].

Признаки строки Адамара:

- количество 1 и -1 одинаково (исключение – единичная строка);
- первым элементом должна быть 1;
- строки Адамара ортогональны друг другу.

Из нормализованных матриц Адамара простыми арифметическими действиями (перестановка столбцов и строк, умножение на -1) можно построить другие матрицы Адамара [1, с. 5].

Взятые таким образом строки Адамара образуют подмножество H из рассмотренной выше группы G . Разместив друг за другом в любом порядке строки h_i из H (одну и ту же строку при этом нельзя использовать дважды), мы получим полноценную матрицу Адамара при условии, что таких строк наберется не менее n .

Рассмотрим множество H . В него входит единичный элемент группы G . Каждый элемент $h_i \in H$ самосимметричен.

Если выполняется условие

$$h_i \cdot h_j = h \in H \quad \forall h_i, h_j \in H, \tag{1}$$

то H является подгруппой группы G .

Сформулируем условие (1) в виде следующей теоремы.

Теорема. Поэлементное умножение строк Адамара является замкнутой операцией на множестве этих строк.

Доказательство. Возьмем 2 произвольные строки Адамара $h_i, h_j \in H$. По определению строки Адамара:

$$(h_i, h_j) = \sum_{k=1}^n h_i^k \cdot h_j^k = 0; \quad 1 \leq i, j \leq n. \tag{2}$$

Поэлементное умножение двух строк длины n дает новую строку той же длины:

$$h_i \cdot h_j = h_{ij}; \quad 1 \leq i, j \leq n. \tag{3}$$

Докажем, что $h_{ij} \in H$.

Для доказательства возьмем ещё одну произвольную строку Адамара $h_l \in H$ и рассмотрим скалярное произведение этой строки на строку h_{ij} :

$$(h_l, h_{ij}) = \sum_{k=1}^n h_l^k \cdot h_{ij}^k; \quad 1 \leq i, j \leq n. \tag{4}$$

По построению $h_{ij}^k = h_i^k \cdot h_j^k$, следовательно, (4) можно записать в следующем виде:

$$(h_l, h_{ij}) = \sum_{k=1}^n h_l^k \cdot h_i^k \cdot h_j^k; \quad 1 \leq i, j \leq n. \tag{5}$$

Так как h_i, h_j и h_l – строки Адамара, то имеют место следующие равенства ($1 \leq i, j \leq n$):

$$\begin{cases} (h_i, h_i) = \sum_{k=1}^n h_i^k \cdot h_i^k = 0, \\ (h_l, h_j) = \sum_{k=1}^n h_l^k \cdot h_j^k = 0. \end{cases} \tag{6}$$

При вычислении суммы (5) мы неизбежно будем получать суммы четырех типов ($1 \leq i, j \leq n$):

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^n h_l^k \cdot h_i^k \cdot h_j^k = \sum_a 1 \cdot 1 \cdot 1 + \\ & + \sum_b 1 \cdot 1 \cdot (-1) + \sum_c 1 \cdot (-1) \cdot (-1) + \sum_d (-1) \cdot (-1) \cdot (-1), \end{aligned} \tag{7}$$

где a, b, c и d – количества элементов соответствующих типов.

Замечание. В равенстве (7) порядок следования множителей с (-1) не имеет значения.

Свойства ортогональности строк h_i, h_j и h_l влекут за собой следующие равенства [1, с.6–7]:

$$\begin{aligned} a + b - c + d &= 0, \\ a - b - c + d &= 0, \\ a - b + c + d &= 0. \end{aligned}$$

Также известно, что

$$a + b + c + d = n.$$

Исходя из этого, можно сделать вывод, что количества столбцов разных типов будут всегда равны друг другу:

$$a = b = c = d.$$

При этом столбцы типов a и d , b и c образуют пары с разными знаками, взаимно уничтожая при этом друг друга.

Таким образом, получили:

$$(h_i, h_{ij}) = \sum_{k=1}^n h_i^k \cdot h_i^k \cdot h_j^k = a - b + c - d = 0. \quad (8)$$

Следовательно, строки ортогональны друг другу. Благодаря тому, что строки Адамара h_i, h_j и h_l были выбраны случайным образом, равенство (8) справедливо для любых строк Адамара. **Теорема доказана.**

Замечание. В зависимости от вида строк h_i, h_j и h_l сумма (7) может не содержать слагаемых всех четырех видов, однако, на результате суммы это не сказывается. Это объясняется тем, что столбцы вида a и d , b и c взаимосвязаны друг с другом, и если убрать столбец одного из видов, исчезнет так же и столбец связанного вида.

Получили, что операция поэлементного умножения на множестве H является замкнутой. Следовательно, H является подгруппой группы G .

Естественно, возникает вопрос об оценке мощности подгруппы H посредством числа n . В теории групп мощность группы и ее подгрупп связывает следующая теорема Лагранжа:

Если H – подгруппа конечной группы G , то порядок G равен порядку H , умноженному на количество ее левых и правых классов смежности [4].

К сожалению, в данной работе авторам пока не удалось указать способ подсчета классов смежности для подгруппы H произвольного порядка n и применить в описанной ситуации теорему Лагранжа.

Мы можем лишь оценить верхний предел для мощности подгруппы H произвольного порядка n . Зная, что в строках из H количество элементов 1 и -1 равно, для оценки общего количества таких строк можно применить формулу сочетаний из n по $n/2$:

$$\frac{n!}{[(n/2)!]^2}.$$

Ранее было оговорено, что к группе H относятся только строки, начинающиеся с 1, поэтому получившееся число можно поделить пополам, чтобы убрать все строки, которые начинаются не с 1. Добавив к этому числу единичную строку, получим максимально возможную мощность подгруппы H :

$$\frac{n!}{2 \cdot [(n/2)!]^2} + 1.$$

Пока не известно, сколько из этих строк в действительности будут удовлетворять последнему условию – условию ортогональности, поэтому в данной работе оценить нижний предел мощности подгруппы H не представляется возможным.

С помощью специальной программы удалось узнать, что подгруппа H в группе G может строиться из различных элементов, то есть таких подгрупп может быть несколько.

Приведем примеры некоторых подгрупп H различных порядков:

$$H_4^1 = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \right\},$$

$$H_8^1 = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \right\},$$

$$H_{12}^1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \end{pmatrix}.$$

Как можно заметить, каждая из таких подгрупп сама по себе уже является матрицей Адамара. Найденные нами подгруппы H отличаются друг от друга хотя бы одним элементом (одной строкой). Простыми действиями, такими как умножение строк на -1, а также перестановками строк и столбцов, из одной подгруппы H можно получать различные матрицы Адамара. Таким образом, одна подгруппа H является «родителем» для целого класса матриц Адамара.

Используя матричный подход к доказательству проблемы Адамара, предложенный в настоящей статье, можно разработать алгоритм и создать реализующую этот алгоритм программу, способную строить матрицы Адамара различных порядков, кратных четырем. Это поможет в дальнейшем исследовании проблемы Адамара, учитывая, что универсального метода построения матриц Адамара любых порядков, кратных четырем, пока не существует.

Список литературы

1. Якунов З., Филчев А. Матрицы Адамара. Поиск закономерностей в их порядках. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 72 с.
2. Филчев А.С. Помехоустойчивое кодирование информации, пересылаемой на сверхдальние космические расстояния // Будущее авиации и космонавтики за молодой Россией: Материалы международного молодежного форума. Жуковский, 26 августа 2015. – Рыбинск: РГАТУ имени П.А. Соловьева, 2015. – 236 с. – С. 130.
3. Филчев А.С., Якунов З.Я. Алгоритмы распознавания алгебраических структур. XXI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодежная научная конференция, 19 – 21 ноября 2013 г.: Материалы конференции. – Т. I. – Казань: изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2013. – 458 с. – С 440.
4. Тронин С.Н. Введение в теорию групп. Задачи и теоремы. Часть 1.: Учебное пособие. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2006. – 100 с. – С. 47.

05.13.06

А.Г. Шумихин д.т.н., П.Ю. Сокольчик к.т.н., С.И. Сташков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра автоматизации технологических процессов и производств, Пермь, atr@pstu.ru

ИНТЕГРИРОВАННАЯ АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ПРОИЗВОДСТВЕ СМЕСЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В статье приведен обзор результатов решения авторами ряда задач интегрированной алгоритмической и инструментальной поддержки контроля и управления качеством, связанных с производством многокомпонентных смесей.

Ключевые слова: гетерогенные смеси, управление качеством, оперативный контроль, смешение, дозирование.

В химической, нефтегазовой, нефтеперерабатывающей, строительной, фармацевтической, лакокрасочной и других отраслях промышленности получение большого числа видов как готовой продукции, так и ее полуфабрикатов, происходит путем смешения некоторых исходных, как жидких, так и твердых компонентов [1].

Целью процесса получения многокомпонентной смеси является приведение при ее приготовлении показателей состава и качества смеси в соответствие с предъявляемыми к ним требованиями. Соответствие показателей качества продукции заданным требованиям достигается при определенном количественном соотношении компонентов смеси, которое задается рецептурой, а также технологией приготовления.

На практике часто возникает задача разработки новых рецептур при смене качества исходного сырья. Эффективно решать эту задачу позволяют модели, связывающие показатели качества исходного сырья и готовой продукции.

Приготовление многокомпонентных композиций – сложный технологический процесс. На качество композиций оказывает влияние множество факторов. Количественно взаимосвязь этих факторов с качеством можно оценить на основе, например, регрессионного анализа экспериментальных данных. Для этих целей часто используются методы планирования эксперимента для получения линейных и квадратичных зависимостей. Недостаток метода состоит в том, что такого вида модели не всегда адекватно описывают связи входных и выходных переменных в исследуемых диапазонах, которые на практике подчинены более сложным зависимостям. Часто возникает ситуация, когда исходные компоненты смесевых композиций характеризуются, в свою очередь, большим числом показателей качества. В этом случае модель будет характеризоваться также большим числом варьируемых факторов, связи которых с качеством смеси на практике не являются однотипными, например, подчиненными линейным или квадратичным зависимостям. Для решения таких задач необходимы интегральные комплексные оценки факторов, значение каждой из которых включает несколько показателей качества компонентов смеси. Это во многих случаях позволяет получить регрессионные модели. Одним из математических инструментов, реализующих этот подход, является метод главных компонент. Применение этого метода предполагает использование интегральных оценок – главных компонент, каждая из которых сама является регрессионной зависимостью от показателей качества исходных компонентов смеси. Применение алгоритмов этого подхода в ряде случаев позволяет эффективно решать задачи прогнозирования и управления качеством в производстве многокомпонентных смесей. Однако, данный метод применим, когда исследователю известна ограниченная допустимая область агрегирования исследуемых факторов. В случае, когда такая область определена, задача усложняется тем, что получаемые для какой-то одной ограниченной области изменения факторов модели не будут адекватно описывать другую область. Это обстоятельство требует при идентификации связей «состав-качество», «технологические

параметры – качество» или, когда рецептура не задана, «обе группы факторов – качество» применения при проведении исследований для «выхода» в область, допустимую для агрегирования факторов по какому-то критерию специальных трудоемких методов эволюционного планирования эксперимента. В этом случае, как показывают результаты [2], применимы алгоритмы нейросетевого моделирования, работающие с достаточно высокой точностью в широкой допустимой области варьирования факторов.

Часто возникает также задача приведения многокомпонентной смеси известного состава к заданному [3], например, техническими условиями или стандартом на товарную продукцию, связанная с ограничением на объем резервуара (емкости) для приготовления или хранения смесевой продукции. Процесс стандартизации состава может быть осуществлен как добавлением (дозированием) компонентов в емкости для хранения продукции, так и непосредственно на потоке с помощью системы автоматического регулирования соотношения расходов стандартизирующих добавок. В этом случае при известных составах основного продукта и добавок необходим расчет количества или расхода минимальных добавок компонентов, т. е. существует задача приведения смеси известного состава к заданному методом минимальных добавок компонентов. Решить данную задачу можно двумя альтернативными методами [4].

Алгоритм первого метода основан на применении второго правила приведения сложных смесей, впервые сформулированного М.Ф.Нагиевым [3] для процессов нефтепереработки, которые можно распространить, очевидно, на смеси жидких, твердых и газообразных компонентов как гомогенных, так и гетерогенных смесей.

Второй метод основан на решении задачи линейного программирования, использующего в качестве минимизируемой в процессе решения целевой функции сумму количества или расхода минимальных добавок компонентов, а в качестве ограничений – массовые доли компонентов в конечной смеси [4].

Оба метода показали высокую степень сходимости результатов [1, 4], что позволяет рекомендовать алгоритмы на их основе к использованию в автоматизированных системах управления технологическими процессами приготовления многокомпонентных смесей.

Однако, использование для стандартизации смесей минимальными корректирующими добавочными компонентами высокоточных дозаторов, обеспечивающих и высокую точность, и, при необходимости, большое значение расходов компонентов, является дорогим решением. Поэтому целесообразно использовать двухстадийную схему дозирования-смешивания, подробно описанную в [1]. Схема предполагает на первой стадии реализацию грубого (предварительного) дозирования компонентов смеси, осуществляемого дозаторами с большими расходами компонентов. В данном случае используются технические средства, которые не могут в силу конструктивных особенностей, например, диктуемых стоимостью устройств, поддерживать высокую точность дозирования компонентов, требуемую для получения смеси необходимого состава. На второй стадии осуществляется прецизионное дозирование при помощи высокоточных малогабаритных дозаторов, позволяющих с требуемой точностью привести состав смеси после первого смесителя к заданному.

Качество смесевых композиций напрямую зависит не только от точности и последовательности дозирования компонентов, т. е. от компонентного состава смеси, но и от качества гомогенизации исходных компонентов. Поэтому степень гомогенизации необходимо оперативно контролировать и регулировать. Для реализации оперативного контроля степени гомогенизации смеси в системе двухстадийного дозирования-смешивания предложен способ контроля степени однородности гомогенизируемой композиции, основанный на алгоритмах обработки оптолептической информации об ее поверхности [5], позволяющий осуществлять контроль без непосредственного вмешательства в технологический процесс.

Обеспечение высокого уровня точности непрерывного измерения показателей качества смесевых композиций позволяет разработать эффективную систему управления технологическим процессом компаундирования смесевых композиций.

Реализация рассмотренных технических решений в автоматизированных системах управления технологическими процессами приготовления многокомпонентных смесей позволят эффективно решать задачи прогнозирования и управления качеством в производстве многокомпонентных композиций, при разработке их рецептур и смене качества исходного сырья. Такие двухстадийная технологическая схема и система управления, реализующие предложенные методы, применимы для технологических процессов производства многокомпонентных смесей в нефтегазовой, химической, строительной, лакокрасочной, фармацевтической и других отраслях промышленности для получения готовой продукции или ее полуфабрикатов.

Список литературы

1. *Шумихин А.Г., Сокольчик П.Ю., Сташков С.И., Поповцева Л.Е.* Способ и алгоритмы оперативного контроля и управления качеством в процессах приготовления многокомпонентных смесей // Труды XII международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения». Новосибирск, 2014, Т.2. – С. 150-156.
2. *Сокольчик П.Ю.* Инструментально-квалиметрическая и компьютерная поддержка контроля и управления качеством продукции автоматизированных производств многокомпонентных гетерогенных смесей: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Изд-во ПГТУ, 2006.
3. *Нагиев М. Ф.* Учение о рециркуляционных процессах в химической технологии. - Баку: Азербайджанское государственное издательство, 1965. – 474 с.
4. *Шумихин А. Г., Сташков С. И.* Приведение многокомпонентной смеси известного состава к заданному при минимальных добавках индивидуальных компонентов // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. 2013. №1. - С. 5-15.
5. *Шумихин А.Г., Сокольчик П.Ю., Сташков С.И.* Способ определения степени гомогенизации гетерогенных смесей по оптолептической информации об их поверхности. Патент РФ на изобретение № 2489705, опубл. 10.08.2013.

05.13.18

А.Г. Щербинин д.т.н., А.С. Мансуров, А.А. Порошин

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

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ

С помощью математического моделирования проведены численные исследования эффективности работы медного цилиндрического экрана в диапазоне частот от 10 кГц до 10 МГц. Получены поля напряженности магнитного поля в исследуемой области с экраном и без него, по которым определено затухание экранирования. Проведена проверка адекватности работы математической модели электромагнитного экрана.

Ключевые слова: исследование, эффективность экранирования, цилиндрических экранов, математическое моделирование, ANSYS.

Электромагнитные экраны являются наиболее эффективными средствами защиты электротехнических устройств от воздействия электромагнитных полей [1-3]. Как правило, электромагнитные экраны изготавливаются из меди, алюминия или стали. Эффективность экранирования можно оценивать либо с помощью коэффициента экранирования S , определяемого отношением напряженностей электрического или магнитного поля в защищаемой области при наличии экрана и при его отсутствии [1, 2], либо по величине затухания экранирования

$$A_{\text{Э}} = 20 \lg \left| \frac{1}{S} \right|. \quad (1)$$

Поскольку электрические поля существенно лучше экранируются, чем магнитные, определим защитные свойства электромагнитного экрана при воздействии переменного магнитного поля. На рисунке 1 приведена схема медного цилиндрического экрана, помещенного в переменное магнитное поле между двух обкладок, на которых задан магнитный векторный потенциал. На верхней обкладке векторный магнитный потенциал $A = -1$ Вб/м, на нижней – $A = 1$ Вб/м. Магнитное поле во времени изменяется по косинусоидальному закону в диапазоне частот от 10 кГц до 10 МГц.

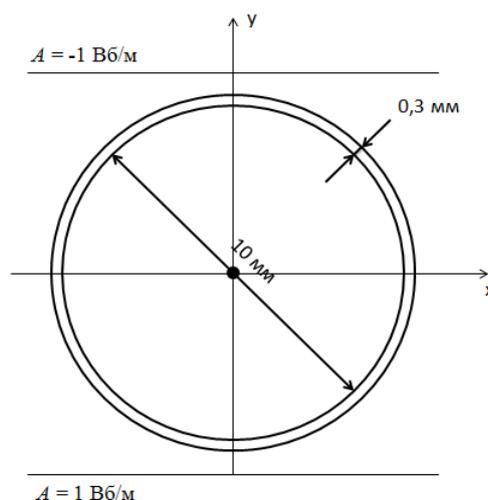


Рис. 1- Геометрические размеры экрана и исследуемая область

Задача двумерная, т.к. пренебрегая продольными компонентами магнитного поля, будем считать, что силовые линии магнитного поля лежат в плоскости перпендикулярной оси экрана. Электромагнитные параметры рассматриваемых сред постоянны и изотропны.

Таким образом, дифференциальное уравнение для комплексной амплитуды векторного магнитного потенциала запишется как [4, 5]:

для проводящей среды

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A}{\partial y} \right) - i\omega\sigma A + J_s = 0, \quad (2)$$

$$-i\omega\sigma A + J_s = J, \quad (3)$$

для диэлектрической среды

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = 0. \quad (4)$$

где A – магнитный векторный потенциал, Вб/м; μ_a – абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м; σ – удельная электропроводность, См/м;

J – результирующая плотность тока ($J = \mathbf{0}$), А/м²; J_s – плотность тока, определяемая законом Ома в дифференциальной форме, А/м².

На бесконечном удалении от экрана магнитный потенциал равен нулю. На границах раздела сред задано равенство магнитного потенциала по разные стороны границы.

В результате численного решения уравнений (2)–(4) в программном комплексе ANSYS получены распределения магнитного потенциала при отсутствии и при наличии экрана, по которым произведено вычисление напряженностей магнитного поля. На рисунках 2-5 приведены поля напряженности магнитного поля в исследуемой области с экраном.

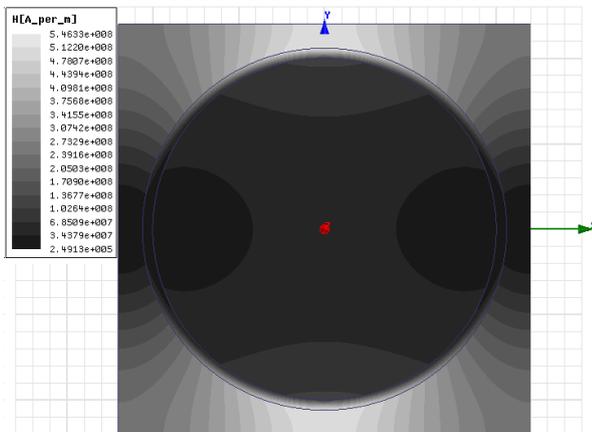


Рис. 2- Распределение напряженности магнитного поля при частоте 10 кГц

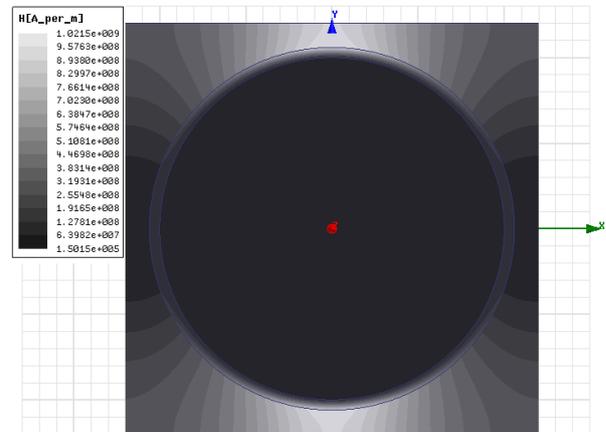


Рис. 3- Распределение напряженности магнитного поля при частоте 100 кГц

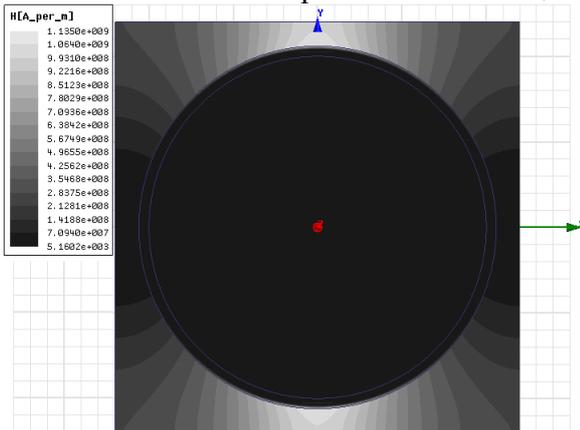


Рис. 4- Распределение напряженности магнитного поля при частоте 1 МГц

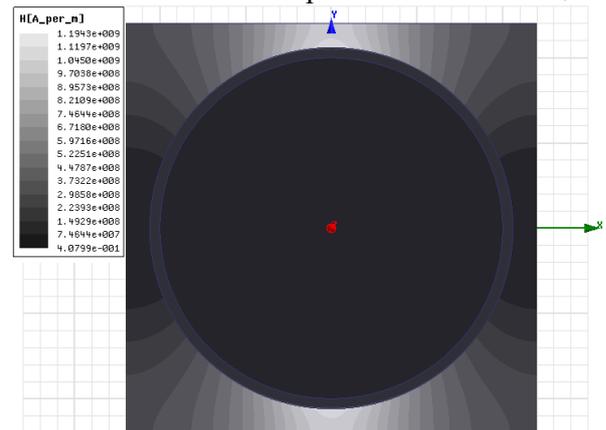


Рис. 5- Распределение напряженности магнитного поля при частоте 10 МГц

По результатам численных исследований для точки с координатами $x=0$, $y=0$ по формуле (1) рассчитаны значения затухания экранирования в диапазоне частот от 10 кГц до 10 МГц (рис. 6, кривая 2).

Для проверки адекватности работы математической модели (2)–(4) и представленной методики определения эффективности экранирования проведено сравнение с результатами вычислений затухания экранирования, полученными с помощью аналитических выражений [1, 2]. Экранирующий эффект определяется суммарным действием затухания поглощения и

затухания отражения

$$A_{\Sigma} = A_{\Pi} + A_{\Theta} \tag{5}$$

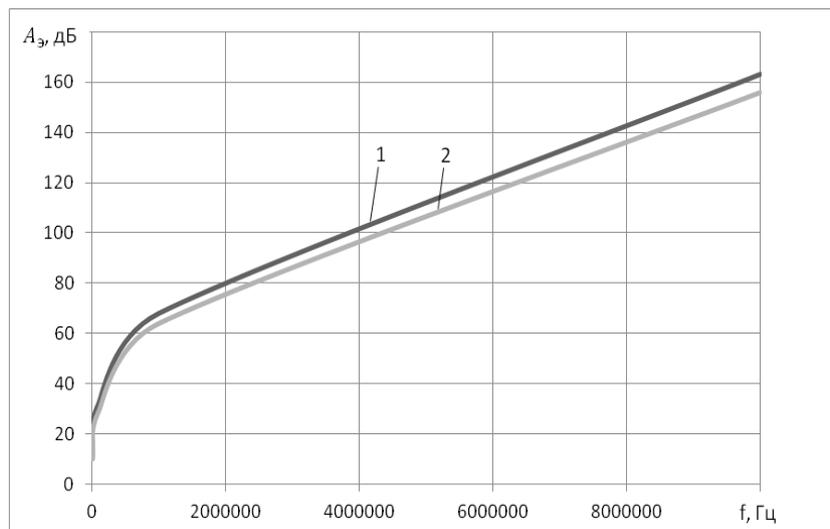


Рис. 6- Затухание экранирования от частоты: 1-Аналитический метод, 2-Численный метод
 Затухание поглощения обусловлено тепловыми потерями на вихревые токи в металлическом экране. Чем выше частота и толщина экрана, тем больше эффект экранирования.

$$A_{\Pi} = 20 \log |\cosh(\sqrt{i} \cdot kt)| \tag{6}$$

где $k = \sqrt{\omega \mu_a \sigma}$ – коэффициент вихревых токов, 1/м; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота, рад/с;

f – частота тока, Гц; $\mu_a = \mu \mu_0$ – абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м; $\sigma = \frac{1}{\rho}$ – удельная электропроводность материала, 1/(Ом*м); t – толщина экрана, м.

Затухание отражения связано с несоответствием волновых характеристик (волнового сопротивления) металла, из которого изготовлен экран, и диэлектрика окружающего экран. Чем больше различаются волновые сопротивления диэлектрика и металла (Z_{Π} и $Z_{\mathbf{M}}$), тем сильнее эффект экранирования за счет отражения:

$$A_{\Theta} = 20 \log |1 + 1/2 (Z_{\Pi}/Z_{\mathbf{M}} + Z_{\mathbf{M}}/Z_{\Pi}) \tanh(\sqrt{i} \cdot kt)| \tag{7}$$

где $Z_{\Pi} = \sqrt{\frac{i\omega\mu_a}{\sigma}}$ – волновое сопротивления диэлектрика, (Ом); $Z_{\mathbf{M}} = i\omega\mu_a r_{\Sigma}$ – волновое сопротивление металла экрана, (Ом); r_{Σ} – радиус экрана, (м)

Результаты вычислений затухания экранирования с помощью аналитических выражений (5)-(7) представлены на рисунке 1 (кривая 1). Расхождения между величинами затухания экранирования, рассчитанными с помощью численной и аналитической моделей, не превышают 4%, что свидетельствует об адекватности математической модели (2)-(4).

Таким образом, использование предложенной методики позволит определять эффективность работы электромагнитных экранов более сложной конструкции.

Список литературы

1. Андреев В.А., Портнов Э.Л., Кочановский Л.Н. Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов. Т. 1: Теория передачи и влияния. М.: Горячая линия-Телеком, 2011. 422 с.
2. Шапиро Д.Н. Электромагнитное экранирование. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект». 2010. 120 с.
3. Otin R., Verpoorte J., Schippers H. Finite Element Model for the Computation of the Transfer Impedance of Cable Shields // IEEE Transactions On Electromagnetic Compatibility. 2011. Vol. 53, no. 4. Pp. 950-958.
4. Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2007. 896 с.
5. Weiss, J.; Csendes, Z.: A one-step finite element method for multiconductor skin effect problems // IEEE Trans. Power Appar. Syst. 1982. Vol. 101. Pp. 3796-3803.

05.13.18

А.Г. Щербинин д.т.н., С.В. Стариков

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НА ИХ ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ

Проведено численное исследование влияния пропускной способности кабельных линий от способов прокладки. При построении математической модели теплообмена кабелей учитывались излучение и естественная конвекция воздуха, которая рассматривалась в приближении Буссинеска. Поставленная задача решалась методом конечных элементов с помощью программного комплекса ANSYS. Отмечено, что пропускная способность кабельных линий во много зависит от способов прокладки кабелей.

Ключевые слова: *номинальная пропускная способность кабелей, способы прокладки кабелей, повреждение изоляции, математическое моделирование, ANSYS.*

В работе проведено исследование пропускной способности силового кабеля с медными жилами, не распространяющим горение, с низким дымо- и газовыделением, марки ВВГнг(А)-LS 3x16+1x10 на напряжение 0,66 кВ в зависимости от способов прокладки. Конструкция кабеля представлена на рисунке 1.

Кабели, закрепленные на эстакаде, проложены под потолком в коридоре с кирпичной стенкой (рис. 2), геометрические размеры которого соответствуют нормам пожарной безопасности для административно-бытовых помещений с двусторонним расположением дверей.

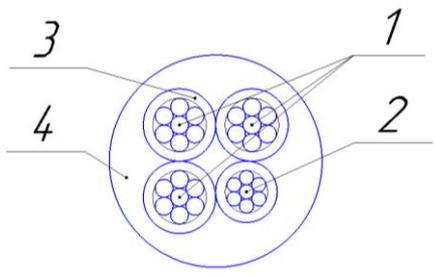


Рис. 1. Конструкция кабеля
1 - токопроводящие жилы; 2 - нулевая жила;
3 - изоляция из ПВХ пластиката; 4 - оболочка из ПВХ пластиката.

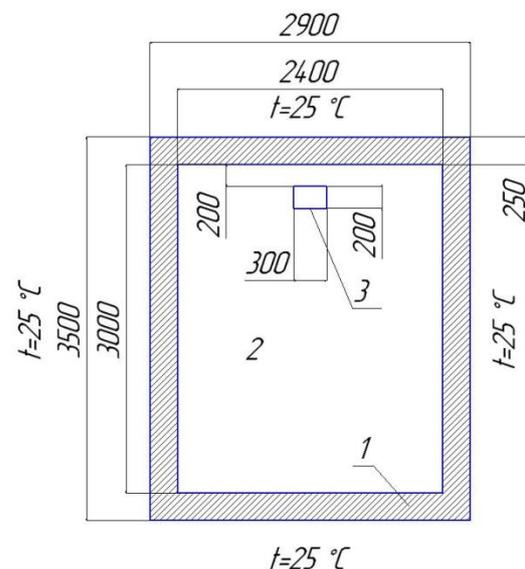


Рис. 2. Геометрические размеры расчетной области
1 - кирпичная стенка; 2 - воздушная среда; 3 - кабельная эстакада

Процессу теплообмена кабельной линии в условиях естественной конвекции воздуха посвящено ряд работ [1, 2]. При построении данной математической модели были сделаны следующие допущения: задача двумерная, стационарная; процесс тепловой конвекции рассматривается в приближении Буссинеска [3]; воздушная среда несжимаема; на границах стенки задавалось условие прилипания и непроницаемости; теплофизические свойства материалов постоянны, учтена только подъемная сила, возникающая в воздушной среде в результате зависимости плотности от температуры; течение воздуха ламинарное [4].

С учетом сделанных допущений процесс тепломассопереноса в расчётной области описывается с помощью следующих дифференциальных уравнений [3-5]:

Уравнения движения:

$$\rho \left(U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial U_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial U_x}{\partial y} \right), \quad (1)$$

$$\rho \left(U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial U_y}{\partial y} \right) + g\rho_0\beta(t - t_0); \quad (2)$$

Уравнение несжимаемости:

$$\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} = 0; \quad (3)$$

Уравнение теплопроводности для кабеля:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + q_v = 0; \quad (4)$$

Уравнение энергии для воздуха:

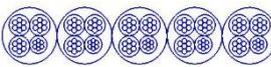
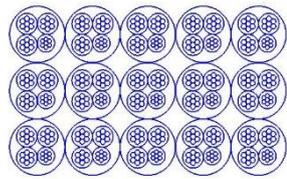
$$\rho c \cdot \left(U_x \frac{\partial t}{\partial x} + U_y \frac{\partial t}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right). \quad (5)$$

где x, y – декартовы координаты, м; t – температура, °С; q_v – мощность внутреннего источника тепла, Вт/м³; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С); c – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С); ρ – плотность воздуха, кг/м³; U_x, U_y – компоненты вектора скорости воздуха, м/с; P – отклонение давления воздуха от гидростатического, Па; g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ_0 – плотность воздуха при температуре t_0 ; β – объемный коэффициент теплового расширения воздуха, K⁻¹; μ – коэффициент динамической вязкости воздуха, Н·с/м² [12].

На внешней границе расчётной области задаётся граничное условие 1-го рода. На границах твердых разнородных сред выполняется граничное условие 4-го рода. На границах канала и на поверхности кабелей задается условие непроницаемости и прилипания. Мощность тепла в токопроводящей жиле определяется согласно закону Джоуля-Ленца

Исследование проводилось при прокладке кабельной линии в 3 конфигурациях, представленных в таблице.

Таблица - Исследуемые способы прокладки кабельной линии

Вариант прокладки	1	2	3
Конфигурация прокладки			
Номинальная токовая нагрузка, А	90	56	32

Задача решалась методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS Fluent. Номинальные токовые нагрузки кабелей для рассматриваемых способов прокладки, приведенные в таблице, определялись итерационно по допустимой рабочей температуре изоляции токопроводящих жил, которая для поливинилхлоридного пластика составляет 70°С.

На рисунках 3–5 представлены результаты распределения температурных полей при каждом исследуемом способе прокладки кабельной линии. Из рисунков видно, что в худших условиях по температуре находятся кабели, расположенные в центральной части пучка. Номинальные токовые нагрузки кабелей для вариантов №2 и №3 составляют 67% и 39% по отношению к одиночно проложенному кабелю (вариант №1).

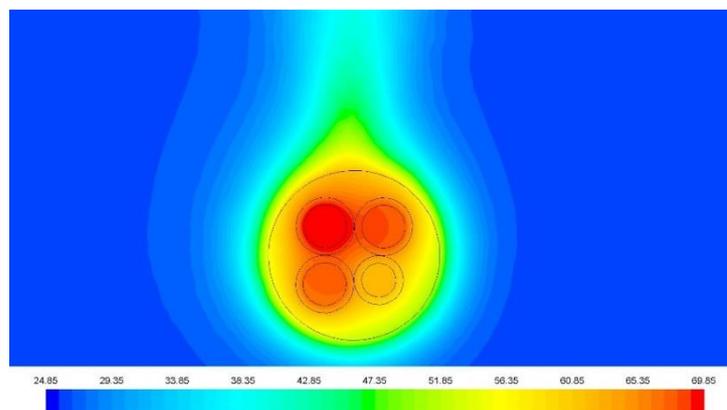


Рис. 3. Распределение температурных полей прокладки одиночного кабеля

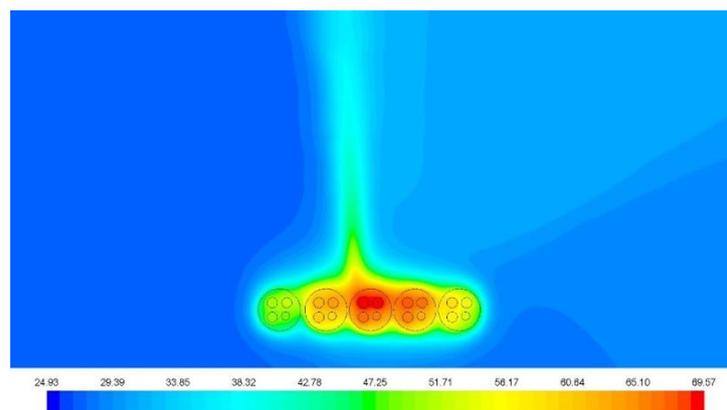


Рис. 4. Распределение температурных полей прокладки 5 кабелей

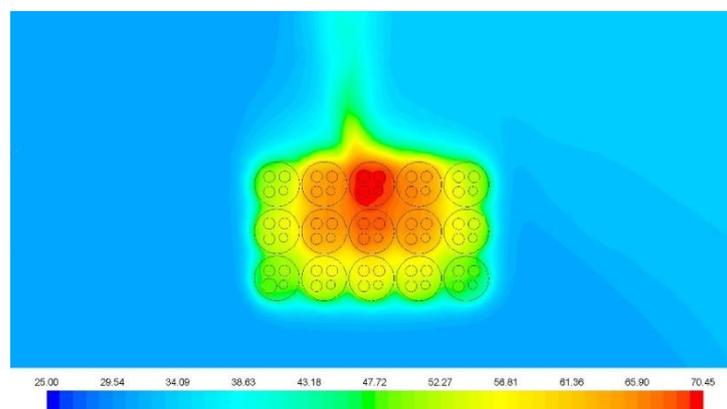


Рис. 5. Распределение температурных полей прокладки 15 кабелей

В результате проведенных экспериментов получено, что способ и условия прокладки кабеля оказывает существенное влияние на распределение температурного поля в самом кабеле и вокруг него, а значит и на пропускную способность такого кабеля. Поэтому при проектировании кабельных линий необходимо учитывать все аспекты при выборе материала и сечения токопроводящих жил кабеля и способов их прокладки.

Список литературы

1. *Yang Liu*. Coupled conduction-convection PROBLEM for an underground duct containing eight insulated cables // *International Journal of Computational Engineering Science*, 2000. pp. 187-206.
2. *Щербинин А.Г., Терлыч А.Е., Мансуров А.С.* Экспериментальные и численные исследования токовой нагрузки силовых кабелей в зависимости от условий прокладки. *Электротехника*. 2015. № 11. С. 11-14.
3. *Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М., Непомнящий А.А.* Устойчивость конвективных течений. М.: Наука, 1989. 320 с.
4. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973. 848 с.
5. *Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.* Теплопередача. М.: Энергия. 1975. 488 с.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

**В.С. Минкин, П.П. Суханов, Т.Ю. Миракова, Т.В. Игнашина
НОВАЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ
ГЕРМЕТИКОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ
ОЛИГОМЕРОВ**

Ключевые слова: герметизирующие композиции, полисульфидные олигомеры, битуминозный песчаник, адгезия, жизнеспособность, рецептурный состав.

Исследованы новые герметизирующие составы на основе полисульфидных олигомеров и серосодержащих битуминозных песчаников, обладающие оптимальной жизнеспособностью, повышенной адгезией и стабильными физико-механическими характеристиками. Показано, что механизм полифункционального действия минеральной добавки может быть обусловлен ее участием во всех стадиях процесса отверждения полисульфидных олигомеров диоксидами марганца.

**V.S. Minkin, P.P. Sukhanov, T.Yu. Mirakova, T.V. Ignashina
NEW MULTIFUNCTIONAL ADMIXTURE FOR
SEALANTS ON THE BASE OF POLYSULFIDE
OLIGOMERS**

Keywords: sealing compositions, polysulfide oligomers, bituminous sandstone, adhesion, viability, prescription composition.

New receipts for sealing compositions, based on polysulfide oligomers and sulphur-containing bituminous sandstones, with optimal viability, higher adhesion and stable physical-mechanical properties have been investigated. It is shown, that the mechanism of polyfunctional activity of mineral admixture may be due to its participation in all stages of the manganese dioxides` hardening process of polysulfide oligomers.

**А.Р. Абдуллаев, Э.В. Плехова, Е.В. Сергеева
О ЛИНЕЙНОМ СИНГУЛЯРНОМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ УРАВНЕНИИ ВТОРОГО
ПОРЯДКА**

Ключевые слова: оператор Чезаро, положительные операторы, коэффициент сюръективности.

Получены достаточные условия разрешимости задачи Коши для уравнения

$$x''(t) + \frac{k}{t}x'(t) + \frac{m}{t^2}x(t) + T_1x'(t) + T_2x(t) = f(t), \quad t \in [0,1]$$

с нулевыми начальными условиями. Это утверждение опирается на исследование свойств оператора $B: L_2 \rightarrow L_2$,

$$B_y = y(t) + \frac{k+m}{t} \int_0^t y(s)ds - \frac{m}{t^2} \int_0^t sy(s)ds.$$

В частности показано, что для всех $(k, m) \in R^2$ таких, что $k+m \geq 0, k-2m \geq 0$, оператор B положительный и $\|B^{-1}\| = 1$.

**A.R. Abdullaev, E.V. Plekhova, E.V. Sergeeva
LINEAR SINGULAR FUNCTIONAL-DIFFERENTIAL
SECOND-ORDER EQUATION**

Keywords: Cesaro operator, positive operators, the surjective coefficient.

Sufficient conditions of solvability of Cauchy problem for equation

$$x''(t) + \frac{k}{t}x'(t) + \frac{m}{t^2}x(t) + T_1x'(t) + T_2x(t) = f(t), \quad t \in [0,1]$$

were obtained with zero initial conditions. This assertion is based on an investigation of characteristics of operator

$$B: L_2 \rightarrow L_2, \quad B_y = y(t) + \frac{k+m}{t} \int_0^t y(s)ds - \frac{m}{t^2} \int_0^t sy(s)ds.$$

In particular it was show that for all $(k, m) \in R^2$ such that $k+m \geq 0, k-2m \geq 0$, operator B is positive and $\|B^{-1}\| = 1$.

**В.В. Дружинин, А.Г. Сироткина
СУММЫ ОБОБЩЕННЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ
ПРОГРЕССИЙ**

Ключевые слова: сумма членов геометрической прогрессии, обобщенная геометрическая прогрессия, полиномиальная теорема.

Получены новые формулы для расчета сумм некоторых обобщенных геометрических прогрессий. Рассмотрены приложения полученных результатов.

**V.V. Druzhinin, A.G. Sirotkina
THE SUMS OF GENERALIZED GEOMETRIC
PROGRESSIONS**

Keywords: the sum of the terms of a geometric progression, generalized geometric progression.

Obtained new formulas for the calculation of the amounts of some generalized geometric progressions. We consider the applications of the obtained results.

**М.Е. Григорьев, В.Г. Матвеева, Е.В. Ребров
КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ПРОЦЕССА ГИДРИРОВАНИЯ D-
КСИЛОЗЫ ДО D-КСИЛИТА**

Ключевые слова: катализаторы, гидрирование, D-ксилоза, D-ксилит.

В данной работе представлены возможность использования различных каталитических систем для процесса гидрирования D-ксилозы и результаты, полученные при их применении. Особое внимание уделено рутениевым катализатором, как наиболее перспективным на сегодняшний день.

**M.E. Grigorjev, V.G. Matveeva, E.V. Rebrov
CATALYSTS FOR HYDROGENATION OF D-XYLOSE TO
D-XYLITOL**

Keywords: catalysts, hydrogenation, D-xylose, D-xylitol. The possibility of the use of different catalytic systems for the process of hydrogenation of D-xylose and also the obtained results are presented in this work. Ruthenium catalysts are of special interest as they are one of the most prospective ones among the catalysts known at present.

**О.В. Манаенков, О.В. Кислица, В.Ю. Долуда, В.Г. Матвеева,
А.Е. Филатова, Э.М. Сульман, А.И. Сидоров, Е.В. Ребров
КИНЕТИКА ПРОЦЕССА ГИДРОГЕНОЛИЗА
ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В СУБКРИТИЧЕСКОЙ ВОДЕ**

Ключевые слова: целлюлоза, гидрогенолиз, субкритическая вода, полиолы, гетерогенный катализ, кинетическая модель. В данной работе представлены результаты исследования кинетики процесса гидрогенолиза микрокристаллической целлюлозы в субкритической воде до полиолов в присутствии Ru-содержащих гетерогенных катализаторов.

**O.V. Manaenkov, O.V. Kislitza, V.Yu. Doluda,
V.G. Matveeva, A.E. Filatova, E.M. Sulman, A.I. Sidorov,
E.V. Rebrov
KINETICS OF THE CELLULOSE HYDROGENOLYSIS IN
SUBCRITICAL WATER**

Keywords: cellulose, hydrogenolysis, subcritical water,, polyols, heterogeneous catalysis, kinetic model. In this paper the results of a study of the kinetics of the hydrogenolysis process microcrystalline cellulose in subcritical water to polyols in the presence of Ru-containing

Предложена адекватная кинетическая модель процесса, рассчитаны её основные параметры.

Е.Н. Минаев

РАСЧЁТ МАССОПЕРЕНОСА КИСЛОРОДА В ПРИГРАНИЧНОМ СЛОЕ ПОВЕРХНОСТИ ОМЫВАЕМОЙ РАСТВОРОМ, ПРИ ЕЁ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ
Ключевые слова: электрохимическая защита, массоперенос кислорода на границе, уравнение конвективной диффузии.

Проведено моделирование массопереноса кислорода на границе металл – раствор со стороны жидкости при катодной поляризации поверхности. Моделирование основано на построения и решения краевой задачи для уравнения конвективной диффузии со степенным профилем скорости. Получены выражения для расчёта концентрации и плотности потока кислорода на границе. Представлен метод параметрической идентификации коэффициента профиля скорости.

Е.В. Ожимкова, И.В. Ущуповский, Э.М. Сульман
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ И АЗОТФИКСИРУЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ ЛЬНА

Ключевые слова: лен культурный, азотные удобрения, азотфиксирующие микроорганизмы, ранние этапы онтогенеза.

В работе представлены результаты исследования различных условий азотного питания на ранние этапы развития масличных и долгуновцов сортов льна культурного.

Б.Б. Тихонов, А.И. Сидоров, П.Ю. Стадольникова,
О.В. Гребенникова, Н.В. Лакина
ОКИСЛЕНИЕ ХЛОРОФЕНОЛОВ БИФЕРМЕНТНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ОКСИДОРЕДУКТАЗ

Ключевые слова: пероксидаза хрена, глюкозооксидаза, биферментная система, глюкоза, хлорфенолы, иммобилизация.

В работе изучены свойства ферментативных систем на основе 2 ферментов класса оксидоредуктаз (пероксидазы хрена и глюкозооксидазы) в реакции окисления хлорфенолов (4-хлорфенола и 2,4-дихлорфенола). Процесс основан на окислении глюкозооксидазой β -D-глюкозы в присутствии кислорода до β -D-глюконо- δ -лактона и H_2O_2 и использовании последней для окисления хлорфенольного субстрата. Исследована возможность использования для окисления хлорфенолов ковалентно иммобилизованной биферментной системы.

В.В. Хасанов, Т.А. Борукаев, Т.А. Кипшиева, Д.М. Фотова,
М.А. Кагермазова

СИНТЕЗ ДЫМОПОДАВЛЯЮЩИХ ПРИСАДОК НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МОЛИБДАТОВ К ПВХ-ПЛАСТИКАТУ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ АНТИДЫМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Ключевые слова: октамолибдат аммония, получение, ПВХ-пластикат, дымоподавление.

Разработан перспективный способ получения октамолибдата аммония с количественным выходом. Обнаружено, что октамолибдат аммония эффективно снижает количество выделяющегося дыма при горении ПВХ-пластиката. Показано, что механизм подавления дыма октамолибдатом аммония заключается в окислении сажевых частиц с образованием карбонильных соединений.

heterogeneous catalysts are presented. The adequate kinetic model of the process is proposed, and its basic parameters are calculated.

E.N. Minaev

CALCULATION OF MASS TRANSFER OF OXYGEN IN THE BOUNDARY OF METAL – WATER SOLUTION BY ELECTROCHEMICAL PROTECTION OF SURFACE AND MOVEMENT OF WATER

Keywords: electrochemical protection, mass transfer of oxygen, differential equation of convective diffusion.

Modeling of mass transfer of oxygen in the boundary of metal – water solution by electrochemical protection of surface is presented in this paper. Differential equation of convective diffusion with velocity profile in the form of a power function is used. Formulas for calculating of concentration and flux of oxygen in the boundary is obtained.

E.V. Ozhimkova, I.V. Uschapovsky, E.M. Sulman
EFFECTIVENESS OF NITROGEN-CONTAINING COMPOUNDS AND NITROGEN-FIXING MICROORGANISMS ON EARLY STAGES GROWTH OF FLAX

Keywords: flax, nitrogen fertilizer, nitrogen-fixing microorganisms, early stages of ontogeny.

The paper presents the results study of various conditions of nitrogen nutrition on the early stages development of flax varieties.

В.В. Тихонов, А.И. Сидоров, П.Ю. Стадольникова,
О.В. Гребенникова, Н.В. Лакина
OXIDATION OF CHLOROPHENOLS BY BIENZYMATIC SYSTEMS BASED ON OXIDOREDUCTASES

Keywords: horseradish peroxidase, glucose oxidase, bienzymatic system, glucose, chlorophenols, immobilization.
In article the properties of enzymatic systems on the basis of 2 enzymes of a class of oxidoreductases (horseradish peroxidase and glucose oxydase) in reaction of oxidation of chlorophenols (4 chlorophenol and 2,4 dichlorophenol) are investigated. Process is based on oxidation of β -D-glucose by glucose oxydase in the presence of oxygen to β -D-glucono- δ -lactone and H_2O_2 and use of the last for the oxidation of a chlorophenolic substrates. The possibility of use for oxidation of chlorphenols of the covalently immobilized bienzymatic system is investigated.

V.V. Khasanov, T.A. Borukaev, T.A. Kipshieva, D.M. Fotova,
M.A. Kagermazova

THE SYNTHESIS OF SMOKE SUPPRESSANT ADDITIVES ON THE BASE OF INORGANIC MOLYBDATES TO PVC PLASTIC AND THE RESEARCH OF THEIR ANSMOKE CHARACTERISTICS

Keywords: octamolybdate ammonium, production, vinyl blend, smoke suppression.

A perspective way of octamolybdate ammonium production with its quantitative output is worked out. It is discovered that octamolybdate ammonium effectively reduces the amount of escaping smoke in the process of vinyl blend burning. It is shown that the mechanism of smoke suppression by means of octamolybdate ammonium is that carbon black components oxidize with the forming of carbonyl.

Е.А. Холкина, Л.Ж. Никошвили, А.С. Морозов,
И.В. Бессонов, Э.М. Сульман, L. Kiwi-Minsker
ПРИМЕНЕНИЕ ПАЛЛАДИЙ-СОДЕРЖАЩИХ
КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИНОВ В
СЕЛЕКТИВНОМ ГИДРИРОВАНИИ 2-МЕТИЛ-3-БУТИН-2-
ОЛА

Ключевые слова: палладий, полиамины, селективное гидрирование, 2-метил-3-бутин-2-ол.

В основе ряда синтезов биологически-активных веществ и душистых соединений лежат реакции селективного каталитического гидрирования. Pd-содержащие полимерные материалы могут служить альтернативой катализаторам на основе традиционных носителей. В рамках данной работы синтезирован ряд Pd-содержащих катализаторов на основе полиамина при варьировании природы прекурсора палладия. Показано, что оптимальным прекурсором является ацетат Pd, достигается селективность 98.5% при 100% конверсии субстрата, а также высокая активность в гидрировании 2-метил-3-бутин-2-ола.

Г.А. Александров, А.Л. Яблонев
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ВОЗМОЖНОСТЬ
РАЗВИТИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ
ТОРФЯНОЙ ОТРАСЛИ

Ключевые слова: торф, сжигание, котлы, торфяная техника.

В работе представлены результаты изучения материально-технической базы торфяной отрасли. Проанализированы факторы, обеспечивающие необходимость и возможность ее развития. Приведены конкретные примеры эффективного хозяйствования в России.

А.П. Буйносов
РАСЧЕТ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА НАДРЕССОРНОЕ
СТРОЕНИЕ И КОЛЕСУЮ ПАРУ ПРИ ДВИЖЕНИИ
ЛОКОМОТИВА В КРИВОЙ

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, локомотив, наддресорное строение, колесная пара, движение, кривая, силы, расчет.

В статье приводится разработанная методика для расчета сил, действующих на наддресорное строение и отдельную колесную пару при движении локомотива в круговой кривой железнодорожного пути.

А.П. Буйносов, Д.Ю. Козаков
ОБРАБОТКА АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ МЕТОДОМ
РАНГОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕСУРС
КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, информация, априори, факторы, основные, обработка, корреляция, ранг, ресурс, метод, влияние.

В статье приводится разработанная методика для обработки статистической априорной информации методом ранговой корреляции для выявления основных факторов влияющих на долговечность колесных пар электровозов.

Т.Н. Иванова, А.М. Губанов, К.Э. Борисова, Д.Ю. Надуюлова
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗАДВИЖЕК
ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

Ключевые слова: трубопроводная арматура, давление, пропускная способность, гидравлическое сопротивление, кавитация, эрозионный износ.

В работе представлена методика расчета эксплуатационных и конструкционно-монтажных параметров задвижек трубопроводной арматуры. Выявлена зависимость максимальной пропускной способности от

Е.А. Kholkina, L.Zh. Nikoshvili, A.S. Morozov,
I.V. Bessonov, E.M. Sulman, L. Kiwi-Minsker
APPLICATION OF PALLADIUM-CONTAINING
CATALYSTS BASED ON POLYAMINES IN SELECTIVE
HYDROGENATION OF 2-METHYL-3-BUTYN-2-OL
Keywords: palladium, polyamines, selective hydrogenation, 2-methyl-3-butyn-2-ol.

A number of syntheses of biologically active substances and fragrant compounds are based on selective catalytic hydrogenation. Palladium-containing polymeric materials can serve as an alternative to catalysts based on traditional supports. In the framework of this work, the series of polyamine-based catalysts was synthesized at variation of precursor nature. Pd acetate was shown to be an optimal precursor, selectivity of 98.5% at 100% of substrate conversion was achieved as well as high activity in hydrogenation of 2-methyl-3-butyn-2-ol.

G.A. Alexandrov, A.L. Yablonev
THE MODERN STATE AND POSSIBILITY OF
DEVELOPING MATERIAL AND TECHNICAL BASE OF
THE PEAT INDUSTRY

Keywords: peat, combustion, boilers, peat equipment. This paper presents the results of the study of material and technical base of the peat industry. Analysis of factors that provide the necessity and the possibility of its development. Concrete examples of effective business in Russia are lists.

A.P. Buinosov
CALCULATION OF FORCES OPERATING ON THE
NADRESSORNY STRUCTURE AND KOLESY COUPLE
AT THE MOVEMENT OF THE LOCOMOTIVE IN THE
CURVE

Keywords: railway transport, locomotive, nadressorny structure, wheel pair, movement, curve, forces, calculation. The developed technique for calculation of forces operating on a nadressorny structure and separate wheel pair at the movement of the locomotive in a circular curve of a railway track is given in article.

A.P. Buinosov, D.Yu. Kozakov
PROCESSING OF THE PRIORI INFORMATION BY
METHOD OF RANK CORRELATION FOR DEFINITION
OF THE MAJOR FACTORS INFLUENCING THE
RESOURCE OF WHEEL PAIRS OF ELECTRIC
LOCOMOTIVES

Keywords: electric locomotive, wheel pair, information, a priori, factors, the main, processing, correlation, rank, resource, method, influence. The developed technique for processing of statistical a priori information by method of rank correlation for identification of major factors of the wheel pairs of electric locomotives influencing durability is given in article.

T.N. Ivanova, A.M. Gubanov, K.E. Borisov,
D.Y. Naduyalulova
IMPROVING THE EFFICIENCY OF USE GATE PIPELINE
VALVES

Keywords: pipe fittings, pressure, capacity, flow resistance, cavitation, erosion wear.

The paper presents a methodology for calculating the operational and design parameters and installation of pipe fittings valves. The dependence of the maximum capacity of the volume flow, the diameters of pipelines and valves. The results allowed to formulate the conditions of operation of the valve in

объемного расхода, диаметров трубопроводов и задвижки. Результаты работы позволили сформулировать условия эксплуатации задвижки в магистральных трубопроводах высокого давления, снизить кавитацию и эрозионный износ.

Д.П. Ильященко, И.Д. Садыков
СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА РДС ПРИ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ,
СВАРИВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Ключевые слова: дуговая сварка, защитные покрытия, стабильность горения, теплосодержание, сварочная ванна. В работе приведены результаты экспериментальных исследований влияния покрытий для защиты поверхности свариваемого изделия на стабильности процесса сварки и теплосодержание сварочной ванны. Установлено, что при использовании защитного покрытия при РДС увеличивается: длительность короткого замыкания (КЗ) дугового промежутка на 5-11 % и время их формирования и перехода 10-12 %.

М.В. Пономарёв, И.Н. Фролова
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ГРАНИЧНОЙ МОДЕЛИ
ИЗ ОБМЕННОГО ФАЙЛА STEP. ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ОРИЕНТАЦИИ ГРАНЕЙ

Ключевые слова: STEP файл, автоматизированный анализ геометрических данных, граничная модель, программный модуль «STEP Analyzer», ориентированное ребро, расширенная грань. В работе представлены результаты изучения возможности и разработанные механизмы автоматизированного анализа геометрических данных граничной модели из обменного файла STEP. Описан разработанный программный модуль «STEP Analyzer» и принцип действия алгоритма определения ориентации граней.

П.М. Салов, В.Н. Цай, С.С. Сайкин, Ю.И. Воронцов,
Н.В. Мулюхин
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ АБРАЗИВНОЙ
СПОСОБНОСТИ КРУГОВ ПРИ БЕЗАЛМАЗНОЙ
НЕПРЕРЫВНОЙ ПРАВКЕ

Ключевые слова: правка, шлифование, абразивная способность, точность обработки, шероховатость поверхности, производительность процесса, шлифовальный круг, безалмазная правка. Дан анализ абразивной относительной способности шлифовальных кругов при безалмазной правке. В работе приведена методика проведения экспериментов. Выявлены оптимальные области применения условий правки. Рассмотрено влияние непрерывной правки на качество обрабатываемых заготовок различными кругами

В.Д. Андреев, О.Г. Морозов, А.А. Тяжелова, В.В. Куревин
ФОТОННЫЙ ДАТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ С
АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Ключевые слова: напряженность электрического поля, волоконно-оптический датчик, амплитудно-фазовая модуляция, показатель преломления кристалла, интерферометр Маха-Цендера. В статье рассмотрены принципы построения волоконно-оптического датчика напряженности электрического поля (ВОД НЭП) на основе амплитудно-фазовой модуляции оптической несущей в безэлектродном интерферометре Маха-Цендера. В отличие от существующих разработанные ВОД НЭП являются составными и содержат в своей структуре два кристалла метаниобата лития с ортогонально повернутыми осями и размещенную между ними четверть-волновую пластину. Такая конфигурация позволяет получить на выходе датчика излучение, состоящее из двух составляющих разнесенных на

the main pipelines of high pressure, to reduce cavitation and erosive wear.

D.P. Ilyashchenko, I.D. Sadikov
STABILITY OF THE USE OF RDS PROTECTION COVER,
WELDED SURFACES

Keywords: arc welding, protective coatings, combustion stability, heat content, the weld pool. The results of experimental studies of coatings for the protection of surface effects to be welded to the stability of the welding process and the heat content of the weld pool. It was found that when using a protective coating for RDS increases: the duration of a short-circuit (SC) of the arc gap to 5-11%, and the time of their formation and transition of 10-12%.

M.V. Ponomarev, I.N. Frolova
AUTOMATED ANALYSIS OF B-REP MODEL
GEOMETRIC DATA FROM STEP EXCHANGE FILE.
ADVANCED FACES ORIENTATION

Keywords: STEP file, automated analysis of geometric data, b-rep model, software module "STEP Analyzer", oriented edge, advanced face. This paper present the study results of feasibility and developed mechanism of the automated analysis of b-rep model geometric data from STEP exchange file. It was described the developed software module "STEP Analyzer" and operating principle of determining advanced faces orientation algorithm.

P.M. Salov, V.N. Tsay, S.S. Saykin, J.I. Vorontsov,
N.V. Muliukhin
DETERMINATION OF RELATIVE ABRASIVE ABILITY
IN COMMUNITY WITHOUT DIAMOND CONTINUOUS
DRESSING

Keywords: straightening, grinding, abrasive ability, precision machining, surface roughness, process performance, grinding wheel, diamond dressing without. The analysis of the relative ability of abrasive grinding wheels with diamond without revision. The paper shows the methodology for conducting experiments. The optimal field of application related conditions. The effect of continuous changes in the quality of work pieces different circles.

V.D. Andreev, O.G. Morozov, A.A. Tyazhelova, V.V. Kurevin
PHOTONIC ELECTRIC FIELD SENSORS WITH
AMPLITUDE-PHASE MODULATION

Keywords: the electric field strength, fiber-optic sensor, amplitude and phase modulation of the refractive index of the crystal, Mach-Zehnder interferometer. The article describes the principles of construction of the optical fiber electric field sensor based on amplitude and phase modulation of the optical carrier in an electrodeless Mach-Zehnder interferometer. In contrast to existing, developed sensors are composite and include in its structure two crystal of metaniobate lithium with rotated orthogonal axes and a quarter-wave plate placed in between. This configuration enables the sensor to receive the output radiation consisting of two components separated by twice the frequency of the induced electric field with an amplitude proportional to its intensity. The coefficient of nonlinearity of the output radiation does not exceed 1% at a temperature on leaving 3-5 °C. Range

удвоенную частоту наведенного электрического поля с амплитудой пропорциональной его напряженности. Диапазон измеряемых напряженностей – $10 - 10^3$ В/м в диапазоне частот от 10^2 до 10^9 Гц.

В.Н. Абузяров, В.И. Чепасов, И.А. Щудро, В.Н. Елисеев
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БРАНДОНА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ
СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Ключевые слова: метод Брандона, матрица, композиционные материалы, статистическое моделирование, надежность, метод главных компонент.
В статье рассматриваются различные методы построения статистической модели. Особое место уделено методу Брандона. Условие преимущества метода перед другими. Алгоритм построения модели.

of measured voltage - $10 - 10^3$ V / m in the frequency range from 10^2 to 10^9 Hz.

V.N. Abuzyarov, V.I. Chepasov, I.A. Schudro, V.N. Eliseev
APPLICATION OF BRANDON FOR THE
CONSTRUCTION OF THE STATISTICAL MODEL

Keywords: Brandon method, matrix, composite materials, statistical modeling, reliability, method of principal components.
The article discusses the various methods of construction of the statistical model. Particular attention is paid to the method of Brandon. Conditions advantages of the method over the other. An algorithm for constructing models.

А.Е. Баринов

АЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЙ НА
ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛЫХ
ЯДЕР НА ГРАФАХ

Ключевые слова: нахождение соответствий, компьютерное зрение, графы.
Рассматривается разработка алгоритма нахождения соответствий на изображениях с использованием тепловых ядер на графах. На сопоставляемых изображениях выделяются особые точки и строятся графы. На основе термодинамического уравнения находятся наиболее стабильные особенности, которые участвуют в сопоставлении.

A.E. Barinov

AN ALGORITHM FOR FINDING CORRESPONDENCES
IN IMAGES USING HEAT KERNEL ON THE GRAPHS

Keywords: finding correspondences, computer vision, graphs.
This paper describes the development of algorithm for finding correspondences in images using heat kernel on the graphs. Feature points are extracted from the compared images. These points are used for constructing of the graph. The correspondences between images are obtained by the graph and the heat equation.

А.П. Буйносов

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА ДЛЯ
МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР
ЛОКОМОТИВОВ

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, локомотив, колесные пары, состояние, мониторинг, рабочее место, автоматизация.

В статье описано разработанное автоматизированное рабочее место техника по замерам для мониторинга состояния колесных пар локомотивов на основе разработанных переносных электронных приборов ИД и КИП.

A.P. Buiunosov

AUTOMATION OF THE WORKPLACE FOR
MONITORING OF THE CONDITION OF WHEEL PAIRS
OF LOCOMOTIVES

Keywords: railway transport, locomotive, wheel pairs, state, monitoring, workplace, automation.
In article the developed automated workplace of the technician on measurements for monitoring of a condition of wheel pairs of locomotives on the basis of the developed portable ID and KIP electronic instruments is described.

И.Б. Гинзбург

ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЕ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСЫ ДЛЯ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Ключевые слова: геоинформационные системы, дистанционное зондирование Земли, отказоустойчивые веб-приложения, резервирование вводимых данных.
Для защиты вводимых пользователем в веб-интерфейс данных от возможной потери при сбоях соединения с сервером, что часто случается при беспроводном соединении, предлагается использовать разработанную автором кроссплатформенную библиотеку резервирования вводимых пользователем данных. Это позволит обеспечить отказоустойчивый ввод данных в веб-приложениях вне зависимости от надежности каналов передачи данных и позволит использовать геоинформационные системы с веб-интерфейсом с мобильных устройств в местах, где раньше это было невозможно.

I.B. Ginzburg

FAULT-TOLERANT WEB INTERFACES FOR
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS USING EARTH
REMOTE SENSING DATA

Keywords: geographic information systems, Earth remote sensing, fault-tolerant web applications, offline user input backup.
To protect user input data in the web interface from a possible loss in case of a connection fault between the server and the client that often takes place on wireless connection the cross-platform library proposed and designed by the author. This library reserves all data entered by user to ensure a fail-safe input of data in web applications regardless of the reliability of data transmission channels and allows to use geographic information systems with a web interface with mobile devices in places where it was previously impossible.

А.В. Казаков, К.В. Бородулина

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ КАНАЛОВ
КАБЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ НА РАВНОМЕРНОСТЬ
НАЛОЖЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ИЗ ВЫСОКОВЯЗКИХ
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: течение полимерных материалов, высоковязкие материалы, численный анализ, каналы кабельной головки, трехмерная постановка задачи.

A.V. Kazakov, K.V. Borodulina

ASSESSING THE IMPACT OF THE GEOMETRY OF THE
CHANNELS OF CABLE DIE ON THE UNIFORMITY OF
INSULATION OVERLAY OF HIGH-POLYMER
MATERIALS

Keywords: polymer materials flow, highly viscous materials, numerical analysis, cable head channels, three-dimensional task.

В данной работе рассмотрена математическая модель процессов тепло-массообмена внутри канала кабельной головки. В процессе выполнения исследования были построены различные варианты моделей геометрии канала кабельной головки, и рассмотрено их влияние на скорость и температуру материала на выходе из канала. В результате работы была создана математическая модель, описывающая течение полимера с высокой вязкостью в канале кабельной головки.

Т.К. Ксенофонтова
МЕТОДИКА УЧЕТА ВЛИЯНИЯ РЕАКТИВНОГО ОТПОРА
ГРУНТА ПРИ РАСЧЕТЕ ПОДЗЕМНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ

Ключевые слова: подземные железобетонные трубы, реактивный отпор грунта, трещиностойкость железобетонных труб, метод конечных элементов.

Подземные железобетонные трубы считаются жесткими конструкциями, поэтому при их расчете не учитывается реактивный отпор грунта, возникающий при деформации труб, в результате чего получаются значительно завышенные внутренние усилия. В статье приведена методика, позволяющая с помощью современных программных комплексов учитывать в расчете отпор грунта, величина которого характеризуется перемещениями стенки труб с учетом образования в них трещин.

А.А. Медведев, Е.Н. Созинова
КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ

Ключевые слова: критически важные информационные системы, ключевая информация, информационная безопасность, ключевая система информационной инфраструктуры.

Автор рассматривает основные термины, необходимые для более подробного изучения проблематики обеспечения информационной безопасности критически важных информационных систем, обозначает основные признаки принадлежности объекта к критически важным и коротко описывает алгоритм обеспечения информационной безопасности.

А.А. Медведев, Е.Н. Созинова
ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ УПРАВЛЕНИЯ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ КРИТИЧЕСКИ
ВАЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: критически важные информационные системы, управление, информационная безопасность, риски, ключевая информация.

Автор рассматривает основные этапы управления информационной безопасностью критически важных информационных систем, предлагает алгоритм управления, описывает цели и задачи каждого этапа.

И.С. Надеждин, А.Г. Горюнов
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ЛУНОК НА ПОВЕРХНОСТИ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ШАРИКОВ

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, металлические шарики, очистка воды, электроэрозионные лунки.

Работа посвящена разработке математической модели формирования эрозионных лунок на поверхности металлических шариков в водном растворе под действием электрических импульсов. Результаты моделирования были сопоставлены с экспериментальными данными.

The mathematical model of heat and mass transfer processes in channel of the cable head. Research the influence of cable head geometry variants on the temperature and speed. As a result of the mathematical model was created that describes the flow of polymer with high viscosity in the channel of the cable head.

Т.К. Ksenofontova
THE METHODOLOGY OF CONSIDERING THE
INFLUENCE OF REACTIVE RESISTANCE OF THE SOIL
IN THE CALCULATION OF UNDERGROUND
CONCRETE PIPES

Keywords: underground reinforced concrete pipe reactive resistance of the soil, cracking of reinforced-concrete pipes, finite element method.

Underground reinforced concrete pipe is considered rigid structures, therefore, when calculating not taken into account the reactive resistance of the soil that occurs during deformation of the pipes, resulting in much too high internal stresses. The article describes a method that enables the use of modern software complexes to calculate in the resistance of the soil, the value of which is characterized by the displacement of the pipe wall taking into account the formation of cracks in them.

А.А. Medvedev, E.N. Sozinova
CRITICAL INFORMATION SYSTEM

Keywords: critical information systems, key information, information security, key management information infrastructure.

The author discusses the basic terms required for a more detailed study of the problems of ensuring information security of critical information systems, represents the main signs of belonging to a critically important and briefly describes the algorithm of information security

А.А. Medvedev, E.N. Sozinova
THE MAIN STAGES OF THE INFORMATION SECURITY
MANAGEMENT OF CRITICAL INFORMATION
SYSTEMS

Keywords: critical information systems, management, information security, risks key information.

The author considers the basic stages of management of information security, critical information systems, offers control algorithm, describes the goals and objectives of each stage.

I.S. Nadezhdin, A.G. Goryunov
MATHEMATICAL MODELING OF ELECTRICAL
DISCHARGE HOLES ON THE SURFACE OF METAL
BALLS

Keywords: electrical discharge machining, metal balls, water purification, electrical discharge holes.

The paper presents results of development of mathematical model formation of electrical discharge holes on the surface of the metal balls in the water under the action of electric pulses. The modelling results were compared with experimental data.

В.В. Пуртов, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев,
А.Ф. Аглиуллин, В.И. Артемьев
КАТЕТЕР ДЛЯ МАНОМЕТРИИ ВЫСОКОГО
РАЗРЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОДНОТИПНЫХ
ВОЛОКОННЫХ РЕШЕТОК БРЭГГА

Ключевые слова: манометрия высокого разрешения,
катетер, волоконная брэгговская решетка,
последовательность однотипных волоконных брэгговских
решеток, метод вариации разностной частоты.

В статье рассмотрены принципы построения катетеров для манометрии высокого разрешения желудочно-кишечного тракта на основе волоконных брэгговских решеток (ВБР). В отличие от существующих волоконно-оптических датчиков (ВОД) для катетеров рассмотрены датчики на основе однотипных ВБР. Для анализа места приложения давления предложено использовать метод вариации разностной частоты при зондировании последовательности ВБР двухчастотным узкополосным излучением. Величина давления может быть определена по амплитудным или фазовым параметрам последнего на выходе ВБР, к которой оно приложено. Разработанные подходы позволяют как улучшить характеристики измерительного преобразования, так и снизить в 3-5 раз стоимость информационной системы получения информации с ВОД.

И.А. Стотланд, Н.А. Стариковская, М.А. Кириченко
МЕТОДЫ АВТОНОМНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ
КОНТРОЛЛЕРОВ СВЯЗИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ
СИСТЕМ

Ключевые слова: контроллер связи, микропроцессорная
система, тестовая система, UVM, автономная
верификация.

В работе представлены методы автономной верификации контроллеров связи, позволяющие комплексно проверять контроллеры, не разрабатывая при этом дополнительных тестовых систем и эталонных моделей. Рассмотрены основные особенности и типовая структура контроллеров связи, выделены уровни их реализации. Рассмотрена архитектура тестовой системы, основанная на универсальной методологии верификации UVM.

Е.В. Субботин, А.Г. Щербинин, Ю.М. Хасянова
ПОДБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ШНЕКА
ЭКСТРУДЕРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ НАГРЕВОСТОЙКИХ
ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Ключевые слова: нагревостойкие полимерные композиции,
экструзия, геометрия шнека, численное исследование.

В работе проведены численные исследования по оценке влияния геометрии шнека на характеристики пластицирующего экструдера. Построены зависимости производительности экструдера, длины зоны плавления и времени пребывания полимера от частоты вращения шнека для двух видов нагревостойких полимерных композиций.

А.С. Титовцев
МОДЕЛЬ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПОЛНЫМ
НАБОРОМ НАКОПИТЕЛЕЙ

Ключевые слова: очередь, качество обслуживания, система
массового обслуживания, M/M/m/K, обслуживающее
устройство.

Представлена математическая модель открытой многоканальной системы массового обслуживания, имеющей m обслуживающих устройств одинаковой производительности с экспоненциально распределенным временем обслуживания. Входной поток, носящий пуассоновский характер, включает заявки разных типов, поступающих из произвольного количества источников h и имеющих различные ограничения по длине очереди, при этом интервалы между соседними ограничениями везде равны единице. Получены общие формулы для вероятностных

V.V. Purtov, O.G. Morozov, I.I. Nureev, A.F. Agliullin,
V.I. Artem'ev

CATHETERS FOR HIGH RESOLUTION MANOMETRY
BASED ON SIMILAR FIBER BRAGG GRATINGS

Keywords: high-resolution manometry, catheter, fiber Bragg
grating, sequence of the similar fiber Bragg gratings, method
of the difference frequency variation.

The article describes the principles of catheters design for high-resolution manometry of the gastrointestinal tract based on fiber Bragg gratings (FBG). Unlike current fiber optic sensors (FOS) for, catheters on the basis of similar sensors FBG are considered. In order to analyze place of pressure application it is proposed to use the method of difference-frequency variations in dual-frequency narrow-band radiation probing sequence of FBG. The pressure can be determined by the amplitude and phase parameters of the output FBG radiation, to which it is applied. The developed approaches allow both to improve the performance measurement conversion and reduce 3-5 times the cost of FOS information system.

I.A. Stotland, N.A. Starikovskaya, M.A. Kirichenko
THE APPROACHES TO STANDALONE VERIFICATION
OF MICROPROCESSOR SYSTEM COMMUNICATION
CONTROLLERS

Keywords: communication controllers, microprocessor system,
test system, UVM, standalone verification.

In this paper novel approaches to standalone verification of communication controllers are proposed. They do not require developing several test systems and reference models and use two instance of a communication controller as a device under verification. The structure most of communication controllers is described. Main three layers of communication controllers and methods of its verification are marked out. The architecture of a test system for complex standalone verification of communication controllers is proposed.

E.V. Subbotin, A.G. Shcherbinin, Y.M. Hasyanova
SELECTION OF RATIONAL GEOMETRY EXTRUDER
SCREW FOR PROCESSING OF HEAT RESISTANCE
POLYMER COMPOSITIONS

Keywords: heat resistance polymer compositions, extrusion,
screw geometry, numerical study.

In this work numerical studies to assess effect of geometry screw on the plasticizing extruder characteristics was carried out. Dependences of performance extruder, melting zone length and residence time of polymer from screw rotational speed for two types of heat resistance polymer compositions was constructed.

A.S. Titovtsev
MODEL OF QUEUEING SYSTEM WITH FULL SET OF
MEMORIES

Keywords: queue, quality of service (QoS), queueing system
(QS), M/M/m/K, service facility.

The paper presents a mathematical model of an open multi-channel queueing system having m service facilities of identical efficiency with exponentially distributed service time. The input stream of Poisson character includes demands of different types arriving from an arbitrary quantity of sources h and having various size-limited queues, at the same time intervals between the nearest-neighbor limits are equal to the unit everywhere. General mathematical formulae for probabilistic characteristics, as well as for the first and second moments of numerical characteristics specifying the quality of service in a steady-state mode of work have been obtained.

характеристик, а также первых и вторых моментов числовых характеристик, характеризующих качество обслуживания системы в стационарном режиме работы.

Н.М. Труфанова, В.А. Будаян
ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА
ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА И ДЛИТЕЛЬНО
ДОПУСТИМЫХ ТОКОВ ПРИ ПРОКЛАДКЕ КАБЕЛЯ
ЧЕРЕЗ СТЕНУ

Ключевые слова: прокладка силовых кабелей, тепломассоперенос, максимальная температура силового кабеля, температурное поле.

Данная работа посвящена решению задачи сложного тепломассопереноса при прокладке кабелей различных сечений и конструкций через стену. Поставленная задача решалась численно в условиях естественной конвекции методом конечных элементов в инженерном программном пакете ANSYS Fluent. В результате численного решения получены мощности тепловых потерь в металлических элементах конструкции силового кабеля, поля температур в месте прокладки кабеля для различных по сечению и конструкции кабелей.

Н.М. Труфанова, Н.А. Костарев
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА НЕФТИ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ
СКВАЖИНЕ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ГРЕЮЩЕГО КАБЕЛЯ

Ключевые слова: парафины, ANSYS Fluent, тепломассоперенос, нефтяная скважина, греющий кабель. В данной работе была разработана математическая модель процессов тепломассопереноса нефти в вертикальной скважине, реализация которой позволит определять области возможного выпадения парафина и условия предотвращения этого явления. Было исследовано влияние греющего кабеля, дебита и температуры забоя на длину участка возможного выпадения парафина.

Н.М. Труфанова, И.И. Хейфец
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ
ПОПЕРЕЧНЫХ СВЯЗЕЙ РАДИАЦИОННО-СШИТОГО
ФТОРОПЛАСТА

Ключевые слова: фторопласт, поперечная сшивка, степень сшивки, прочность, разрывная деформация.

Работа посвящена экспериментальному исследованию механических характеристик радиационно сшитого фторопласта. Были проведены экспериментальные исследования прочности и разрывной деформации различных фторопластов, на основании которых были оценены их степени сшивки.

А.С. Филичев, З.Я. Якупов
О ГРУППОВОМ ПОДХОДЕ К ДОКАЗАТЕЛЬСТВУ
ГИПОТЕЗЫ АДАМАРА

Ключевые слова: матрицы Адамара, гипотеза Адамара, теория кодирования, помехоустойчивые коды.

Гипотеза Адамара о существовании матриц Адамара порядка $4n$ для любого положительного целого n остаётся недоказанной уже более ста лет с того самого момента, как её сформулировал французский математик Жак Адамар в 1893 году. В работе предпринята попытка подхода к решению этой проблемы путём применения теории групп.

А.Г. Шумихин, П.Ю. Сокольчик, С.И. Сташков
ИНТЕГРИРОВАННАЯ АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ И
ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ В ПРОИЗВОДСТВЕ СМЕСЕВЫХ
КОМПОЗИЦИЙ

Ключевые слова: гетерогенные смеси, управление качеством, оперативный контроль, смешение, дозирование.

N.M. Trufanova, V.A. Budayan
THE NUMERICAL ANALYSIS OF PROCESS OF THE
HEATMASS TRANSFER AND CURRENT CAPACITY FOR
THE CABLE LAID THROUGH A WALL

Keywords: laying of power cables, heat and mass transfer, the maximum temperature of the power cable, temperature field. This work is devoted to solving the problem together convective complex heat and mass transfer at ways of laying with various power cables. The problem is solved numerically under conditions of natural convection of the finite element method in engineering software package ANSYS Fluent. As a result, the numerical solution of obtained power of heat loss in metal structural elements of the power cable, temperature fields at ways of laying of various power cables.

N.M. Trufanova, N.A. Kostarev
PROCESS OF OIL HEAT AND MASS TRANSFER IN
VERTICAL WELL WITH INFLUENCE OF THE HEATING
CABLE

Keywords: araffins, ANSYS Fluent, heat and mass transfer, an oil well, the heating cable. In this paper the problem of formation of asphalt-resin-paraffin deposits that follows the exploitation of oil well is risen. A mathematical model of heat and mass transfer has been developed in order to determine both areas, eligible to loss of paraffin and the ways of preventing such phenomenon. Dependence of the length of area, eligible to loss of paraffin from mass flow rate and temperature on the bottom was researched as well.

N.M. Trufanova, I.I. Kheyfetz
METHODS OF DETERMINING THE DENSITY OF CROSS-
LINKING RADIATION-CROSS-LINKED PTFE

Keywords: PTFE, cross-linking, the degree of crosslinking, strength, tensile strain. Mechanical properties of cross-linked PTFE. Experimental research of strength and deformation degree of crosslinking.

A.S. Filichev, Z.Ya. Yakupov
ABOUT GROUP APPROACH TO PROOF THE
HADAMARD CONJECTURE

Keywords: Hadamard matrices, Hadamard's conjecture, coding theory, error-correcting codes. The conjecture about existing of Hadamard matrices for order $4n$, where n – any positive integer, don't proved for more than one hundred years, since 1893, when French mathematician Jacques Hadamard was formulated it first time. In the paper was undertaken an attempt to solving this problem using the group theory.

A.G. Shumikhin, P.Yu. Sokol'chik, S.I. Stashkov
INTEGRATED ALGORITHMIC AND INSTRUMENTAL
SUPPORT OF QUALITY MANAGEMENT IN MIXED
COMPOSITIONS PRODUCTION

Keywords: heterogeneous composition, quality management, operation monitoring, mixing, dosing. The authors of this article study questions, which associated

В статье приведен обзор результатов решения авторами ряда задач интегрированной алгоритмической и инструментальной поддержки контроля и управления качеством, связанных с производством многокомпонентных смесей.

А.Г. Щербинин, А.С. Мансуров, А.А. Порошин
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ

Ключевые слова: исследование, эффективность экранирования, цилиндрических экранов, математическое моделирование, ANSYS.

С помощью математического моделирования проведены численные исследования эффективности работы медного цилиндрического экрана в диапазоне частот от 10 кГц до 10 МГц. Получены поля напряженности магнитного поля в исследуемой области с экраном и без него, по которым определено затухание экранирования. Проведена проверка адекватности работы математической модели электромагнитного экрана.

А.Г. Щербинин, С.В. Стариков
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ ПРОКЛАДКИ
КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НА ИХ ПРОПУСКНУЮ
СПОСОБНОСТЬ

Ключевые слова: номинальная пропускная способность кабелей, способы прокладки кабелей, повреждение изоляции, математическое моделирование, ANSYS.

Проведено численное исследование влияния пропускной способности кабельных линий от способов прокладки. При построении математической модели теплообмена кабелей учитывались излучение и естественная конвекцию воздуха, которая рассматривалась в приближении Буссинеска. Поставленная задача решалась методом конечных элементов с помощью программного комплекса ANSYS. Отмечено, что пропускная способность кабельных линий во много зависит от способов прокладки кабелей.

with multi-component mixtures production. In the article review of results of solving a number of tasks of integrated algorithmic and instrumental support of quality management is provided.

A.G. Shcherbinin, A.S. Mansurov, A.A. Poroshin
MATHEMATICAL MODELING OF ELECTROMAGNETIC
PROCESSES OF CYLINDRICAL SHIELDS

Keywords: research, shielding efficiency, cylindrical shields, mathematical modeling, ANSYS.

Through mathematical modeling, numerical studies were conducted to determine the effectiveness of the copper cylindrical shield in the frequency range from 10 kHz to 10 MHz. The fields of the magnetic field strength in the test area with the shield without it, which is defined attenuation of shielding. Check of adequacy of operation mathematical model of the electromagnetic shield.

A. Shcherbinin, S. Starikov
RESEARCH OF INFLUENCE OF WAYS LAYING OF
CABLE LINES ON THEIR CAPACITY

Keywords: nominal current load of cables, cable routing, mathematical modeling, ANSYS.

A numerical study of the influence of the bandwidth of cable lines on the cable installation. When constructing a mathematical model of heat transfer cable into account radiation and natural convection of air, which was seen in the Bussinesk approximation. The resulting system of differential equations describing the heat and mass transfer processes, supplemented by appropriate boundary conditions. The problem is solved by finite element method using ANSYS software. It is noted that cable lines bandwidth in many ways depends on the cabling.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№4 2016

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

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

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

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 18.08.2016 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

7,95 усл.печ.л. 9,1 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 2041.

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»