НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

Сборник научных статей

№1 2012

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Казань

2012

УДК 60

ББК 30-1
Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №1 2012г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – 249 с.

ISSN 2079-5920

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

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

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

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

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

И.Н. Дияров – д.т.н., проф.; *Б.Н. Иванов* – д.т.н., проф.; *В.С. Минкин* – д.х.н., проф.; *В.К. Половняк* – д.х.н., проф.; *Х.Э. Харлампиди* – д.х.н., проф.; *Р.Х. Шагимуллин* – к.т.н., проф.

В сборнике научных трудов отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

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

УДК 60
ББК 30-1

ISSN 2079-5920 **© Научно-технический вестник Поволжья, 2012 г.**

СОДЕРЖАНИЕ

Б.Н. Иванов д.т.н., Р.Н. Костромин к.т.н., В.С. Минкин д.х.н. ГЕРМЕТИКИ ДЛЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ НА БАЗЕ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ 9
В.К. Половняк д.х.н., В.А. Сарбулак-Протасов, Д.Ф. Хайбрахманова к.пед.н. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ КАЗАНИ И ОКРЕСТНОСТЕЙ 15

СЕКЦИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Е.Н. Бурлуцкая, П.А. Данилов, Т.С. Демьянова, В.Н. Храмов к.ф.-м.н. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА МИКРОПОВРЕЖДЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТВЕРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ 21
О.Л. Головков к.ф.-м.н., Г.А. Купцова, В.А. Степанов д.ф.-м.н. ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ В КРИСТАЛЛЕ ND:YAG-ЛАЗЕРА ПРИ НАКАЧКЕ ЛАЗЕРНЫМИ ДИОДАМИ 26
Р.Х. Закиров, Ю.Г. Коноплев д.ф.-м.н., В.И. Митряйкин д.т.н., О.А. Саченков МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОМЕХАНИКИ СУСТАВА 31
Г.О. Мареев, А.В. Скрипаль, Д.А. Усанов ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОДИННОГО ЭФФЕКТА В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРАХ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НАНОСМЕЩЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ 38
Ф.Р. Шакирзянов СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ МЕТОДИК РАСЧЕТА СИСТЕМЫ “ТОНКОСТЕННАЯ КОНСТРУКЦИЯ-ГРУНТ” С УЧЕТОМ ВЫЕМКИ ГРУНТА И ПОЛЗУЧЕСТИ 44

СЕКЦИЯ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Н.А. Гавриленко к.х.н., Н.В. Саранчина к.х.н. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАЛЛАДИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИТИЗОНА, ИММОБИЛИЗОВАННОГО В ПОЛИМЕТАКРИЛАТНУЮ МАТРИЦУ 48
И.В. Голиков, Д.И. Донская д.х.н., А.А. Ильин к.х.н., Е.А. Индейкин д.х.н., В.Г. Курбатов МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЭПОКСИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛА 53
С.В. Дворяк, Г.В. Маврин к.х.н., И.А. Насыров, Д.Д. Фазуллин ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ФТОРОПЛАСТОВОГО СОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ СТОЧНЫХ ВОД РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ 59

СЕКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Л.Х. Абдулхаликова ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОПАСТИ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА 63
В.В. Андреев д.т.н., А.Л. Виноградов, М.К. Седов ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ МЕТАЛЛОВ 71
А.Н. Аношкин д.т.н., А.Д. Бабин, С.В. Лимонов ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ СОПЛА ГАЗОТУРБИННОГО АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ИЗ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КАРБИДО-КРЕМНИЕВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА 75

Б.Ф. Байрамов СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯСКОРОСТИ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА ГИДРОПРИВОДА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЁ ДИНАМИКИ 80
В.Ф. Беккер к.т.н. СТРАТЕГИЯ МНОГОУРОВНЕВОГО ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ АБСОРБЦИОННОЙ КОЛОННЫ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ 85
В.Н. Будилов к.т.н. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ СООРУЖЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ 91
Р.В. Бульбович д.т.н., Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, В.Я. Модорский д.т.н., П.В. Писарев ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АКТИВНОЙ ЗАГЛУШКИ РЕЗОНАТОРА 95
Т.В. Бурнышева к.т.н., Ю.А. Кравцова РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕК ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ 101
П.А. Бурцев, М.В. Грушичева, В.В. Слепцов, д.т.н. ОТРАБОТКА СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ 106
Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, В.Я. Модорский д.т.н., В.Ю. Петров д.т.н., П.В. Писарев РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗОНАНСНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ 111
Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, В.Я. Модорский д.т.н., П.В. Писарев, Ю.В. Соколкин д.ф.-м.н. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КРУПНОГАБАРИТНОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА 116
В.М. Бушуев, Я.В. Лямин к.т.н., И.Л. Синани д.т.н. КИНЕТИКА ОБЪЕМНОГО НАСЫЩЕНИЯ ПИРОУГЛЕРОДОМ ПОРИСТОЙ УГЛЕРОДНОЙ СРЕДЫ 121
В.М. Бушуев, Р.К. Мусин д.т.н., И.Л. Синани д.т.н. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПИРОУПЛОТНЕНИЯ ТКНЕПРОШИВНЫХ УГЛЕРОДНЫХ КАРКАСОВ В ТЕРМОГРАДИЕНТНОМ РЕЖИМЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ 125
Р.И. Валиев, В.И. Ильин к.т.н., Б.Ю. Шакиров, Ю.И. Шакиров к.т.н. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ С ЖИДКИМ ЭЛЕКТРОДОМ 131
В.П. Валуйских д.т.н., Ф.Н. Захаров КОНСТРУКТИВНЫЙ РЯД ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ 139
Д.Б. Вафин д.т.н., А.В. Садыков к.т.н, Д.А. Садыкова ТРЕХМЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ АЭРОДИНАМИКИ И ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ 144
Н.Н. Волкова, В.А. Куничан к.т.н., А.И. Легаев к.т.н., Д.В. Чащилов к.т.н. ДЕСТРУКЦИЯ ХЛОПКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ПРОЦЕССЕ ГИПОХЛОРИТНОЙ ОТБЕЛКИ 150
Е.В. Десяев, Т.Ф. Мамедова к.ф.-м.н. О ПОСТРОЕНИИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ 154
А.М. Долганов к.т.н., Т.Н. Иванова к.т.н., А.А. Паклина, Э.И. Рахмангулова ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБЛАСТИ КЛИНА ПРИ ШЛИФОВАНИИ ПЛАСТИН ПО КРОМКЕ 157
А.В. Жданов к.т.н., М.Г. Маликов МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ 161
А.В. Жданов к.т.н., М.Г. Маликов МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРСПЕКТИВНОГО ЭМП СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ 166
А.В. Жданов к.т.н., Д.В. Штых ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ ПРИВОДОВ ЛИНЕЙНЫХ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ 170

С.М. Зраенко к.т.н. ОЦЕНКА ДОПЛЕРОВСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРАЕКТОРНОГО СИГНАЛА В РАДИОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ 174
С.В. Истомин д.т.н., В.Н. Турченко к.т.н. К ВОПРОСУ О КАДРОВОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ОХРАНЫ ТРУДА В ОРГАНИЗАЦИЯХ 179
Д.В. Кубасов, С.П. Санников к.т.н. ФРАГМЕНТИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ОСНОВАНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ 183
С.В. Лановецкий к.т.н., С.В. Островский д.т.н., П.В. Серый КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТАДИИ РОСТА КРИСТАЛЛА КАРБАМИДА ПРИ ПОСТОЯННОМ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИИ 186
М.А. Леонова РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕННОГО СЫВОРОТОЧНОГО КИСЛОМОЛОЧНОГО НАПИТКА С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ 191
А.А. Ляпина, Т.Ф. Мамедова к.ф.-м.н. ОБ ИССЛЕДОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЛЬТЕРРОВСКОГО ТИПА 195
В.Г. Манжула к.т.н. СНИЖЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ В ИМПУЛЬСНЫХ КОМПЕНСАЦИОННО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СТАБИЛИЗАТОРАХ НАПРЯЖЕНИЯ 199
С.Г. Мосин к.т.н., Хассан Мд. Муид ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ПО ТЕХНОЛОГИИ СЕТЬ-НА-КРИСТАЛЛЕ (NOC) 203
Е.С. Охотникова МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С АДАПТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ 208
С.Н. Скобелева к.т.н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕТЕРОДИННОГО СПОСОБА ПРИЁМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В РАДИОСИСТЕМАХ БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ 212
А.А. Султанбеков УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОДНОГО КЛАССА СУЩЕСТВЕННО НЕЛИНЕЙНЫХ РАЗНОСТНЫХ СИСТЕМ 216
Д.Д. Шабалов ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОБИВА НЕТКАНОГО ПОЛОТНА НА ЕГО СВОЙСТВА 223

АННОТАЦИИ 228

THE RELEASE MAINTENANCE

B.N. Ivanov, R.N. Kostromin, V.S. Minkin SEALANTS FOR THE OIL INDUSTRY BASED ON POLYSULFIDE OLIGOMERS 9
V.K. Polovnyak, V.A. Sarbulak-Protasov, D.F. Haybrahmanova ENVIRONMENTAL ISSUES OF DRINKING WATER AND ENVIRONS OF KAZAN 15

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

E.N. Burlutskaya, P.A. Danilov, T.S. Dem'yanova, V.N. Khramov THE ANALYSIS OF THE MICRODAMAGES CHARACTER ON SURFACES OF HARD TOOTH TISSUES AT THE ACTION BY LASER PULSES WITH VARIOUS DURATIONS 21
O.L. Golovkov, G.A. Kupcova, V.A. Stepanov BIREFRINGENT IN CRYSTAL OF ND:YAG-LASER WITH DIODE LASER PUMPING 26
R.H. Zakirov, Y.G. Konoplev, V.I. Mitryaikin, O.A. Sachenkov SIMULATION OF HIP JOINT BIOMECHANICS 31
G.O. Mareev, A.V. Skripal, D.A. Usanov USAGE OF THE LASER AUTODYNE EFFECT FOR ASESSMENT NANOVIBRATION DISPLACEMENTS OF BIOLOGICAL OBJECTS 38
F.R. Shakirzyanov COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCULATING METHODS THE SYSTEM "THIN-WALLED STRUCTURE-SOIL" WITH EXCAVATION, CREEP AND DEGRADATION 44

CHEMICAL SCIENSEC

N.A. Gavrilenko, N.V. Saranchina DETERMINATION OF PALLADIUM USING DITHIZONE IMMOBILIZED IN A POLYMETHACRYLATE MATRIX 48
I.V. Golikov, D.I. Donskaya, A.A. Iliyn, E.A. Indeikina, V.G. Kurbatov THE MODIFIED EPOXY COATING FOR CORROSION PROTECTION OF METAL 53
S.V. Dvoryak, G.V. Mavrin, I.A. Nasyrov, D.D. Fazullin FILTRATION PROPERTIES OF THE POLYTETRAFLUOROETHYLENE (PTFE) SORBENT FOR WASTEWATER TREATMENT BY DIFFERENT LEVELS OF POLLUTION BY PETROLEUM PRODUCTS 59

ENGINEERING SCIENCE

L.H. Abdulhalikova THE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF TECHNOLOGICAL FACTORS AND THERMOTENSIONS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE BLADES MADE OF FIBERGLASS 63
V.V. Andreev, A.L. Vinogradov, M.K. Sedov THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK PARAMETERS OPTIMIZATION TO METAL FATIGUE INDICATORS PREDICTING 71
A.N. Anoshkin, A.D. Babin, S.V. Limonov RESEARCH HEAT STATE OF GAS TURBINE ENGINE NOZZLE MADE OF CARBON-CARBON SIC COMPOSITE MATERIAL 75
B.F. Bairamov AUTOMATIC SPEED REGULATION SYSTEM OF HYDRAULIC DRIVE'S OUTLET UNIT AND ITS DYNAMICS INVESTIGATION 80
V.F. Bekker STRATEGY OF MULTILEVEL PHYSICAL MODELING OF INDUSTRIAL ABSORPTION COLUMN WITH MOVABLE NOZZLE 85
V.N. Budilov THE METHOD OF MEASURING OSCILLATION FREQUENCY OF STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS WITH A DIGITAL CAMERA 91
R.V. Bulbovich, L.N. Budimova, D.V. Zimin, V.Ya Modorsky, P.V. Pisarev NUMERICAL MODELLING OF THE IS INTENSE-DEFORMED CONDITION OF THE ACTIVE CAP OF THE RESONATOR 95

T.V. Burnysheva, J.A. Kravcova SOLUTION TO THE PROBLEM OF STABILITY OF LATTICED HULL FROM COMPOSITE MATERIALS AT STATIC LOADING 101
P.A. Burtsev, M.V. Grushicheva, V.V. Slepcov WORKING OUT CIRCUIT SOLUTIONS OF DIGITAL INTERFACES FOR LOWERING ELECTROMAGNETIC NOISES 106
L.N. Butimova, D.V. Zimin, V.Ya. Modorsky, B.U. Petrov, P.V. Pisarev РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗОНАНСНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ 111
L.N. Butimova, D.V. Zimin, V.Ya. Modorsky, P.V. Pisarev, U.V. Sokolkin NUMERICAL MODELLING OF THE DEFORMED CONDITION OF THE LARGE-SIZED DESIGN FROM THE COMPOSITE MATERIAL 116
V.M. Bushuev, Ya.V. Lyamin, I.L. Sinani KINETICS VOLUME SATURATION OF PYROCARBON OF THE POROUS CARBON MEDIUM 121
V.M. Bushuev, R.K. Musin, I.L. Sinani THE REGULARITIES OF PYROCOMPACTION TISSUE-SEWED CARBON FRAMEWORK IN THE GRADIENT OF TEMPERATURE MODE FOR PRODUCTION HERMETIC CONSTRUCTION 125
R.I. Valiev, V.I. Ilyin, B.Y. Shakirov, Y.I. Shakirov THE CONTROL SYSTEM FOR SURFACE TREATMENT PROCESS BY PLASMA THERMO-ELECTRICAL INSTALLATIONS WITH LIQUID ELECTRODE 131
V.P. Valuiskikh, F.N. Zakharov A NUMBER OF CONSTRUCTIVE CULVERTS FOR THE HIGHWAYS 139
N.N. Volkova, V.A. Kunichan, A.I. Legaev, D.V. Chaschilov DESTRUCTION OF A COTTON CELLULOSE IN THE COURSE OF HYPOCHLORITE BLEACHING 144
D.B. Vafin, A.V. Sadykov, D.A. Sadykova THREE-DIMENSIONAL CALCULATIONS OF AERODYNAMICS AND THERMAL CHARACTERISTICS OF CYLINDRICAL TUBULAR FURNACES 150
E.V. Desyaev, T.F. Mamedov CONSTRUCTION OF CONTROL FOR LINEAR DYNAMIC SYSTEMS 154
A.M. Dolganov, T.N. Ivanova, A.A. Paklina, E.I. Rakhmangulova ANALYSIS OF THERMAL PROCESSES IN WEDGE AREA DURING EDGE GRINDING OF PLATES 157
A.V. Zhdanov, M.G. Malikov MODELLING OF WORK turnout OF TRANSFER OF HIGH-SPEED TRUNK-RAILWAYS 161
A.V. Zhdanov, M.G. Malikov MATHEMATICAL MODEL OF LONG-TERM ELECTROMECHANICAL DRIVE TURNOUT OF HIGH-SPEED RAIL LINES 166
A.V. Zhdanov, D.V. Shtyh INDICATORS OF QUALITY STUDY OF LINEAR MOTION DRIVES MICROMOVINGS 170
S.M. Zraenko EVALUATION OF DOPPLER PARAMETERS SIGNAL IN SAR 174
S.V. Istomin, V.N. Turchenko TO THE QUESTION ABOUT THE SKILLED PROVIDING OF LABOUR PROTECTION IN ORGANIZATIONS 179
D.V. Kubasov, S.P. Sannikov FRAGMENTATION THE CONCRETE BASES FOR INCREASE OF DURABILITY THE ASPHALT CONCRETECOVERINGS 183
S.V. Lanovetskiy, S.V. Ostrovskiy, P.V. Seryiy STUDY OF KINETIC EFFECTS CRYSTAL GROWTH RATE OF CARBAMIDE AT PERMANENT OVERCOOLING 186
M.A. Leonova DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF ENRICHED FERMENTED WHEY DRINK WITH FUNCTIONAL PROPERTIES 191
A.A. Lyapina, T.F. Mamedova ABOUT THE SURVEY OF STABILITY SOLUTIONS OF DIFFERENTIAL EQUATATION OF VOLTERRA TYPE 195
V.G. Manzhula REDUCTION OF PARAMETRIC REDUNDANCY IN COMPENSATORY AND PULSED PARAMETRIC VOLTAGE REGULATOR 199
S.G. Mosin, Md Muid Hassan THE CAD SUBSYSTEM FOR ELECTRONICS DEVICES BASED ON NETWORK-ON-CHIP TECHNOLOGY (NOC) 203

E.S.Okhotnikova A MATHEMATICAL MODELLING OF THE USER INTERACTION WITH ADAPTIVE INFORMATION SYSTEM 208
S.N. Skobeleva THE USE OF HETERODYNE METHOD OF RECEPTION AND PROCESSING OF SIGNALS IN RADIO-ELECTRONIC SYSTEMS OF A SHORT RANGE 212
A.A. Sultanbekov STABILITY CONDITIONS OF A CLASS OF ESSENTIALLY NONLINEAR DIFFERENCE SYSTEMS 216
D.D. Shabalov INFLUENCE OF INTENSITY PUNCH OF THE NONWOVEN CLOTH ON IT IS PROPERTIES 223

ABSTRACTS 228

02.13.00

Б. Н. Иванов[1] д.т.н., Р. Н. Костромин[2] к.т.н., В. С. Минкин[3] д.х.н.

[1]Казанский национальный исследовательский технологический университет
кафедра общей химической технологии
Россия, г. Казань
ivanovbn@rambler.ru

[2]Казанский национальный исследовательский технологический университет
кафедра химической технологии переработки нефти и газа
Россия, г. Казань
kostromin-rn@rambler.ru

[3]Казанский национальный исследовательский технологический университет
кафедра физики
Россия, г. Казань
yerus@yandex.ru

ГЕРМЕТИКИ ДЛЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ НА БАЗЕ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

Разработаны новые рецептуры составов герметиков на основе жидких тиоколов с добавлением серосодержащих битуминозных песчаников. Получены герметизирующие композиции с заданной жизнеспособностью, высокой адгезией и стабильными физико-механическими свойствами. Данные герметизирующие композиции прошли пробные испытания и рекомендованы для промышленного применения.

Ключевые слова: герметизирующие композиции, полисульфидные олигомеры, битуминозный песчаник, адгезия, жизнеспособность, рецептурный состав.

Герметизирующие композиции на основе полисульфидных олигомеров (ПСО) или жидких тиоколов находят широкое применение в различных областях строительства, авиационной, машиностроительной, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, судостроении, радиотехнике для герметизации несущих элементов и узлов, стеклопакетов, вводов, паек и т.д. [1, 2]. Причем многие из известных герметизирующих композиций работают как в воздушной среде, так и в среде топлив и масел.

Герметизирующие композиции данного класса являются многокомпонентными системами, чьи физико-механические показатели предопределяются, прежде всего, функциональным назначением. Значительная часть из них характеризуются нестабильностью в адгезии, механической прочности, повышенной и меняющейся со временем вязкостью, трудностью при нанесении на субстрат или подложку. Для удовлетворения потребности практики герметизирующая композиция должна обладать высокой стабильностью, адгезией, а также необходимой для проведения технологических операций по ее нанесению жизнеспособностью. Поэтому при разработке рецептур композиций ставилась задача достижения высокой адгезии последних при сохранении стабильности их физико-механических свойств и получение жизнеспособности не менее двух и не более трех с половиной часов.

Специфика строения макромолекулы ПСО состоит в том, что в них содержится большое число дисульфидных связей и концевых меркаптановых групп. Это и обеспечивает

ПСО возможность широкого применения. В то же время для усиления того или иного конкретного действия герметиков, целесообразно корректировать состав герметизирующих систем. В частности, большой практический интерес представляют новые герметизирующие композиции с добавкой серосодержащих битуминозных песчаников [3].

В настоящей работе проведено исследование использования промышленных жидких тиоколов, (характеристики которых представлены в таблице 1), и битуминозных песчаников Татарстана (см. таблицу 2). Характеристики промышленных образцов диоксидов марганца, использованных при отверждении герметиков, приведены в таблице 3.

Таблица 1 – Характеристики используемых промышленных ПСО

Наименование показателя	Образцы ПСО				ГОСТ 12812-80		
	НВБ-II	НВБ-II	ПСО I марки	ПСО II марки	НВБ-II	ПСО I марки	ПСО II марки
1	2	3	4	5	6	7	8
Молекулярная масса, Mn	2200	2600	2700	2200	2300	2780	2300
Содержание SH-групп, %	3,03	2,48	2,33	3,37	3,0-4,0	2,3-3,3	3,3-3,32
Массовая доля общей серы, %, не более	39,6	38,7	38,7	38,1	40,0	40,0	40,0
Функциональность, fn	1,7	2,0	1,8	1,8	-	-	-
Вязкость при 25°С, Па·с	6,7	8,8	17,3	8,82	7,5-11,0	15,0-30,0	7,5-11,0
η_D^{20}	1,5762	1,5777	1,5777	1,5745	1,5748	1,5759	1,5775
Содержание воды, не более, мас.%	0,18	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Содержание железа, не более, мас.%	0,015	0,018	0,012	0,012	0,015	0,015	0,015
Массовая доля примесей не растворимых в бензоле	0,6	0,6	0,6	06	0,6	0,6	0,6

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	2	3	4	5	6	7
1	Ашальчинский песчаник (АП)	0,4-0,7	0,70	12,5	95	90
2	Сугушлинский песчаник (СП)	0,3-0,5	0,45	8,6	96	92
3	Шугуровский песчаник (ШП)	0,4-0,6	0,30	5,6	98	95
4	Горский песчаник (ГП)	0,4-0,6	0,47	9,4	90	80

Таблица 3 – Характеристики промышленных партий диоксида марганца, использованных при отверждении герметиков

№ партии	Содержание MnO_2, %	Содержание влаги, %	Содержание нерастворимых веществ, %
1	2	3	4
155 (паста)	80,0	1,50	0,20
67 (паста)	76,8	1,76	0,10
183 (паста)	82,9	0,82	0,09
256 (паста)	81,6	0,69	0,10
159 (паста)	80,6	0,58	0,06
136 (паста)	82,0	0,23	0,03
166 (паста)	80,0	0,53	0,04

Для приготовления герметизирующих композиций без содержания битуминозных песчаников использовали:

1. полисульфидный олигомер – ГОСТ 12812-80 (жидкий тиокол);
2. диоксид марганца в виде вулканизирующей пасты № 9 – ГОСТ 4470-70;
3. технический углерод П-803 – ГОСТ 7885-77;
4. дифенилгуанидин (ДФГ) – ускоритель – ГОСТ 40-67.

Комплекс физико-механических показателей вулканизатов ПСО с добавлением серосодержащих битуминозных песчаников в основном отвечал требованиям соответствующих отечественных стандартов:

1. Модуль упругости при удлинении, МПа – ГОСТ 21751-76;
2. Разрушающее напряжение при растяжении, МПа – ГОСТ 21751-76;
3. Относительное удлинение, % – ГОСТ 21751-76;
4. Сопротивление отслаиванию от дюралюминия Д-16АТ, кН/м – ГОСТ 21981-76;
5. Твердость по Шору, усл. ед. – ГОСТ 263-75;
6. Жизнеспособность при 25 0С, относительной влажности воздуха 27%, в час. – ТУ 36-105-483-72.

Технология вулканизации жидких тиоколов, содержащих определенное количество битуминозных песчаников, так же приведены в [3, 4].

Рецептуры герметизирующих композиций представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Рецепты вулканизации полисульфидных олигомеров, содержащих битуминозный песчаник, мас.ч.*

Компоненты	Номера рецептур						
	1	2	3	4	5	6	7

1	2	3	4	5	6	7	8
1. Полисульфидный олигомер (марка)	100 (НВБ-II)	100 (НВБ-II)	100 (ПСО I марки)	100 (ПСО I марки)	100 (ПСО II марки)	100 (ПСО II марки)	100 (НВБ-II)
2. Промышленная вулканизующая паста № 9 на основе MnO_2 (партия)	15 (155)	15 (67)	15 (183)	15 (256)	15 (159)	15 (136)	15 (155)
3. Ускоритель вулканизации дифенилгуанидин (ДФГ)	0,6	0,6	0,6	0.6	0.6	0,6	0,6
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.

Свойства герметиков, отвержденных диоксидом марганца в присутствии битуминозных песчаников, приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные свойства герметиков на базе ПСО, отвержденных диоксидом марганца, в присутствии битуминозных песчаников*

№№ п/п	Показатели	Герметики с БП						Промышленный вулканизат
		1	2	3	4	5	6	
1	2	4	5	6	7	8	9	10
1	Модуль при 100% удлинении, МПа	1,90 1,85 1,90	1,80 1,85 1,90	2,60 2,60 2,55	2,45 2,50 2,40	2,30 2,33 2,40	2.20 2,27 2,24	1.1
2	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	3,15 3,10 3.20	2,94 2,86 2,90	3,20 3,28 3,26	3,20 3,25 3,15	3,10 3,05 3,12	3.15 3.21 3,18	2.2
3	Относительное удлинение, %	310 300 320	300 290 300	360 350 350	310 315 300	320 325 310	340 330 345	260
4	Остаточное удлинение, %	4	4	8	4	4	8	4
5	Сопротивление отслаиванию от дюралюминия Д16-АТ, кН/м	4,78 4,73 4,75	4,50 4,52 4,47	2,60 2,64 2,68	4,80 4,76 4,75	4,70 4,66 4,74	3,40 3,46 3,48	0,80
6	Твердость по Шору, усл.ед.	62 60 62	60 60 62	60 60 61	60 60 60	62 64 62	60 62 62	50
7	Предел прочности, кН/м	2,6 2,5 2,6	2,5 2,6 2,6	2,6 2,6 2,6	2,7 2,6 2,6	2,0 2,1 2,2	1,9 1,9 2,0	2,5

8	Жизнеспособность композиций, ч	2^{50} 2^{40} 2^{40}	2^{35} 2^{40} 2^{40}	2^{50} 2^{50} 2^{40}	2^{50} 2^{40} 2^{40}	2^{40} 2^{45} 2^{30}	2^{35} 2^{30} 2^{30}	430

* - для всех образцов остаточное удлинение = 0

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что введение битуминозных песчаников приводит к повышению адгезии герметизирующих композиций, жизнеспособности в заданных пределах (от двух до трех часов) и стабилизации физико-механических свойств тиоколовых герметиков при отверждении последних.

Об эффективности введения добавок битуминозных песчаников можно судить по найденным экспериментально и теоретически значениям плотностей цепей полимерных сеток вулканизатов ПСО (см. таблицу 6) для стандартных промышленных вулканизатов и вулканизатов в присутствии битуминозных песчаников.

Таблица 6 – Рассчитанные значения плотностей цепей полимерных сеток вулканизатов ПСО (жидких тиоколов) для различных вулканизующих агентов для стандартных промышленных вулканизатов и вулканизатов в присутствии битуминозного песчаника

№№ п/п	Состав исходной смеси при синтезе ПСО, моль %	1	2
1	2	3	4
1	2,2' -дихлордиэтилформаль (основной олигомер)	99,5	98,0
2	1,2,3-трихлорпропан (ТХП) (разветвляющий агент)	0,5	2,0
Плотность цепей сетки*: (вулканизующий 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 0,29	 1,67 0,87
5	- для вулканизатов в присутствии БП: эффективных химических	 2,34 0,46	 2,86 1,38
6	Эффективные константы скорости вулканизации до точки геля, $к \cdot 10 \cdot мин^{-1}$: стандарт в присутствии БП	 1,94 2,46	 2,42 3,4

*- плотность цепей сетки определяли согласно методу Клаффа-Глединга (Claff E.F., Gladding E.K., Pariser R. A new method for measuring the degree of cross linking in elastomers.//J.Polim. Sci., I960, v.45, N 8, p.341-347)

Полученные новые герметизирующие композиции на основе жидких тиоколов с добавками серосодержащего битуминозного песчаника прошли пробные испытания и рекомендованы для промышленного применения. Их использование ведет к одновременному решению задачи по расширению сырьевой базы герметиков и их функционального назначения.

Рекомендуется следующий рецептурный состав герметиков, массовые части: полученные композиции содержат, мас. ч.: полисульфидный олигомер 100, вулканизующий

агент - диоксид марганца в виде пасты 15, ускоритель вулканизации - дифенилгуанидин – 0,15, наполнитель – 15, серосодержащий битуминозный песчаник – 5-15;

В результате этого получены герметизирующие композиции с жизнеспособностью 2-3 часа, с высокой адгезией и стабильными физико-механическими свойствами при их эксплуатации.

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 2270226 Российская Федерация, МПК51 C09K3/10. Герметизирующая композиция. *Минкин В.С., Иванов Б.Н., Васильев Н.А. , Садыков А.Р., Минкина Т.И.* заявитель и патентообладатель *Минкин В.С., Иванов Б.Н.* № 2004122704/04. заявл. 14.07.04. опубл. 20.02.06. Бюл. № 5. 5 с.;

4. *Суханов П.П., Минкин В.С.* Исследование процессов структурирования олигомерных композиций методами радиоспектроскопии. Казань. КГТУ. 2011. 223 с.

В. К. Половняк д.х.н., В. А. Сарбулак-Протасов, Д. Ф. Хайбрахманова к.пед.н.

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

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ КАЗАНИ И ОКРЕСТНОСТЕЙ

Проведен анализ жесткости воды из различных источников г. Казани и окрестностей (более 30 проб), проведен сопоставительный анализ родниковой и водопроводной воды и показано, что без дополнительной очистки водопроводную воду для питья применять не следует.

Ключевые слова: питьевая вода, жесткость, ионы тяжелых металлов.

К началу XXI века проблема чистой пресной воды становится глобальной так как запасы пресной воды на земле не столь уж и велики. Основная масса морской и океанической воды совершенно непригодна не только для питья, но и для технических целей и её запасы оцениваются в 1300 миллионов кубических километров. При этом пресные воды составляют лишь незначительную часть этого объёма. Подземные пресные воды составляют 60-100, почвенные воды – 50-90, ледники – 20-30, воды всех рек и озёр – 1-4 миллиона кубических километров [1].

В. И. Вернадский писал о воде так: «Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы сравниться с ней по влиянию на ход основных, самых грандиозных, геологических процессов. Нет земного вещества — минерала, горной породы, живого тела, которое ее бы не заключало. Все земное вещество ею проникнуто и охвачено».[2]

Одним из важнейших свойств воды является способность растворять вещества. Вода — универсальный растворитель. Благодаря этому ее состав не исчерпывается формулой H_2O. В воде содержатся практически все элементы Периодической таблицы, а также газы, основания, кислоты, соли и органические вещества. Все прочие жидкости, которые мы пьем, или употребляем с пищей, или используем в быту и технике, — все, начиная от спирта, вина, микстур и кончая электролитами, жидкими маслами и бензином, — являются водными растворами той или иной концентрации. Даже дистиллированная вода содержит примеси и её жесткость составляет 0,04-0,05 единиц.

Рис.1 Вода, которую мы пьём – глобальная проблема.

В последнее время в Интернете появилась всероссийская карта качества пресной воды, распределенной по условным категориям: «ядовитая»; «опасная»; «пригодная для питья». На карте Республики Татарстан вода считается пригодной для питья, однако, имеется значительное превышение нормативов по содержанию в воде некоторых примесей, в частности фторидов. Хорошая пресная вода содержится в родниках Камско-Устьинского района, Верхнеуслонского и Тетюшского районов.

Различные примеси в воде оказывают существенное влияние на состояние здоровья человека, так избыток фторидов ухудшает память, разрушает зубную эмаль и вызывает остеопороз. Избыток железа в питьевой воде приводит к выпадению волос, ухудшению состояния кожи, ухудшению формулы крови. Повышенная жесткость воды также характерна для РТ, так как по геологической морфологии наш регион относится к известняково-гипсовым провинциям. Гипс довольно хорошо растворим в воде (около 2 г/л), что соответствует жесткости воды порядка 23 единиц. При оптимальной жесткости питьевой воды около 3 единиц, жители Камского устья не подозревали, что пьют водопроводную воду с жесткостью 19 мг-экв/л! У человека от такой воды заиливаются суставы, накапливается «песок» в почках и мочевом пузыре. Для техники такая жесткость воды вообще смертельна и причина поломок в 90% случаев.

В таблице 1 приведены мировые стандарты, регламентирующие содержание некоторых примесей в питьевой воде в сравнении с Российскими нормативами [3].

Таблица 1.

Мировые стандарты на питьевую воду

Параметр	ПДК, мг/л			
	ЕС	США	ВОЗ	Россия
pH	6,5 – 9.5	6,5 – 8,5	6,5 – 8.5	6,0 – 9,0
Алюминий	0,2	0,2	0,2	0,5
Бор	1,0	-	0.5	0,5
Железо	0,2	0.3	0,3	0,3
Кадмий	0,005	0,005	0,003	0,001
Кальций	-	-	-	180
Магний	-	-	-	40
Марганец	0,05	0,05	0,5	0,1
Медь	2,0	1,3	2,0	1,0

Мышьяк	0,001	0,005	0,001	0,005
Нитраты	50	10	50	45
Нитриты	0,5	1,0	3,0	3,3
Ртуть	0,001	0,002	0,001	0,0005
Свинец	0,01	0,015	0,01	0,03
Селен	0,01	0,05	0,01	0,01
Серебро	-	0,1	-	0,05
Сульфаты	250	250	250	500
Фтор	1,5	4,0	1,5	0,7-1,5
Хлориды	250	250	250	350
Хром	0,05	0,1	0,05	0,05
Цинк	5	5	3	5
Бензпирен	0,00001	0,0002	0,0007	0,000005
Бензол	0,001	0,005	0,0007	0,0005
Хлорорганика	0,001	0,0005	0,004	0,001

Из таблицы 1 видно, что существует жесткая регламентация по содержанию в питьевой воде различных ионов и органических соединений и в России по ряду позиций нормативы более жесткие.

Нами проведено исследование пресной воды г.Казани и окрестностей на жесткость и содержание примесей в сопоставительном варианте – родниковой и водопроводной воды (в качестве примера).

Жесткость воды измеряли кондуктометрическим методом с помощью кондуктометра LM-301 (постоянная ячейки $Z = 0{,}95$ см$^{-1}$). В качестве стандартного раствора использовали раствор хлорида кальция, отвечающему содержанию соли в воде 1 мг-экв./л (1 единица жесткости). Стандартный раствор имел электропроводность равную 78 микросименсов (мкS) [4].

Эта величина использовалась для расчета жесткости исследованных проб воды. Воду брали из разных источников и систематизировали полученные данные в табл. 2-5.

Таблица 2.

Данные для поверхностных водоисточников

Вода	Электропроводность (Δ), мкS.	Жесткость (ед. жесткости).
1.Раифское озеро	108	1,38
2.Волга выше устья с Казанкой	460	5,89
3.Булак	990	12,69
4.Казанка до Голубого озера	975	12,5
5.Река Нокса	590	7,56
6.Волга около Верхнего Услона	400	5,12
7.Средний Кабан	920	11,79
8.Протока в поселке Борисково	970	12,43
9. Голубое озеро	1820	23,33

Таблица 3.

Данные для артезианских и родниковых водоисточников

Вода	Электропроводность (Δ).	Жесткость (ед. жесткости).
10.Вода из поселка Северный.	220	2,82
11.Поселок Бима Лаишевский район.	470	6,02
12.Колодец в поселке Борисково.	1290	16,53
13.Родник на станции Новаторов.	790	10,12
14.Скважина «Березка» станция Дербышки.	1780	22,82
15.Родник в Деревне Аки.	545	6,98
16.Родник в Верхнем Услоне.	555	7,11

Таблица 4.

Фирменные воды

Вода	Электропроводность (Δ), мкS	Жесткость (ед. жесткости).
17. Вода «Усада», по заказу	102	1,31
18. «Раифский Источник»	108	1,38
19. «Калинов родник»	570	7,31
20. «Альмира»	250	3,21
21. «Пилигрим»	155	1,99
22. «Evian»	456	5,85
23. «Aqua Minerale»	57	0,73

Таблица 5.

Водопроводная вода в различных районах г. Казани

Вода	Электропроводность (Δ), мкS	Жесткость (ед. жесткости).
24. Дистиллированная вода из металлического дистиллятора	3,8	0,048
25. Приволжский район водопровод	355	4,55
26. Улица Зорге водопровод	320	4,10
27. Сибирский тракт водопровод	795	10,19
28. Колонка на улице Ахтямова	350	4,48
29. Улица Даурская водопровод	345	4,42
30. Улица Даурская водопровод, фильтр «Brita»	235	3,01

31. Улица Ново-азинская водопровод	595	7,62
32. Водопровод Дербышки, Макдоналдс	1035	13,26

Из табл.2 видно, что по жесткости поверхностные (речные и озёрные) воды Казани и её окрестностей различаются очень значительно от очень мягкой воды около 1,5 единиц (Раифское озеро) до почти 24 единиц (озеро Голубое). Причем, жесткость воды в основном сульфатная и употребление такой воды может существенно навредить здоровью.

Для артезианских и родниковых вод та же картина разброс по жесткости от 3 единиц (посёлок Северный) до почти 23 единиц (садоводческое товарищество «Берёзка»)

В этом плане фирменные воды разительно отличаются от природных своей пониженной жесткостью (1,5 – 7 единиц), но при этом такая пониженная жесткость достигается умягчением воды с помощью ионообменных колонок. Это делается для того, чтобы при кипячении воды в электрочайниках не образовывалась накипь. Однако, очистка воды на ионообменных смолах загрязняет её не очень полезной для здоровья органикой.

Очень велик разброс по жесткости водопроводной воды в различных районах города (табл. 5). Вода из волжского водозабора имеет жесткость на уровне 4-4,5 единиц. Артезианские водозаборы (Советский район, Азино-2, посёлок Дербышки) дают воду с запредельной жесткостью от 7,5 до 13 единиц. При оптимальной жесткости около 3 единиц и предельно-допустимой не более 7,5 единиц [5].

Конечно, жесткость воды не определяет её качества и пригодности для питья. Всё определяется уровнем различных примесей (табл.1).

Нами рассмотрено два крайних случая – родниковая вода (посёлок Бима на реке Мёша) и обычная водопроводная вода волжского водозабора, взятая из крана по ул. Р. Зорге. Сопоставительные данные приведены в таблице 6.

Из таблицы 6 видно, что по жесткости родниковая вода почти вдвое превышает показатель для водопроводной воды и это характерное свойство. Так, в соседнем с посёлком Бима – посёлке Каипы жесткость воды артезианской скважины составляет 7,5^{o}Ж, что также превышает допустимые нормы.

В водопроводной воде значительно более высокое содержание ионов тяжелых металлов по сравнению с родниковой водой (наиболее существенное превышение по железу, цинку, марганцу, меди и др.).

В водопроводной воде высокое содержание аммония, нитритов и нитратов, что связано с поступлением в открытые водоисточники значительных количеств бытовых сточных вод.

Повышенным является также содержание сульфатов и фторидов, что связано с геологическими особенностями региона Республики Татарстан.

Высокое содержание хлоридов в водопроводной воде связано с солевой обработкой дорог и улиц городов антигололёдными составами.

В водопроводной воде повышенное содержание свинца и кадмия, что является следствием использования в недалёком прошлом антидетонационных добавок к топливам (тетраэтилсвинца) и вредных минеральных кадмиевых красок.

Таблица 6.

Сопоставительные данные по содержанию примесей типичной родниковой и водопроводной воды

№	Показатели	Поселок Бима	Водопровод, Приволжский район	ПДК по СанПиН
1	Жесткость	9.2^{o}Ж	4.2^{o}Ж	7.00^{o}Ж

	Общая			
2	Цветность	5.0^{o}	15^{o}	200^{o}
3	Мутность	0.5 мг/дм^3	1.8 мг/дм^3	1.5 мг/дм^3
4	Сухой остаток	578 мг/дм^3	324 мг/дм^3	1000 мг/дм^3
5	Цинк	0.004 мг/дм^3	0.8 мг/дм^3	1.0 мг/дм^3
6	Марганец	0.0001 мг/дм^3	0.06 мг/дм^3	0.1 мг/дм^3
7	Аммоний	0.05 мг/дм^3	1.5 мг/дм^3	2.0 мг/дм^3
8	Стронций	4.8 мг/дм^3	6.0 мг/дм^3	7.0 мг/дм^3
9	Свинец	0.0005 мг/дм^3	0.07 мг/дм^3	0.010 мг/дм^3
10	Кадмий	0.00005 мг/дм^3	0.001 мг/дм^3	0.001 мг/дм^3
11	Серебро	0.00005 мг/дм^3	-	0.05 мг/дм^3
12	Никель	0.001 мг/дм^3	0.04 мг/дм^3	0.10 мг/дм^3
13	Медь	0.0001 мг/дм^3	0.9 мг/дм^3	1.0 мг/дм^3
14	Молибден	0.010 мг/дм^3	0.01 мг/дм^3	0.25 мг/дм^3
15	Хром	0.0004 мг/дм^3	0.04 мг/дм^3	0.050 мг/дм^3
16	Барий	0.05 мг/дм^3	0.4 мг/дм^3	0.7 мг/дм^3
17	Берилий	0.00005 мг/дм^3	-	0.0002 мг/дм^3
18	Железо общее	0.10 мг/дм^3	0.57 мг/дм^3	0.30 мг/дм^3
19	Водородный показатель	6.5	7.2	6.0 - 9.0
20	Нитриты	0.003 мг/дм^3	1.8 мг/дм^3	3.0 мг/дм^3
21	Нитраты	20.4 мг/дм^3	40 мг/дм^3	45.0 мг/дм^3
22	Фториды	0.57 мг/дм^3	0.61 мг/дм^3	1.5 мг/дм^3
23	Хлориды	12 мг/дм^3	180 мг/дм^3	350 мг/дм^3
24	Сульфаты	117 мг/дм^3	158 мг/дм^3	500 мг/дм^3

Однако, как видно из таблицы 6 даже водопроводная вода соответствует санитарным нормам и правилам. Всё же пить воду из под крана в настоящее время нельзя и по крайней мере она требует дополнительной очистки на домашних фильтрах (для уменьшения количества ионов тяжелых металлов) с последующим обязательным кипячением для удаления хлора.

Список литературы:

1. *Ахманов М.А.* Вода, которую мы пьём.- Санкт-Петербург.- ИК «Невский проспект».- 2002.- 189с.
2. *Ревелль П., Ревелль Ч.* Среда нашего обитания в 4 т..- Т.2: Загрязнение воды и воздуха. М.: Мир. 1995.
3. Вода питьевая. М.: ИПК Издатебльство стандартов, 1997.
4. *Барковский В.Ф., Горелик С.М., Городенцева Т.Б.* Физико-химические методы анализа. М.: Высшая школа.-1972, 342с.
5. *Фомин Г.С.* Вода. Химический контроль. //Энциклопедический справочник Госстандарта России. М.: ЗАО «ОСТ АКВА».- Черноголовка,2000.- 321с.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.04.21

Е. Н. Бурлуцкая, П. А. Данилов, Т. С. Демьянова, В. Н. Храмов к.ф.-м.н.

Волгоградский государственный университет, физико-технический университет
кафедра лазерной физики
Россия, г. Волгоград
kvn100@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА МИКРОПОВРЕЖДЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТВЕРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Работа выполнена в рамках гранта 5-2011-МУ/ВолГУ Волгоградского государственного университета.

В работе приведены экспериментальные результаты по исследованию характера микроповреждений на поверхностях твердых тканей зуба при воздействии лазерными импульсами неодимового лазера различной длительности, а также предварительная оценка эффекта экранирования лазерной плазмой воздействующего излучения. Эксперименты на свежеудаленных человеческих зубах показали преимущество лазерно-плазменного метода, заключающееся в отсутствии оплавления внутренних поверхностей образующегося кратера, карбонизации тканей и нежелательных микроповреждений.

Ключевые слова: взаимодействие лазерного излучения с веществом, эмаль, дентин, лазерно-плазменное воздействие, лазеры в стоматологии.

В хирургии твердых тканей предпочтение отдается более дорогим Er:YAG лазерам излучение неодимового лазера почти не используется из-за плохого поглощения твердыми тканями и высокой вероятности термических повреждений зуба [2]. Но, при переходе к более коротким импульсам (100 нс – 0,1 нс) реализуется лазерно-плазменная технология обработки, для которой исходное поглощение не является определяющим фактором. По производительности процесса данный метод не уступает эрбиевым лазерам [4], а возможность передачи излучения по оптико-волоконным стеклянным световодам практически без потерь делает лазерно-плазменный метод наиболее перспективным из существующих.

Воздействие короткими и ультракороткими импульсами высокой интенсивности (10^9-10^{12} Вт/см^2) приводит к возникновению нелинейных эффектов в частности, лавинной ионизации в поле лазерного импульса – оптический пробой. Что неизбежно связано с образованием вблизи мишени достаточно высокотемпературной лазерной плазмы (10^3-10^4 К) и ударной волна (до 10^7-10^8 Па) При этом часть лазерного импульса может экранироваться образовавшейся плазмой. Для высокоинтенсивных коротких лазерных импульсов данный эффект может быть существенным, т.к. может привести к механическим повреждениям (микротрещины) ткани в окрестности облучаемой области из-за высоких локальных давлений на фронте ударной воны. Вместе с тем инициируемые лазерным излучением ударные волны используют для разрушения камней [3].

Анализ физических процессов, происходящих при воздействии лазерного излучения на биологические ткани, невозможен без исследования характера и параметров повреждений тканей. Ранее, нами уже было получено, что при лазерно-плазменном воздействии не происходит существенного нагрева пульпы зуба и дополнительных повреждений тканей. До

настоящего времени наши исследования ограничивались рассмотрением макроскопических параметров воздействия (размеры образующихся кратеров, масса удаленной ткани, скорость обработки, температура внутри зуба и т.п.) [4–6]. Эта статья посвящена исследованию характера повреждений твердых тканей зуба (эмаль, дентин) при воздействии импульсов неодимового лазера в режимах генерации коротких и ультракоротких лазерных импульсов, а также предварительной оценке эффектов экранирования плазмой падающего излучения.

Материалы и методы

Для проведения эксперимента *in vitro* использовались свежеэкстрагированные, преимущественно однокоренные зубы человека, удаленные по ортодонтическим показателям. Для получения микрократеров на поверхности образца использовался модернизированный для генерации коротких и ультракоротких импульсов импульсно-периодический лазер «Квант-15». Изменение временных и энергетических параметров ламповой накачки позволило получить три типа импульсов: длинные импульсы — порядка 1 мкс (~0.5 Дж), короткие импульсы (КИ) — 40 нс (~0.5 Дж), и ультракороткие импульсы (УКИ) — порядка 1 нс (~0.4 Дж). В качестве измерительной установки в работе использовался микроскоп «Биомед-2».

Результаты и обсуждение

Эксперимент проводился при воздействии на поверхность эмали и дентина КИ и УКИ. При воздействии на поверхность эмали и дентина КИ, диаметр образовавшихся микрократеров составляет ~0.3 мм. Микроскопический анализ показал, что вокруг кратеров наблюдается контур из оплавленной ткани шириной порядка 10 мкм (рис. 1 *а,б*). При воздействии на поверхность тканей УКИ, диаметры образовавшихся микрократеров составляют ~0.5 мм (рис. 1 *в,г*). При этом не наблюдается видимых следов оплавления карбонизации или растрескивания тканей.

Завершает эксперимент воздействие на твердые ткани зуба микросекундными импульсами. На рис. 1 *д* представлен снимок, полученный при воздействии на поверхность дентина в режиме длинных (микросекундных) импульсов свободной генерации. Диаметр кратера составляет ~0.5 мм. Видно, что при воздействии на дентин микросекундными лазерными импульсами, размер областей оплавления и обугливания сравним с размером самого микрократера.

Таким образом, получено, что диаметр кратеров колеблется от 0.3 до 0.5 мм и зависит от длительности воздействующих импульсов, а также от типа обрабатываемой ткани. Видно, что при воздействии КИ диаметр кратеров почти в два раза меньше, чем при воздействии УКИ. Это указывает на большую эффективность лазерно-плазменной обработки, зависящую от интенсивности излучения. Кратеры, образовавшиеся на дентине, меньше, чем на эмали, при одинаковых параметрах импульса. Относительно большой диаметр кратера при воздействии длинными импульсами связан с медленными тепловыми эффектами и длительностью воздействия.

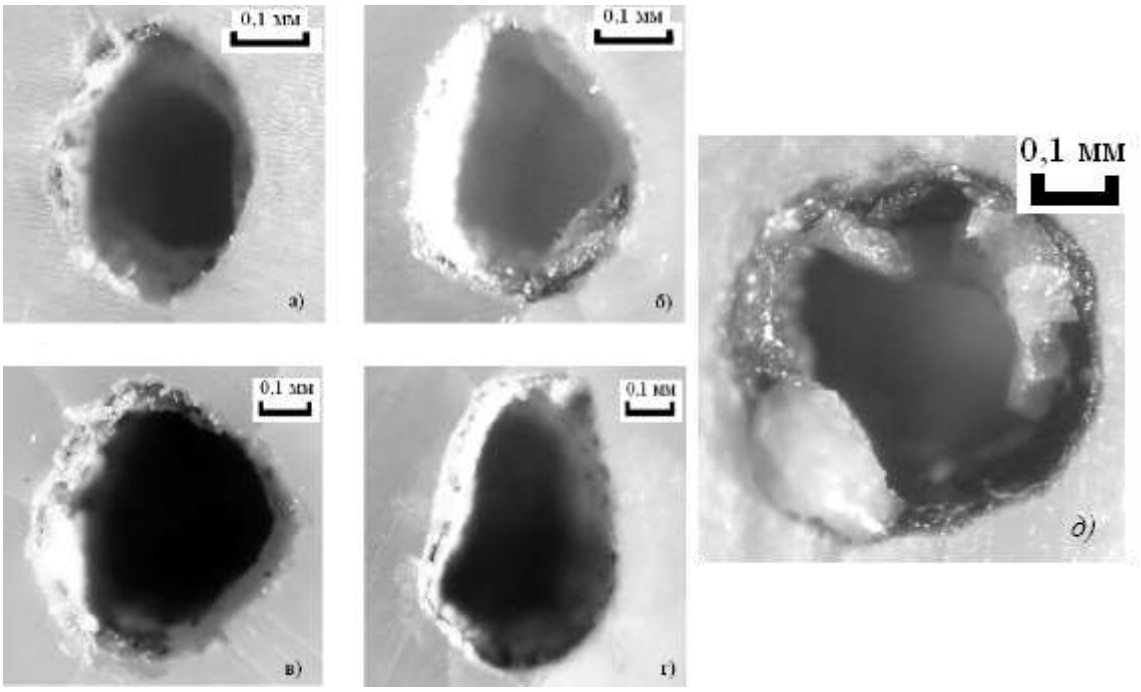


Рис. 1 – Вид микрократеров, образующихся на эмали (а, в) и на дентине (б, г, д), при воздействии коротких, ультракоротких и длинных импульсов.

Для исследования эффекта экранировки был проведен ряд измерений в режимах с различной длительностью импульса (КИ, УКИ). При воздействии на образец лазерного излучения в режиме коротких импульсов без образования плазмы (без линзы), оба коаксиальных фотоэлемента регистрируют одинаковый импульс (рис. 2 *а,б*). Это говорит о том, что для лазерного излучения образец почти прозрачен, что соответствует результатам других авторов [1].

Последующие эксперименты проводились с образованием плазмы на поверхности зуба при воздействии КИ и УКИ. Из сравнения осциллограмм падающего и прошедшего импульса в обоих режимах (рис.2 *г-е*) видно, что существенная часть импульса экранируется лазерной плазмой.

Это связано с тем, что часть фронта лазерного импульса или первые УКИ в цуге используются для образования приповерхностного плазменного факела и достижения состояния «оптически плотной» плазмы, когда излучение полностью отражается и поглощается самой плазмой.

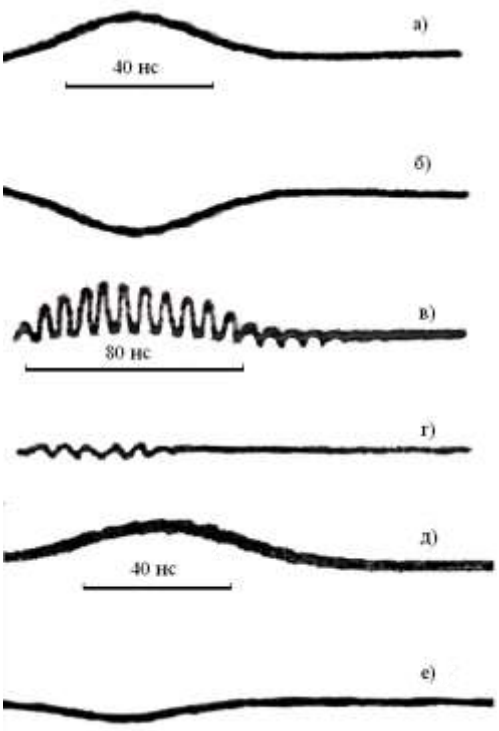


Рис. 2 – Осциллограммы воздействующих КИ (а) и УКИ (в) и синхронная осциллограммы после прохождения импульса через образец (б, г) без образования плазмы и с образованием плазмы на поверхности (д, е).

Таким образом, при воздействии КИ и УКИ, образующейся на поверхности зуба плазмой, экранируется практически половина излучения по длительности.

Заключение

Исследования показали, что при воздействии микросекундных импульсов (~ 1 мкс) наблюдается сильная карбонизация и оплавление тканей эмали и дентина, размеры областей оплавления и обугливания сравнимы с размерами микрократера. Большие зоны оплавления и карбонизация отсутствуют при лазерно-плазменном воздействии – распространение тепла и повышение температуры во время абляции были локализованы в тонком поверхностном слое без ущерба для основной ткани. При воздействии короткими импульсами (~ 40 нс) диаметр кратеров почти в два раза меньше, чем при воздействии ультракороткими импульсами (~ 1 нс).

Предварительная оценка эффектов экранирования воздействующего излучения наносекундной длительности при образовании лазерной плазмы на поверхности зуба показала, что при воздействии короткими и ультракороткими импульсами, образующейся на поверхности зуба плазмой, экранируется практически половина излучения по длительности. Эти результаты показывают, что при использовании лазерно-плазменной технологии для повышения эффективности обработки необходима оптимизация энергетических и временных параметров лазерного импульса.

Список литературы:

1. *Беликов А.В., Скрипник А.В.* Лазерные биомедицинские технологии (часть II): Учебное пособие – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 100 с.

2. *Беликов А.В., , А.В. Скрипник Е.П. Жолобова, Струнина Т.В.* Исследование эффективности разрушения эмали зуба человека одномодовым излучением YAG: Er лазера // Научно-технический вестн. СПбГУ ИТМО.Т. 60. – 2009 . № 2. С. 51-58.

3. *Майоров В.С., Хорошев М.В.* Учебное пособие по дисциплине «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» – М.: МИИГАиК, 2003. – 49 с.

4. *Храмов В.Н., Линченко И. В., Бурлуцкая Е. Н., Любухина К. А. Чебакова Т. С.* Исследование оптимальных параметров импульсно-периодического воздействия излучения неодимового лазера на твердые ткани зуба // Медицинская физика. – 2011. – № 1(49). – С. 87–96.

5. *В.Н. Храмов, И.В. Линченко, Е.Н. Скачкова, Т.В. Олейник, К.А. Любухина, Т.С. Чебакова* Исследование производительности импульсно-периодического лазерно-плазменного воздействия на дентин и эмаль // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии – 2009 / Труды XVII Международной Конференции п. Абрау-Дюрсо, г. Новороссийск, Краснодарский край, 8 – 12 сентября 2009 г. – 2009. – С. 26–27.

6. *В.Н. Храмов, И.В. Линченко, Т.С. Чебакова* Поверхностное повреждение твердых тканей зуба при лазерном и лазерно-плазменном воздействиях // Вестник СПбО АИН. – 2008. – № 4. – С. 346–358.

01.04.05

О. Л. Головков к.ф.-м.н., Г. А. Купцова, В. А. Степанов д.ф.-м.н.

Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина
Россия, г. Рязань
golovkow@mail.ru

ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ В КРИСТАЛЛЕ ND:YAG-ЛАЗЕРА ПРИ НАКАЧКЕ ЛАЗЕРНЫМИ ДИОДАМИ

В статье исследованы причин возникновения двулучепреломления в кристалле Nd^{3+}:YAG-лазера при накачке лазерными диодами.

Ключевые слова: двулучепреломление, Nd^{3+}:YAG-лазер, тепловая линза.

Введение. Использование непрерывных лазерных диодов (ЛД) с выходной мощностью несколько ватт в качестве источника накачки твердотельных лазеров позволяет создавать недорогие, относительно простые высокоэффективные лазеры [1]. Известно, что кристалл Nd^{3+}:YAG, имеющий кубическую кристаллическую структуру класса *m*3*m* и кристаллографическую ориентацию осей (001), не имеет собственного двулучепреломления. Наведенное двулучепреломление в центре термической деформации активного элемента, имеющего вид цилиндра, также отсутствует [2]. В статье [3] показано, что поляризация генерации Nd^{3+}:YAG-лазера с продольной накачкой с помощью ЛД совпадает с поляризацией накачки, что при определенных условиях экспериментально не подтвердилось.

Настоящая работа посвящена причинам возникновения наведенного двулучепреломления в цилиндрическом кристалле Nd^{3+}:YAG-лазера при продольной накачке с помощью ЛД.

Экспериментальные исследования. Для эксперимента использовались активные элементы, вырезанные из монокристалла $Y_3Al_5O_{12}$:Nd^{3+} вдоль кристалло-графической оси (001), с концентрацией активных ионов Nd^{3+} 1 ат.%, в виде цилиндра диаметром 4 мм, длиной 10 мм. На входной торец активного элемента было нанесено селективное зеркало с высоким коэффициентом отражения (более 99%) на длине волны 1064 нм и высокой прозрачностью на длине волны 808 нм, а выходной торец активного элемента просветлен. Линейный резонатор лазера длиной 30 мм создавался селективным зеркалом, нанесенным на торец активного элемента и сферическим зеркалом радиусом −200 мм с коэффициентом отражения на длине волны 1064 нм равным 84%. Генерация осуществлялась на основной поперечной моде TM_{00}. Линейно поляризованное излучение трех лазерных диодов (808 нм) суммарной мощностью 8 Вт фокусировалось на торец активного элемента зоной накачки $0{,}2\times0{,}2 мм^2$. Для анализа поляризации генерируемого Nd^{3+}:YAG-лазером излучения использовалась призма Глана, сориентированная так, чтобы пропускать излучение, имеющее плоскость поляризации, совпадающее с плоскостью поляризации накачки. Исследовалась зависимость отношения мощности лазерного излучения, прошедшего через призму Глана, к полной мощности генерации, от угла поворота активного элемента вокруг оси (азимутального угла).

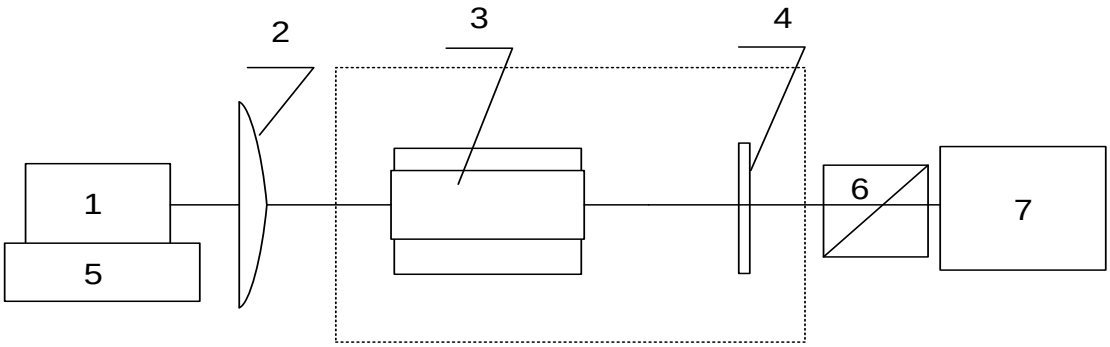


Рисунок 1. – Схема экспериментальной установки: 1 – полупроводниковые лазеры, 2 – фокусирующая линза, 3 – Nd^{3+}:YAG-кристалл, 4 – выходное зеркало, 5 – термо-электрический модуль с датчиком температуры, 6 – призма Глана, 7 – измеритель мощности лазерного излучения.

На рисунке 2 представлены полученные результаты для двух образцов активных элементов Nd^{3+}:YAG, при этом минимумы совмещены с угловой координатой 45°, так как изначальный азимутальный угол относительно кристаллографических осей был неизвестен.

Как видно из рисунка, поляризация излучения Nd^{3+}:YAG-лазера, имеющего кристаллографическую ориентацию (001), при накачке плоско-поляризованным излучением лазерных диодов зависит от азимутального угла.

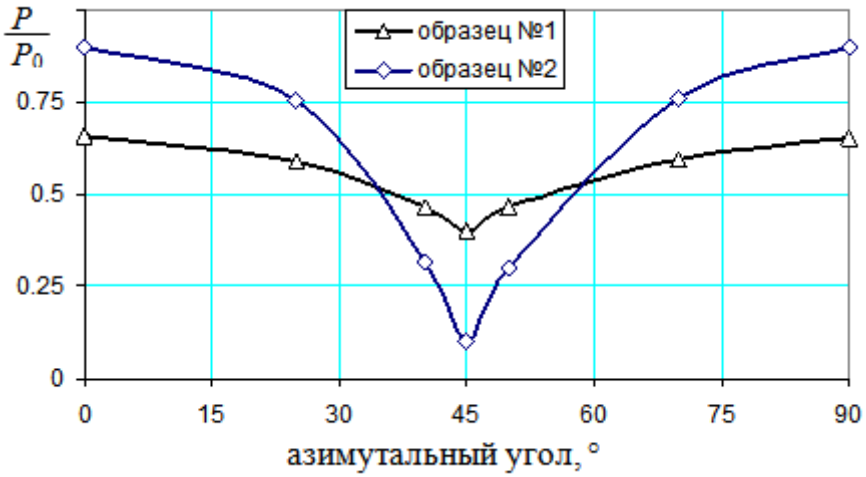


Рисунок 2. - Отношение мощности генерации, прошедшей призму Глана, к полной мощности генерации Nd^{3+}:YAG-лазера в зависимости от угла поворота кристалла вокруг оси z (азимутального угла).

При анализе пространственных параметров лазерного излучения Nd^{3+}:YAG-лазера методом фокального пятна установлено, что расходимости лазерного излучения для ортогональных поляризаций при азимутальном угле 45° не совпадают. Это все вместе указывает на наличие двулучепреломления в Nd^{3+}:YAG-кристалле.

Теоретический анализ. Известно, что кристалл Nd^{3+}:YAG, имеющий кубическую кристаллическую структуру класса *m*3*m*, не обладает собственным двулучепреломлением. Величина термически наведенного двулучепреломления в цилиндрическом Nd^{3+}:YAG-

кристалле при параболическом распределении теплового поля определяется разницей оптических путей ΔL для света с r- и φ-координатами и равна [2]:

$$\Delta L_r(r) - \Delta L_\varphi(\varphi) = Q\Delta T r^2 l, \qquad (1)$$

где $\Delta T = 2\bar{T}$, $\bar{T}$ – среднее по сечению приращение температуры, l – длина цилиндра, Q – термооптическая величина для цилиндрического кристалла YAG, имеющего кристаллографическую ориентацию (001), равна:

$$Q(\varphi) = \frac{\alpha n_0^3}{4}\frac{1+\nu}{1-\nu}(p_{11}-p_{12})\left[\frac{1-\xi_A^2\left(tg(2\varphi)\right)^2}{1+\left(tg(2\varphi)\right)^2}\right]^{1/2}, \qquad (2)$$

где α – коэффициент термического расширения, n_0 – показатель преломления среды при отсутствии излучения, ν – коэффициент Пуассона, $\xi_A = \frac{2p_{44}}{p_{11}-p_{12}}$ – поляризуемость среды, p_{11} p_{12} и p_{44} – фотоупругие постоянные среды.

Из уравнения (1) видно, что в центре термической деформации Nd^{3+}:YAG-кристалла при параболическом распределении теплового поля наведенного двулучепреломления нет. Из уравнения (2) видно, что величина наведенного двулучепреломления в цилиндрическом YAG-кристалле зависит от угла поворота кристалла вокруг оси z (от азимутального угла), что совпадает с результатами экспериментов, представленных на рисунке 2.

Для анализа причин возникновения наведенного двулучепреломления были проведены расчеты параметров Гауссового пучка, генерируемого Nd^{3+}:YAG-лазером, и определены параметры накачки лазерными диодами. Накачка Nd^{3+}:YAG-лазера осуществлялась излучением мощных ЛД зоной сечением $0{,}2\times 0{,}2 мм^2$, в результате чего возникал объемный источник тепла, вытянутый вдоль оси z.

Для расчета размера перетяжки лазерного излучения на торце цилиндрического активного элемента радиусом R необходимо определить наведенную накачкой тепловую линзу. Для этого использовалось уравнение теплопроводности, описывающее двумерное стационарное тепловое поле цилиндра с постоянной температурой на поверхности цилиндра при поглощении излучения накачки мощностью W [4]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \alpha_T\left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) = \frac{q_0\mu\exp(-\mu z)}{c\rho}, \qquad (3)$$

с граничными условиями $u(R,z) = 0$ и $u(0,z) = \Phi(z)$, где α_T – коэффициент температуропроводности, $q_0 = \frac{W}{\pi r_0^2}$ – плотность мощности накачки, μ – коэффициент поглощения среды. Решение уравнения (3) возможно по слоям с условием, что в каждом слое источник тепла по центру цилиндра постоянен по оси z, а при переходе на другой слой учитывается потеря излучения накачки за счет поглощения. Так как процесс стационарен, то для решения данного дифференциального уравнения использовался первый член ряда Фурье-Бесселя [4]. На рисунке 3 приведено распределение температуры в цилиндрическом Nd^{3+}:YAG-кристалле при мощности накачки 8 Вт в зоне радиусом 0,12 мм.

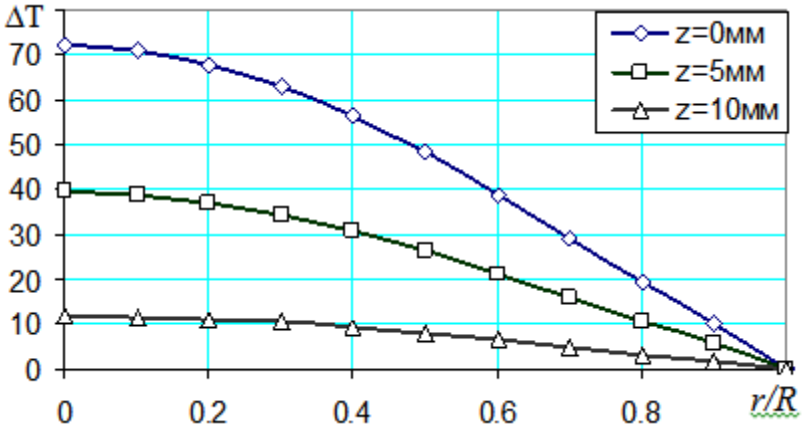


Рисунок 3. – Зависимость температуры в цилиндрическом активном элементе от параметра *r/R* для разных сечений.

В результате расчетов установлено, что в Nd^{3+}:YAG-кристалле при аксиальной накачке ЛД аппроксимируется полиномом 3-й степени. Так как распределение теплового поля не является параболическим, то создаваемые накачкой тепловые деформации кристалла приводят к появлению термически наведенного двулучепреломления в центре термической деформации [2].

В результате расчета теплового поля в активном элементе было получено выражение для радиуса зеркала резонатора, возникающее под действием тепловой линзы активного элемента в зоне накачки:

$$R_m = \frac{R^2}{2\Delta L(\rho)}, \qquad (4)$$

где $\Delta L(\rho) = L\left[P\Delta T(0.5-\rho^2) - 0.5Q\rho^2\Delta T\right]$ – изменение длины кристалла YAG под действием температурного поля [2], $\rho = \frac{r}{R}$ – относительная координата, L – длина кристалла, P =7,7·10^{-6} К$^{-1}$ – термооптический коэффициент [2], Q =(7÷24)·10^{-6} К$^{-1}$ термооптический коэффициент [2].

Установлено, что при мощности накачки 8 Вт зеркало резонатора, возникающее под действием тепловой линзы, при максимальном Q имеет радиус – 0,30 *м*, а при минимальном Q – 0,35 *м*. Расчет резонатора показал, что данный тип резонатора неустойчив, и диаметр Гауссового пучка на торце активного элемента равен 0,3 *мм*. Следовательно, генерация лазерного излучения происходит в зоне накачки на основной моде TEM_{00}, что подтверждается экспериментально.

При угловой разъюстировке оптических осей накачки и резонатора происходит генерация лазерного излучения Nd^{3+}:YAG-лазера не в центральной зоне тепловой деформации, что приводит в соответствии с выражением (1) к появлению наведенного двулучепреломления, обнаруженного в результате опытов. Точно совместить оптические оси накачки и генерации сложно, так как необходимо выполнение одновременно нескольких условий:

- центр фокусирующей линзы должен совпадать с оптической осью излучения лазерных диодов;
- торцевая поверхность активного элемента должна быть перпендикулярна оптической оси накачки;
- центр кривизны выходного зеркала резонатора должен совпадать с оптической осью накачки.

Выводы. В результате проведенных экспериментальных и теоретических исследований установлено, что в Nd^{3+}:YAG-лазере при аксиальной накачке с помощью ЛД всегда возникает

термонаведенное двулучепреломление. Термонаведенное двулучепреломление возникает в результате не параболического распределения теплового поля в Nd^{3+}:YAG-кристале и в результате несоосности лазерного излучения Nd^{3+}:YAG-лазера и излучения накачки. Это необходимо учитывать при разработке Nd^{3+}:YAG-лазеров, имеющих внутрирезонаторные окна Брюстера.

Список литературы:

1. Бышевская-Конопко Л.О., Воробьев И.Л., Изынеев А.А., Садовский П.И. *Квантовая электроника*, т.34, №9, с.809 (2004).
2. Мезенов А.В., Сомс Л.Н., Степанов А.И. *Термооптика твердотельных лазеров.*/ Ленинград: Машиностроение, 1986г., с.41.
3. Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г., Наумкин Н.И. *Квантовая электроника,* 34, №9, с.839 (2004).
4. Тихонов А.Н., Самарский А.А., Уравнения математической физики./ Москва: Наука, 1977.

01.02.08

Р. Х. Закиров[1], Ю. Г. Коноплев д.ф.-м.н.[2], В. И. Митряйкин д.т.н.[3], О. А. Саченков[3]

[1]Республиканская клиническая больница (Татарстан)

[2]Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева

[3]Казанский (Приволжский) федеральный университет
Россия, г. Казань
works@bk.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОМЕХАНИКИ СУСТАВА

В работе представлена параметрическая трехмерная модель тазобедренного сустава и реализация на её основе шарнирной модели пояса нижних конечностей. Приведены результаты расчетов по определению сил, действующих в тазобедренном суставе при элементарных движениях.

Ключевые слова: биомеханика, тазобедренный сустав, математическое моделирование, эндопротезирование.

Заболевания опорно-двигательного аппарата создают неблагоприятные условия жизнедеятельности человека, ограничивают его функциональные возможности и могут привести к инвалидности. Одним из таких заболеваний являются поражения костных составляющих и мягкотканых образований тазобедренного сустава (ТБС). По данным отечественной и зарубежной литературы эффективным хирургическим методом лечения патологии тазобедренного сустава при ревматических заболеваниях (РЗ) является тотальное эндопротезирование. В то же время можно сказать, что в большинстве работ, посвященных хирургическому методу лечения тазобедренного сустава при РЗ, недостаточно полным образом затрагивается проблема его эндопротезирования, что связанно с отсутствием четких показаний и противопоказаний для его выполнения, особенностей предоперационной подготовки и послеоперационного ведения.

Для выработки таких показаний и рекомендаций при подборе типоразмера имплантата и метода его крепления было предложено использовать аппарат математического моделирования. Известно, что костная ткань чувствительна к деформациям, так при некорректной установке эндопротеза напряженно-деформируемое состояние (НДС) в суставе может сильно измениться, что повлечет к неравномерному напряженному состоянию костей таза и может привести к дисплазии костной ткани.

Для корректной формулировки задачи определения НДС необходимо знать нагрузки, действующие в суставе и сформулировать граничные условия. Поэтому было решено построить трехмерную параметрическую модель пояса нижних конечностей. Опираясь на детальное изучение [1] структуры ТБС, анализ томограмм ТБС, полученных на сканирующем рентгеновском томографе, и реконструированные модели костей таза была построена параметрическая трехмерная модель ТБС, параметрами которой выступают габаритные размеры и анатомические показатели. К анатомическим показателям относятся**:** вертикальный размер входа в вертлужную впадину, глубина вертлужной впадины, угол вертикального наклона вертлужной впадины (угол Шарпа), плечо бедренной кости, высота головки, шеечно-диафизарный угол, индекс сужения бедренного канала.

Обоснованное заключение о состоянии стабильности тазобедренного сустава может быть вынесено только на основании определения величин четырех так называемых индексов стабильности, отражающих степень соответствия друг другу парных показателей особенностей пространственного положения проксимального конца бедренной кости и вертлужной впадины: угла вертикального соответствия, степени костного покрытия, коэффициента костного покрытия, угла горизонтального соответствия.

Характеристики параметрической модели позволяют контролировать указанные индексы.

Базовая расчетная схема (рис. 1) рассматривает в качестве основного внешнего фактора массу (Ss), которая передаётся на сустав по позвоночному столбу, при этом в области вертлужной впадины появляется реактивная сила (R) и момент (M). На рис. 2 реакция приводящей мышцы показана силой R1 (Q, P – её горизонтальная и вертикальная составляющие). Моделирование мышц реактивной силой, не позволяет учитывать влияние приводящих и отводящих мышц, усилия в местах крепления мышц, и сильно обобщает роль мышц сгибателей и разгибателей в механической картине ТБС.

При моделировании использовалась 18-ти узловая схема человека**,** которая достаточно хорошо описывает кинематику человека. На кости таза накладывались кинематические условия, полученные из анатомии [2,3], мышцы моделировались пружинами (с податливостью 1 мм/Н), члены тела – жесткими телами. Размеры и масса человека нормировались. Общая масса человека составляла 1 кг.

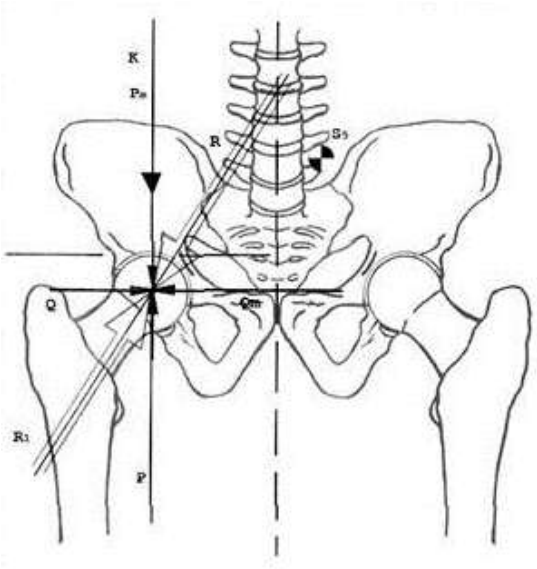


Рис. 1

Массы частей тела задавались согласно общим массовым распределениям согласно уравнению Селуянова.

$$m_x = B_0 + B_1\bar{m} + B_2 H \qquad (1)$$

где m_x – масса части тела, $\bar{m}$ – масса человека, Н – характерный размер, - B_0, B_1, B_2 коэффициенты (см. таблицу 1).

Таблица 1.

Коэффициенты регрессионного уравнения

Сегменты	**B_0**	**B_1**	**B_2**
Стопа	—0,83	0,008	0,007
Голень	—1,59	0,036	0,012
Бедро	—2,65	0,146	0,014
Нижняя часть туловища	—7,50	0,098	0,049

Основной закон динамики вращательного движения:

$$\frac{d}{dt}\left(\bar{\bar{J}}_c \cdot \bar{\omega}\right) = M_c^e, \qquad (2)$$

где: M_c^e – главный момент всех внешних сил относительно точки c,

$\bar{\bar{J}}_c \cdot \bar{\omega}$ – момент количества движения относительно точки c.

Уравнения связи обобщенных скоростей со скоростями центра масс и угловыми скоростями:

$$u_i - \dot{q}_i = 0,\ i = 1,...,6n. \qquad (3)$$

Уравнения для момента:

$$p_i - \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = 0,,\ i = 1,...,6n. \qquad (4)$$

Уравнения для связей (голономных):

$$\Phi_j\left(q_{i_j}, t\right) = 0,\ j = 1,..., m, \qquad (5)$$

где k – число голономных связей.

Уравнения, полученные из принципа Гамильтона:

$$\dot{p}_i - \frac{\partial L}{\partial q_i} + \sum_{j=1}^{m} \lambda_j \frac{\partial \Phi}{\partial q_i} - \sum_{k=1}^{na} \bar{F}_k \cdot \frac{\partial \bar{r}_k}{q_i} = 0, \qquad (6)$$

где λ_i – множители Лагранжа,

$\bar{F}_k = \bar{f}_k\left(q, u, \lambda, t\right),\ k = 1,..., na$ – внешние силы.

Уравнения (3) – (6) составляет систему дифференциальных уравнений. Численная реализация осуществлялась на базе CAE пакета Adams. Положение твердого тела определяется 3-мя декартовыми координатами *x, y, z*.

$$p = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}. \qquad (7)$$

Ориентация твердого тела определяется набором из 3-х углов Эйлера

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \psi \\ \phi \\ \theta \end{bmatrix}. \qquad (8)$$

которые соответствуют последовательности вращения 3-1-3: Ψ ,φ и θ.

Набор обобщенных координат, связанных с телом обозначается:

$$q_i = \begin{bmatrix} p_i \\ \varepsilon_i \end{bmatrix}. \qquad (9)$$

Из такого определения обобщенных координат, линейная и угловая скорость тела записывается в виде:

$$u = \dot{p},$$
$$\bar{\omega} = B\dot{\varepsilon}. \qquad (10)$$

где $\bar{\omega}$ – угловая скорость тела в локальных координатах.

Последнее уравнение определяет взаимодействие между угловой скоростью тела (внутренняя характеристика тела) и выбранными нами обобщенными координатами:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \sin\varphi \cdot \sin\theta & 0 & \cos\varphi \\ \cos\varphi \cdot \sin\theta & 0 & -\sin\varphi \\ \cos\theta & 1 & 0 \end{bmatrix} \qquad (11)$$

Заметим, что производная по времени от матрицы ориентации тела и угловой скорости выглядит так: $A = \tilde{\bar{\omega}}$, где тильда представляет кососимметричный оператор.

Ниже приведены примеры соотношений, для реализации примитивов связей:

Совпадение точек двух тел

$$\Phi = (\bar{R}_i + \bar{r}_{ik}) - (\bar{R}_j + \bar{r}_{jk}) = 0, \qquad (12)$$

Движение в плоскости

$$\Phi = ((\bar{R}_i + \bar{r}_{ik}) - (\bar{R}_j + \bar{r}_{jk})) \cdot \bar{a}_j = 0, \qquad (13)$$

Перпендикулярность отрезков в телах

$$\Phi = \bar{a}_i \cdot \bar{a}_j = 0, \qquad (14)$$

Вращение вокруг фиксированной оси

$$\Phi = \arctan(2(\bar{a}_i \cdot \bar{b}_j, \bar{a}_i \cdot \bar{c}_j)) - f(t) = 0. \qquad (15)$$

При численной реализации использовался итерационный квази-Ньютона-Рафсона алгоритм для решения системы конечно-разностных уравнений и нахождения значений переменных состояния. Этот алгоритм гарантирует, что состояния системы удовлетворяют уравнениям движения и ограничениям. Итерационный метод Ньютона-Рафсона требует, чтобы матрица частных производных пересчитывалась с учётом уже полученных переменных решения (на предыдущих шагах). Эта матрица, известная как якобиан, используется на каждой итерации для вычисления поправок к состояниям**:**

$$\left[\left. \frac{\partial F}{\partial y} \right|_{y^k, \dot{y}^k} + \frac{1}{h\beta_0} \left. \frac{\partial F}{\partial \dot{y}} \right|_{y^k, \dot{y}^k} \right] \Delta y = -F(y^k, \dot{y}^k, t), \qquad (16)$$

где

- β_0 функция от порядка интегрирования,
- матрица в левой части есть якобиан F,
- Δy – поправки,
- F – остаток от предыдущего шага.

Проводились расчеты кинематики ТБС при элементарных движениях (ходьба, бег). Траектории суставов корректировались данными видеозаписи нормальных походок человека, а также сравнивались с результатами анализа движения сустава проведенными другими авторами [4].

На основе проведенного кинематического анализа можно заключить:

1. При ходьбе бедренная кость изолированно от голени и таза производит возвратно-вращательные движения (супинация-пронация) вокруг оси, проходящей через середину головки бедра и латеральный мыщелок бедра, и сообщает своду таза вращательные движения.

2. Находясь на вершине кинематических цепей нижних конечностей, позвоночный столб концентрирует на себе относительно симметричные или асимметричные нагрузки, частично их компенсируя.

3. Кинематическую цепь нижней конечности с позиции механики следует понимать, как ползунно-кривошипный механизм, где функцию активного ползуна выполняет стопа, функцию штока выполняет пассивная голень, бедренная кость выполняет функцию активного кривошипа, который через кулачковую пару - тазобедренный сустав сообщает пассивному тазу - коромыслу колебательные и вращательные движения. Построенная модель пояса нижних конечностей была уточнена с учетом вышеизложенных пунктов и был проведен ряд расчетов. На рис.2 изображен график зависимость угла наклона таза (град) при движении (0 – начало движения, 1 – окончание).

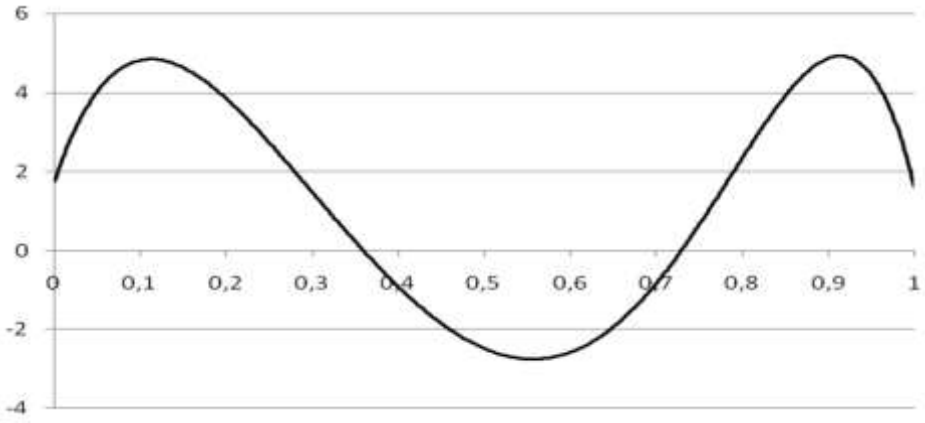
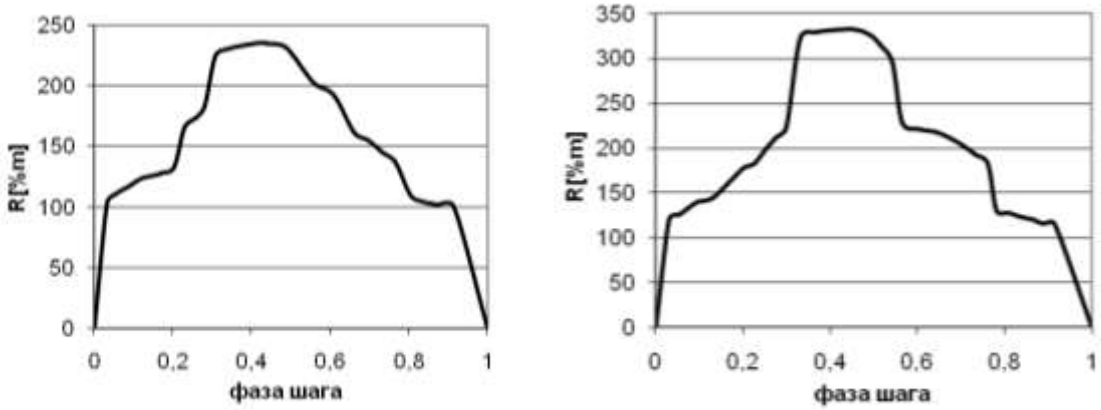


Рис. 2. Угол наклона таза при движении.

Расчеты проводились для различных значений анатомических параметров (в диапазоне анатомически нормальных значений). Ниже, на рис.3а приведен график изменения величины усилия, отнесенного к общей массе, возникающего в суставе (сочленение головки бедренной кости и вертлужной впадины) при движении. По оси ординат отложена величина усилия, по оси абсцисс – фаза шага (0 – начало движения, 1 – окончание). Полученные усилия не противоречат опубликованным результатам осредненных усилий, возникающим в суставе.

Проводились аналогичные расчеты для движений, но со смещенным суставом, когда бедренные кости расположены не симметрично относительно ТБС. Результаты этих расчетов приведены на рис.3б. Такая анатомическая ситуация возможна при патологии или при некорректной установке эндопротеза.



а б

Рис. 3. График усилий в ТБС.

Приведены значения полного значения усилия и его вертикальной составляющей, вклад остальных составляющих мал. Максимальные усилия в суставе приходятся на одноопорную фазу ходьбы (2,5 массы для нормального состояния ТБС и 3,5-5 масс для не симметрично расположенных конечностей).

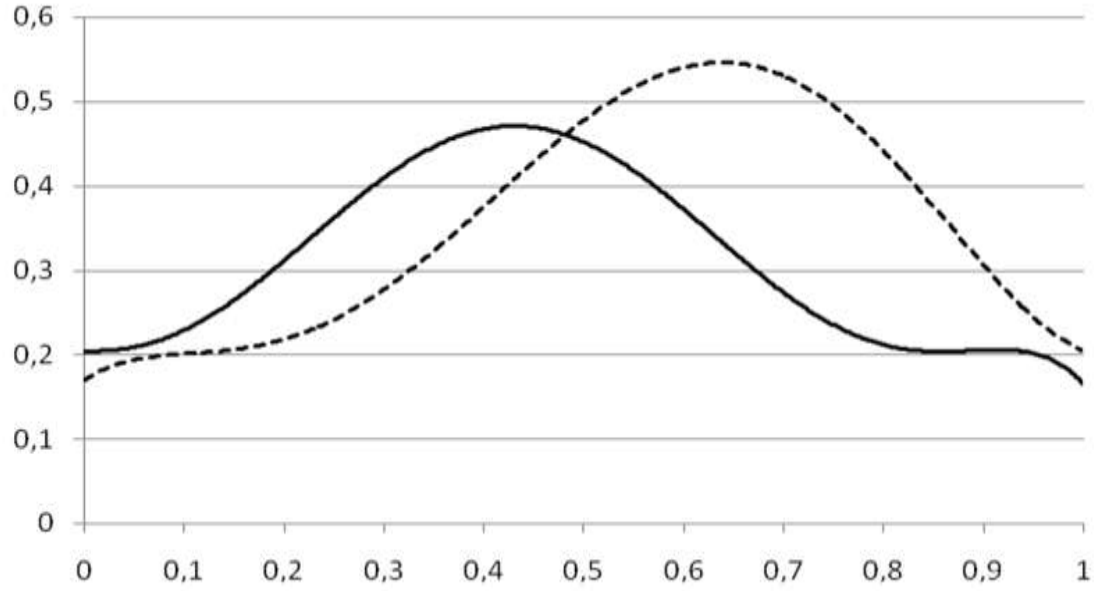


Рис. 4 Усилие, возникающее в мышцах.

Было отмечено влияние асимметрии на усилия, возникающие в ТБС, что может повлечь деформацию головки бедренной кости, вертлужной впадины, а в последующем и, возможно, некроз ткани.

Проводились расчеты по определению усилий, возникающих в мышцах, подкрепляющих ТБС. На рис.4 приведен график (сплошная линия) усилий, возникающих в прямой мышце бедра (сгибатель) при движении. На рис. 4 приведен график (пунктирная линия) усилий возникающих в большой приводящей мышце бедра (разгибатель) при движении.

Полученные результаты по нахождению усилий необходимы для формулирования задачи по определению напряженно-деформируемого состояния, так как именно эта система

сил (усилия, передающиеся с мышц на места крепления этих мышц к костям сустава) формируют рабочее состояние костей таза.

Список литературы:

1. *Закиров Р.Х., Зарипов Р.А., Митряйкин В.И., Саченков О.А.* Применение рентгеновской компьютерной томографии и математического моделирования при эндопротезировании тазобедренного сустава. Человек в экстремальных условиях: человеческий фактор и профессиональное здоровье: Материалы VI международного научно-практического конгресса Ассоциации авиационно-космической, морской, экстремальной и экологической медицины России. - М.: Изд-во НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН: 2008. с.147-148
2. *Лесгафт П. Ф*. Архитектура таза. Избранные труды по анатомии.- М.: Медицина, 1968.
3. *Лесгафт П. Ф.* Теория простых суставов. Избранные труды по анатомии. – М.: Медицина, 1968.
4. *L.B.W. Vogt, K. Pfeifer and R. Galm*, Muscle activation pattern of hip arthroplasty patients in walking, Res Sports Med 12 (2005), pp. 191–199.

01.04.00

Г. О. Мареев[1], А. В. Скрипаль[2], Д. А. Усанов[3]

Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздравсоцразвития РФ
[1]кафедра оториноларингологии
Россия, г. Саратов
jey_trasher@mail.ru, usanovda@sgu.ru

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
[2]кафедра медицинской физики, [3]кафедра физики твердого тела

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОДИННОГО ЭФФЕКТА В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРАХ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НАНОСМЕЩЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В работе представлены основные возможности использования автодинного эффекта, возникающего в полупроводниковых лазерах, для измерения наносмещений биологических объектов. Проведены измерения смещения барабанной перепонки человека in vivo (50 отологически здоровых лиц).

Ключевые слова: автодинный эффект, полупроводниковый лазер, барабанная перепонка.

Использование эффекта автодинного детектирования в полупроводниковых лазерах и СВЧ-генераторах для создания на их основе простых измерительных датчиков с высокой чувствительностью к отраженному сигналу представляется весьма привлекательным. Измерительные системы на основе автодинов обладают высокой точностью, компактны и надежны, они позволяют проводить измерения в широком диапазоне величин, включая нанометровые измерения.

Для автодинной системы ближайшим аналогом является интерференционная система, но в отличие от нее в автодине опорное и измерительное плечо являются совмещенными, что устраняет необходимость применения делителей излучения, приводя к уменьшению потерь в «полезном сигнале» и уменьшая требования к мощности используемого излучателя. В отличие от гетеродинных систем с двумя излучателями используется гомодинная конфигурация, в которой генератор лазерного излучения выступает в качестве источника и приемника одновременно, вследствие этого нет необходимости контроля обеспечения равенства рабочих частот, как в гетеродинной системе.

Автодинный эффект основан на изменении режима работы лазерного диода при возвращении части излучения в его резонатор. Данная система обладает высокой чувствительностью к отраженному сигналу. Упрощенно автодинную систему можно рассматривать как составной резонатор Кобаяши-Ленга [7], состоящий из двух резонаторов Фабри-Перо.

Для изучения динамического состояния биологических объектов могут быть использованы методы автодинного детектирования в полупроводниковых лазерах, что описано в литературе. Так, в работах [1, 6] приведены результаты исследований возможности использования методов интерферометрии в измерениях биовибраций и в задачах кардиодиагностики. В работах [8, 10] исследован механизм формирования выходного сигнала спекл-интерферометра для анализа вибраций поверхности кожи и биотканей. Результаты теоретического исследования зависимости структуры фазовых портретов выходного сигнала спекл-интерферометра биовибраций поверхности кожи от

тяжести сердечно-сосудистых заболеваний описаны в [3]. Исследование биений сердца дафнии, проведенное при помощи лазерной автодинной установки, продемонстрировано в [5].

Измерение смещения барабанной перепонки – сложная и по сей день однозначно не решенная задача, находящаяся на стыке оториноларингологии, физиологии и биомеханики. Первые опыты с применением электромеханических методик измерения с последующей аппроксимацией на область малых значений [2] не выдерживают критики. Методы с использованием интерферометра громоздки [9] не могут быть использованы в клинической практике и для измерений in vivo.

В основу спектральных лазерных гомодинных методов для измерения амплитуды синусоидальных колебаний ξ может быть положена, в частности, прямо пропорциональная зависимость, связывающая амплитуды спектральных составляющих выходного сигнала детектора с функциями Бесселя соответствующих порядков $J_n(\frac{4\pi}{\lambda}\xi)$. Благодаря указанной зависимости можно использовать закономерности, присущие функциям Бесселя, для обработки интерференционного сигнала.

Одним из возникающих затруднений при контроле вибрационных характеристик барабанной перепонки по спектру сигнала полупроводникового лазерного диода, работающего в автодином режиме, является малая амплитуда колебаний барабанной перепонки на частотах воздействия, отстоящих от резонансных, при умеренных уровнях воздействия. Это связано с тем, что количество гармоник основной частоты в спектре автодинного сигнала пропорционально амплитуде колебаний внешнего отражателя. С увеличением амплитуды колебаний отражателя спектр автодинного сигнала обогащается гармониками основной частоты. Для определения амплитуды колебаний барабанной перепонки на частотах воздействия, отстоящих от резонансных, необходимо использовать метод, обладающий максимальной чувствительностью

Нами был использован метод определения амплитуды вибраций объекта по спектру автодинного сигнала полупроводникового лазера с использованием двух соседних гармоник, применение которого не предполагает знания стационарного набега фазы автодинного сигнала.

Переменная составляющая автодинного сигнала, при уровне внешней оптической обратной связи, значительно меньшем единицы, записывается в виде [4]:

$$P_A(t) = A\cos(\theta + f(t)), \qquad (1)$$

где $f(t) = \sigma\sin(\omega t + \varepsilon)$ — функция, характеризующая продольные колебательные движения объекта, $\sigma = \frac{4\pi}{\lambda}\xi$, θ — набег фазы автодинного сигнала, λ – длина волны лазерного излучения, ξ и Ω — амплитуда и циклическая частота колебаний внешнего отражателя лазерного излучения, ε — начальная фаза, A – амплитудный коэффициент, зависящий от передаточной характеристики регистрирующей аппаратуры.

Соотношение для автодинного сигнала (1) можно представить в виде разложения в ряд по функциям Бесселя

$$P_A(t) = A\{\ \cos\theta J_0(\sigma) + 2\cos\theta\sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(\sigma)\cos\left[2n(\Omega t + \varepsilon)\right] - \\ - 2\sin\theta\sum_{n=1}^{\infty} J_{2n-1}(\sigma)\cos\left[(2n-1)(\Omega t + \varepsilon)\right]\ \}, \qquad (2)$$

где J_n – функция Бесселя порядка n, n – номер гармоники спектральной составляющей автодинного сигнала. Такое спектральное представление автодинного сигнала

может быть использовано при решении обратной задачи – определения амплитуды колебаний по автодинному сигналу.

Представим функцию $P_A(t)$ в виде разложения в ряд Фурье

$$P_A(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}\{a_n \cos n\Omega t - b_n \sin n\Omega t\}, \qquad (3)$$

где a_n и b_n — коэффициенты разложения в ряд Фурье. Сопоставив (2) и (3), можно ввести коэффициенты c_n следующим образом:

$$c_{2n} = 2AJ_{2n}(\sigma)\cos\theta = \begin{cases} a_{2n}/\cos(2n\varepsilon), |a_{2n}| > |b_{2n}|, \\ b_{2n}/\sin(2n\varepsilon), |a_{2n}| < |b_{2n}|, \end{cases} \qquad (4)$$

для четных номеров ($2n$) и

$$c_{2n-1} = 2AJ_{2n-1}(\sigma)\sin\theta = \begin{cases} -a_{2n-1}/\sin((2n-1)\varepsilon), |a_{2n-1}| > |b_{2n-1}|, \\ b_{2n-1}/\cos((2n-1)\varepsilon), |a_{2n-1}| < |b_{2n-1}|, \end{cases} \qquad (5)$$

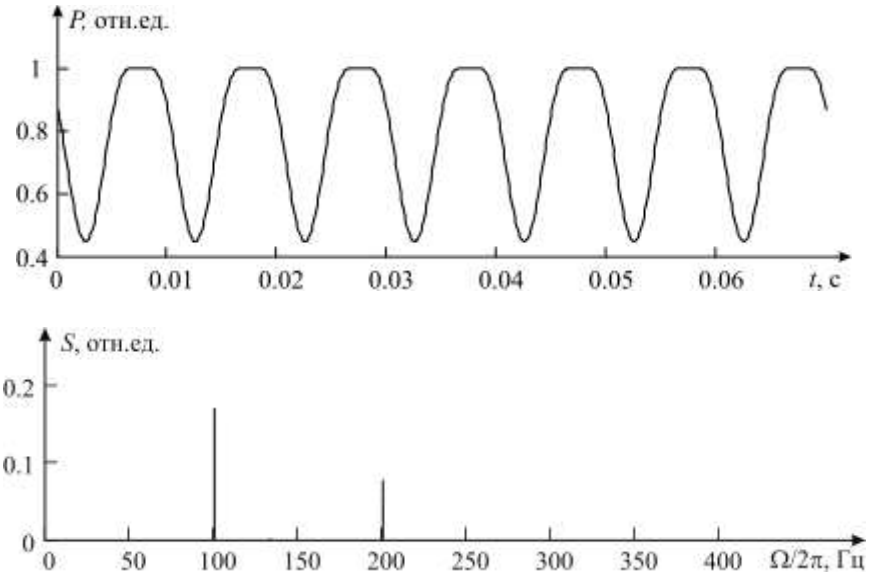
для нечетных номеров ($2n-1$). Значение ε находится из уравнений:

$$\varepsilon = \frac{1}{2n} arctg(b_{2n}/a_{2n}) \qquad (6)$$

при использовании коэффициентов a_n и b_n с четными номерами и из уравнения:

$$\varepsilon = \frac{1}{2n-1} arctg(-a_{2n-1}/b_{2n-1}), \qquad (7)$$

при использовании коэффициентов a_n и b_n с нечетными номерами. Коэффициенты c_{2n} и c_{2n-1} пропорциональны четным и нечетным спектральным составляющим сигнала, соответственно.



а

б

Рис. 1 - Автодинный сигнал при нанометровых колебаниях объекта (а) и его спектр (б).

На рис. 1а приведен вид рассчитанной с использованием соотношения (1) нормированной переменной составляющей автодинного сигнала, а на рис. 1 б –

соответствующий спектр автодинного сигнала. В спектре автодинного сигнала присутствуют только две спектральные составляющие, что не позволяет использовать для определения амплитуды колебаний объекта методы, основанные на измерении отношения первой и третьей гармоник или четных и нечетных гармоник. Рассмотрим две первые гармоники спектрального ряда автодинного сигнала:

$$c_1 = 2AJ_1(\sigma)\sin\theta, \quad c_2 = 2AJ_2(\sigma)\cos\theta. \tag{8}$$

Использовав известное соотношение:

$$\cos^2\theta + \sin^2\theta = 1, \tag{9}$$

можно получить уравнение относительно двух неизвестных ξ и A

$$\frac{c_1^2}{J_1^2(\frac{4\pi}{\lambda}\xi)} + \frac{c_2^2}{J_2^2(\frac{4\pi}{\lambda}\xi)} = 4A. \tag{10}$$

Амплитудный множитель A можно исключить, выполнив нормировку автодинного сигнала, используя соотношение:

$$P(t) = \frac{2P_A(t) - (A_{\max} + A_{\min})}{A_{\max} - A_{\min}}, \tag{11}$$

где $A_{\max}$ и $A_{\min}$ – максимальное и минимальное значение переменной составляющей автодинного сигнала. В этом случае выражение для нормированного автодинного сигнала может быть записано в виде

$$P(t) = \cos(\theta + f(t)), \tag{12}$$

т.е. амплитудный множитель A становится равным единице, и уравнение для определения амплитуды колебаний объекта ξ принимает вид:

$$\frac{c_1^2}{4J_1^2(\frac{4\pi}{\lambda}\xi)} + \frac{c_2^2}{4J_2^2(\frac{4\pi}{\lambda}\xi)} = 1, \tag{13}$$

где c_1 и c_2 – гармоники спектрального ряда переменной нормированной составляющей автодинного сигнала.

Для измерения амплитуды колебаний барабанной перепонки человека экспериментальная установка для измерения нановибраций лазерным автодинным методом должна быть модифицирована таким образом, чтобы отвечать условиям проведения экспериментов in-vivo и in-vitro. Установка должна быть жестко сопряжена с объектом исследования для исключения посторонний вибраций – с этой целью нами были использованы различные устройство крепления автодинного измерителя на голову обследуемого и на операционный микроскоп.

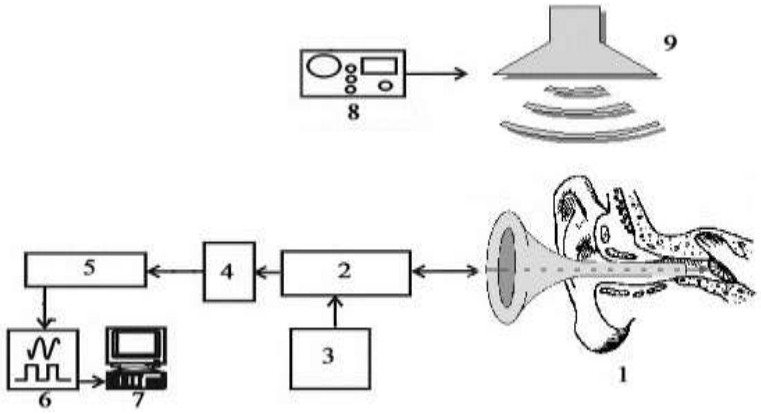


Рис. 2 - Схема лазерного автодинного измерителя колебаний барабанной перепонки.

Принципиальная схема лазерной автодинной системы для измерения наносмещений барабанной перепонки приведена на рис. 2. В состав измерительной автодинной системы входит лазерный диод RLD-650 5 на квантоворазмерных структурах с длиной волны излучения 652 нм. На барабанную перепонку 1 направляют когерентное излучение от лазерного диода 2, питаемого от источника тока 3. Отраженное от барабанной перепонки лазерное излучение регистрируется с помощью фотоприемника 4. Сигнал с фотоприемника поступает через широкополосный усилитель, содержащий фильтр переменного сигнала 5, на вход аналого-цифрового преобразователя 6 компьютера 7. Для возбуждения колебаний барабанной перепонки используется излучатель звуковых волн 9, работающий от генератора звуковых колебаний 8.

На рис. 3 приведена амплитудно-частотная характеристика барабанной перепонки у отологически здоровых лиц (50 человек, 100 ушей), измеренная при уровнях громкости в 75 и 85 дБ.

Как следует из приведенных на этом рисунке результатов, амплитуда колебаний барабанной перепонки лежит в интервале от 60 до 200-250 нм на различных частотах, с тенденцией к значительному снижению на высоких частотах.

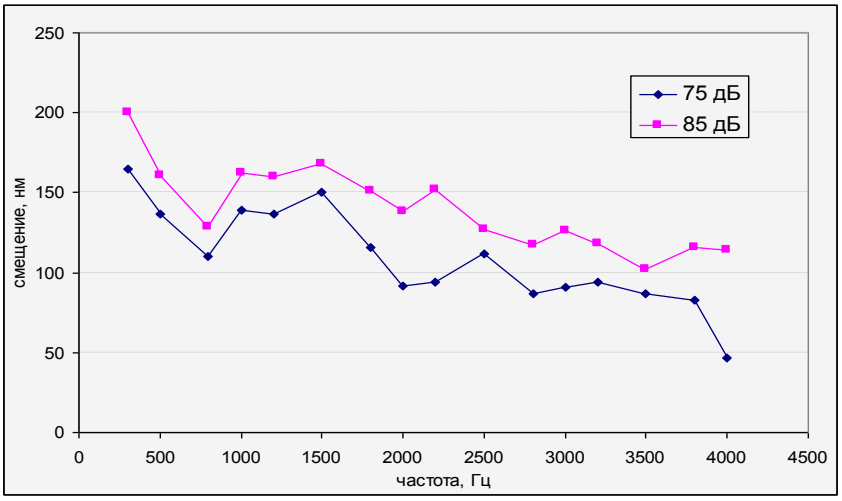


Рис. 3 - Средняя амплитудно-частотная вибрационная характеристика барабанной перепонки у здоровых лиц, измеренная при уровнях громкости в 75 и 85 дБ.

Таким образом, можно сделать вывод о возможности применения для измерения подвижности барабанной перепонки предлагаемого нами лазерного автодинного метода и необходимости его дальнейшего внедрения в широкую клиническую практику – при дифференциальной диагностике патологии слуха; как метода контроля при слухоулучшающих оперативных вмешательствах на среднем ухе; как объективного метода регистрации слуховой функции.

Список литературы:

1. *Браун У.* Лазерный интерферометр для измерения движения хрусталика глаза крысы in vitro под действием микроволнового излучения // Приборы для научн. исслед. 1983. N1. С.91-95.
2. *Кобрак Г. Г.* Среднее ухо: Пер. с англ. - М.: Медгиз, 1963. - 456 с.
3. *Ульянов С.С., Тучин В.В.* Получение фазовых портретов кардиовибраций человека с помощью спекл-интерферометрии// Изв. вузов ПНД. 1994. Т.2. N3-4. С.44-53.
4. *Усанов Д.А., Скрипаль А.В.* Измерение микро- и нановибраций и перемещений с использованием полупроводниковых лазерных автодинов// Квант. Электроника. 2011. 41 (1).С.86-94.
5. *Усанов Д.А., Скрипаль Ал.В., Вагарин А.Ю., Скрипаль Ан.В., Потапов В.В., Шмакова Т.Т., Мосияш С.С.* Лазерная автодинная интерферометрия динамических параметров биообъектов // Письма в ЖТФ. 1998. Т.24. Вып.5. С.39-43
6. *Fercher A.F., Hu H.Z., Steeger P.F., Briers J.D.* Eye deformation measurement by laser interferometry //Opt. Acta. 1982. Vol.29. N10. P.1401-1406.
7. *Lang R., Kobayashi K.* External optical feedback effects on semiconductor injection laser properties // IEEE J. Quantum Electron. 1980. Vol. 16, №1. P. 347.
8. *Pierattini G.* Real-time and double-exposure microholographic interferometry for observing the dynamical of phase variations in transparent specimens // Opt. Comm. 1972. Vol.5. N1. P.41.
9. *Tonndorf J., Khanna S.M.* Submicroscopic displacement amplitudes of the tympanic membrane (cat) measured by a laser interferometer // J. Acoust. Soc. Am. – 1968. – Vol.44. – pp.1546-1554.
10. *Ul'yanov S.S., Ryabukho V.P., Tuchin V.V.* Speckle interferometry for biotissue vibration measurement // Opt.Eng. 1994. Vol.33. N3. P.908-914.

01.02.04

Ф. Р. Шакирзянов

Казанский государственный архитектурно-строительный университет
строительный факультет, кафедра сопротивления материалов и ОТУ
Россия, г. Казань
faritbox@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ МЕТОДИК РАСЧЕТА СИСТЕМЫ “ТОНКОСТЕННАЯ КОНСТРУКЦИЯ-ГРУНТ” С УЧЕТОМ ВЫЕМКИ ГРУНТА И ПОЛЗУЧЕСТИ

Анализируются две методики определения предельной нагрузки и осадки системы “тонкостенная конструкция-грунт” от воздействия собственного веса системы и внешних нагрузок. В первой методике оценка запаса предельной нагрузки системы проводится на основе теории предельного равновесия, а осадка определяется по жеско-ползучей модели деформирования. Вторая методика расчета основана на модели упруго-вязко-пластического деформирования, в которой прослеживается процесс изменения напряженно-деформированного состояния системы с учетом деградации и экскавации грунта.

Ключевые слова: механика грунтов, ползучесть, пластичность, предельная нагрузка, метод конечных элементов.

Оценка осадки и предельной нагрузки системы “тонкостенная конструкция-грунт”, изменяющихся с течением времени из-за ползучести и деградации грунта (изменения сцепления C и угла внутреннего трения φ), имеет важное значение, т.к. эти явления приводят к значительному изменению НДС и снижению несущей способности системы.

В данной работе рассматривается решение этой проблемы применительно к задаче постепенной выемки грунта при рытье котлована рядом с соседними сооружениями, которое проводится двумя способами: по инженерной методике и по усложненной методике, учитывающей процесс нагружения и выемки. В первой методике предельная нагрузка определяется на основе теории предельного равновесия (жестко-пластическая модель) методом вариации упругих характеристик [1], а осадка – по жестко-ползучей модели деформирования. Вторая методика основана на упруго-вязко-пластической модели деформирования.

Прочность грунта оценивается по критерию Друккера-Прагера в виде

$$F = \alpha J_1 + \sqrt{J_2} - K = 0, \qquad (1)$$

где J_1, J_2 – первые и вторые инварианты напряжений, α и K – постоянные, зависящие от C и φ [2].

1. Рассмотрим теорию предельного равновесия и запишем условие текучести в виде:

$$(\{\sigma\} - \{s\})^T [A](\{\sigma\} - \{s\})/(\sigma_T)^2 = 1, \qquad (2)$$

где $\{s\}$ – вектор, определяемый координатами центра эллипсоида в пространстве напряжений, $[A]$ – симметрическая положительно определенная матрица, $\{\sigma\}$ – вектор напряжений, σ_T – прочностная характеристика.

В силу того, что упругие деформации $\{\varepsilon^e\}$ значительно меньше деформаций пластичности $\{\varepsilon^p\}$, в теории предельного равновесия ими пренебрегается. Тогда скорость пластических деформаций можно определить из ассоциированного закона течения [3]:

$$\{\dot{\varepsilon}^p\} = \dot{\lambda}\{\frac{\partial F}{\partial \sigma}\}. \quad (3)$$

В теории предельного равновесия статическая теорема может быть записана в виде

$$\iiint\limits_{\Omega} \{\sigma_-\}^T \{\xi^+\} d\Omega \le \iiint\limits_{\Omega} \{q^*\}^T \{\dot{u}^+\} d\Omega + \iint\limits_{S} \{P^*\}^T \{\dot{u}^+\} dS, \quad (4)$$

где $\{\sigma_-\}$ – статически допустимое поле напряжений; $\{q^*\}$, $\{P^*\}$ – компоненты объемных и поверхностных предельных нагрузок; $\{u^+\}$, $\{\xi^+\}$ – кинематически возможные поля скоростей перемещений и скоростей пластических деформаций.

Чтобы свести задачу к случаю равнопрочного материала, введем обозначение:

$$\{\tau_0\} = \frac{\{\sigma\} - \{s\}}{\theta}. \quad (5)$$

Согласно статической теореме, напряжения должны удовлетворять уравнениям равновесия и не выходить за пределы поверхности текучести. Если нагрузка меняется пропорционально некоторому коэффициенту θ, то нижняя граница коэффициента предельной нагрузки θ_- будет определяться соотношением

$$\theta_- = \frac{1}{\max\limits_x \sqrt{f(\{\tau_0\})}}. \quad (6)$$

Верхняя граница коэффициента предельной нагрузки θ_+ по кинематической теореме можно вычислить как отношение работы пластических деформаций к работе внешних сил:

$$\theta^+ = \frac{W}{U} = \frac{\int\limits_{\Omega} \{\sigma^+\}^T \{\varepsilon^+\} d\Omega - \int\limits_{\Omega} \{q_c\}^T \{u^+\} d\Omega - \int\limits_{S} \{P_c\}^T \{u^+\} dS}{\int\limits_{S} \{q_0\}^T \{u^+\} dS + \int\limits_{S} \{P_0\}^T \{u^+\} dS}. \quad (7)$$

При невырожденности матрицы [A] можно определить вектор напряжений на поверхности текучести:

$$\{\sigma_+\} = \frac{[A]^{-1}}{\sqrt{\{\xi\}^T [A]^{-1} \{\xi\}}} \{\xi\} + \{s\}, \quad (8)$$

где $\{\xi\}=\{d\varepsilon/d\theta\}$ – вектор скоростей деформаций. В этом случае задача отыскания коэффициента предельной нагрузки снизу и сверху сводится к системе нелинейных уравнений относительно перемещений.

В жестко-ползучей модели осадку можно определить из выражения

$$\{\dot{\varepsilon}^c\} = \frac{\sigma_0^{\alpha}}{\mu(1 + A_1 \varepsilon_o^c)} \{\delta\} + \frac{\sigma_i^{\beta}}{\eta(1 + A_2 \varepsilon_i^c)} [H]\{\sigma\}, \quad (9)$$

где σ_0 – среднее давление; σ_i – интенсивность напряжений; ε_0^c – средняя деформация ползучести; ε_i^c – интенсивность деформаций ползучести; A_1, A_2 – параметры упрочнения; μ, η – реологические коэффициенты; α, β –механические характеристики.

Тогда задача сводится к решению нелинейно-упругой задачи.

2. По теории упруго-вязко-пластического деформирования полная деформация определяется выражением:

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon^e\} + \{\varepsilon^p\} + \{\varepsilon^c\}, \tag{10}$$

где скорости пластических деформаций определяются из (3), скорости деформаций ползучести из (9), а упругие деформации из обобщенного закона Гука

$$\{\varepsilon^e\} = [D]^{-1}\{\sigma\}. \tag{11}$$

Деградация грунта учитывается аппроксимацией экспериментальных данных соотношениями

$$\varphi = \varphi_0 \frac{1+\varphi_1 \varepsilon_i^c}{1+\varphi_2 \varepsilon_i^c}, \quad C = C_0 \frac{1+C_1 \varepsilon_i^c}{1+C_2 \varepsilon_i^c}, \tag{12}$$

Таким образом, осадку можно определить интегрированием уравнения равновесия по методу Эйлера:

$$\begin{aligned} \iiint_{\Omega} \{\varepsilon_{k+1}\}^T [D_{ep}]\{\delta\varepsilon\} d\Omega = \iiint_{\Omega} \{q_k\}^T \{\delta u\} d\Omega + \iint_{S} \{P_k\}^T \{\delta u\} dS \\ + \iiint_{\Omega} \{\varepsilon_k^c\}^T [D_{ep}]\{\delta\varepsilon\} d\Omega, \end{aligned} \tag{13}$$

где $[D_{ep}]$ – упруго-пластическая матрица [4].

При этом считаем, что до момента достижения предельного состояния выполняется соотношение

$$\frac{\|\Delta u\|}{\|u\|} \le eps. \tag{14}$$

В качестве примера рассмотрена задача о выемке грунта из котлована (рис. 1), ограниченного подземными железобетонными стенками. Кроме собственного веса действуют распределенные нагрузки q от находящихся рядом зданий.

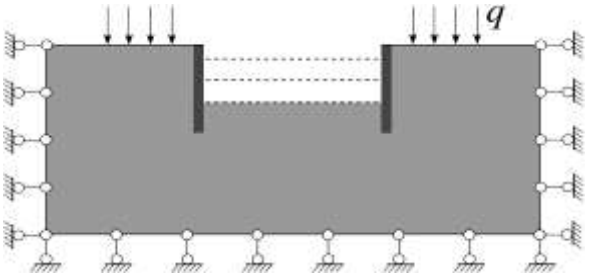


Рис. 1

Ниже представлены векторные поля перемещений на последнем этапе выемки грунта, полученные по первой (рис. 2) и второй теориям (рис. 3). Результаты расчетов показывают, что эти поля значительно отличаются друг от друга.

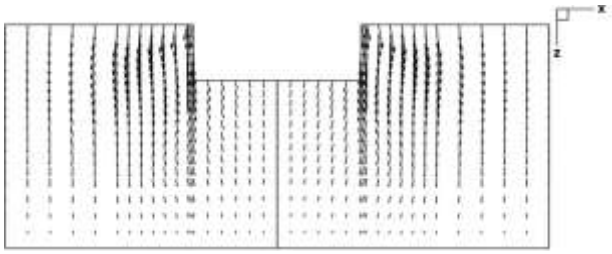


Рис. 2

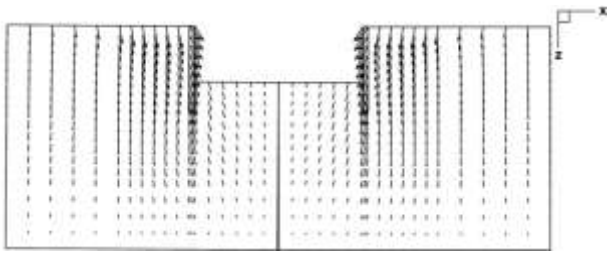


Рис. 3

Ниже в таблице представлены значения максимальных перемещений и напряжений, а также предельной нагрузки для обоих методик и проводится их сравнение.

Модели		Перемещение (м)	Напряжение ($Н/м^2$)	Предельная нагрузка ($Н/м^2$)
Инженерная модель	Теория предельного равновесия	-	6.014e+05	5.38e+05
	Жестко-ползучая модель	0.0217	7.596e+05	-
Упругая модель		0.4648	6.902e+05	-
Упруго-вязкая модель		0.4945	5.818e+05	-
Упруго-вязко-пластическая модель		0.5293	2.627e+05	6.933e+05

Анализ результатов расчета позволяет сделать следующие выводы.

1. Преимущество первой модели состоит в простоте и возможности быстрого получения результата. При этом для оценки предельной нагрузки нет необходимости изменять внешнюю нагрузку.

2. Преимущество второй модели заключается в том, что можно проследить за процессом изменения механических характеристик системы с течением времени, но приходится проводить пошаговое по времени решение задачи при разных значениях нагрузки.

Список литературы:

1. *Каюмов Р.А.* Об одном методе двусторонней оценки предельной нагрузки // Проблемы прочности. – 1992. – № 1. – С. 51-55.

2. *Drucker D.C., Prager W.* Soil mechanics and plastic analysis or limit design, Q. Appl. Math., 10, 157-165 (1952).

3. *Качанов Л.М.* Основы теории пластичности. – М.: Наука, 1969.

4. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975.

СЕКЦИЯ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.02

Н. А. Гавриленко к.х.н., Н. В. Саранчина к.х.н.

Томский государственный университет, химический факультет
Россия, г. Томск
saranchina@mail.tsu.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАЛЛАДИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИТИЗОНА, ИММОБИЛИЗОВАННОГО В ПОЛИМЕТАКРИЛАТНУЮ МАТРИЦУ

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 гг. и финансовой поддержке РФФИ-11-03-90737-моб_ст.

Обобщены результаты исследований по взаимодействию палладия (II) с дитизоном, иммобилизованным в полиметакрилатную матрицу. Разработана методика твердофазно-спектрофотометрического определения палладия. Диапазон определяемых содержаний палладия (II) составляет 0,1-1,0 мг/л.

Ключевые слова: палладий (II), полиметакрилатная матрица, иммобилизованный дитизон, твердофазная спектрофотометрия.

Низкое содержание палладия в природных и промышленных объектах приводит к тому, что многие имеющиеся методы непригодны для его прямого определения [1]. Кроме того, актуальной задачей является разработка простых, точных и быстрых методов определения палладия в различных промышленных образцах и продуктах их регенерации. Перспективными являются сорбционно-спектроскопические методы, позволяющие сочетать концентрирование и разделение элемента с его последующим определением [2].

Современная аналитическая химия располагает многочисленным разнообразием реагентов различных классов на палладий. Широкое применение для определения палладия находят реагенты, иммобилизованные на твердых носителях: ионообменных смолах [3, 4], триацетилцеллюлозной мембране [5], волокнистых материалах, наполненных ионообменниками [6, 7], силикагеле [8], бумаге [9].

Палладий образует наиболее устойчивые комплексы с реагентами, содержащими азот и серу [1]. К таким реагентам принадлежит дитизон.

В настоящей работе исследована возможность твердофазно-спектрофотометрического и визуально-тестового определения палладия с использованием иммобилизованного в прозрачную полиметакрилатную матрицу дитизона.

Экспериментальная часть

Полиметакрилатную матрицу в виде прозрачной пластины толщиной (0,60±0,04) мм получали радикальной блочной полимеризацией по методике, описанной в работе [10]. Из исходной пластины вырезали пластины размером 6,0×8,0 мм массой около 0,05 г.

0,002 М раствор дитизона готовили ежедневно растворением точной навески в 0,005 М растворе NaOH. В работе использовали ГСО палладия с концентрацией 1мг/мл. Рабочие растворы Pd(II) с меньшими концентрациями готовили разбавлением исходного раствора в день эксперимента. Все реактивы имели квалификацию х.ч. или ч.д.а. и использовались без дополнительной отчистки. Необходимое значение pH создавали растворами HNO_3, HCl, H_3PO_4 и NaOH и контролировали с помощью иономера И-160.

Иммобилизацию дитизона в полиметакрилатную матрицу проводили сорбцией из раствора в статическом режиме. Для этого 25 мл раствора реагента перемешивали с полиметакрилатной матрицей в течение 1 мин, при этом матрица окрашивалась в желто-оранжевый цвет вследствие того, что дитизон в матрице находится в енольной форме [11].

Взаимодействие палладия с дитизоном, иммобилизованным в полиметакрилатную матрицу, изучали в статических условиях. Для этого матрицу с иммобилизованным реагентом помещали в 50,0 мл раствора палладия (II) с различной концентрацией и значением pH, перемешивали в течение 15-60 мин и регистрировали спектры поглощения или измеряли оптическую плотность (*A*) в максимуме полосы поглощения комплекса Pd(II) с дитизоном в полиметакрилатной матрице.

Спектры поглощения и оптические плотности растворов и полиметакрилатной матрицы измеряли на спектрофотометрах Unico 2800 UV/VIS, Shimadzu UV mini – 1240 и Spekol 21. Оптические характеристики полиметакрилатной матрицы с иммобилизованным дитизоном после контакта с раствором палладия измеряли относительно немодифицированной полиметакрилатной матрицы.

Результаты и их обсуждение

При контакте полиметакрилатной матрицы, модифицированной дитизоном, с раствором палладия (II) с pH 2-6 ее окраска изменяется из оранжевой в коричневую, на спектре поглощения наблюдаются максимумы при длинах волн 450 и 650 нм, вследствие образования кето-комплекса дитизоната палладия с соотношением металл:дитизон 1:2 ($Pd(HDz)_2$) и максимум поглощения при длине волны 530 нм соответствующий образованию енольного комплекса дитизоната палладия с соотношением металл:дитизон 1:1 (PdDz). При контакте с более кислыми растворами палладия с pH 0-1 окраска изменяется с зеленой на коричнево-фиолетовую. На спектре поглощения также наблюдаются максимумы поглощения, отвечающие образованию смеси комплексов дитизонатов палладия, однако при контакте матрицы с кислыми растворами максимумы на спектре поглощения более выражены. При контакте матрицы с растворами палладия с pH 7-10 комплексообразование в матрице практически не наблюдается, матрица окрашивается в слабо коричневый цвет, на спектре поглощения наблюдается небольшое плато в области 530 нм и максимум при 430 нм соответствующий енольной форме дитизона в матрице (рис. 1).

Согласно литературным данным [12, 13], двузамещенный енольный дитизонат палладия окрашенный в коричнево-фиолетовый цвет, образующийся в щелочной среде, либо в среде минеральной кислоты с избытком Pd, не находит применения в спектрофотометрических методах анализа из-за его нерастворимости ни в воде, ни в обычных органических растворителях.

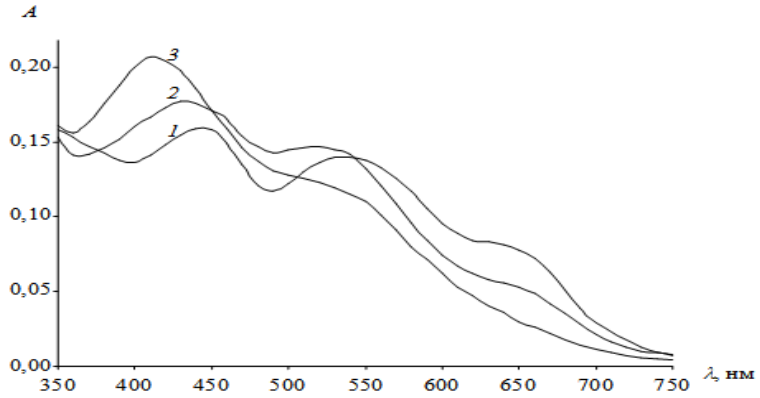


Рис. 1 – Спектры поглощения полиметакрилатной матрицы с иммобилизованным дитизоном после контакта с раствором палладия с различными значениями pH: *1* – 0, *2* – 3, *3* – 8 ($c_{Pd(II)}$=1 мг/л, V=50 мл).

Однако данная форма комплекса совместима с полиметакрилатной матрицей и не влияет на ее прозрачность, что позволяет проводить непосредственное измерение оптических характеристик матрицы после ее контакта с растворами палладия с высокой точностью. В качестве оптимальной области взаимодействия полиметакрилатной матрицы, модифицированной дитизоном, с раствором палладия выбрана область pH растворов 0-1.

На рис. 2 представлены спектры поглощения полиметакрилатной матрицы с иммобилизованным дитизоном после контакта с раствором палладия различной концентрации при pH 0. Наибольшие изменения в спектрах наблюдаются при длине волны 530 нм, поэтому оптическая плотность при данной длине волны была выбрана в качестве аналитического сигнала.

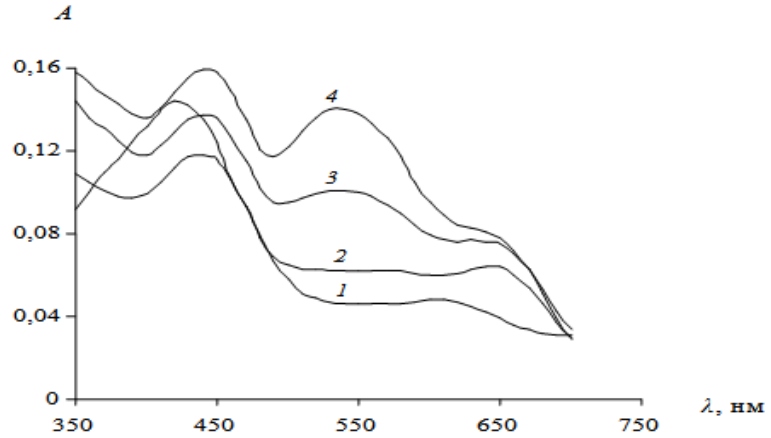


Рис. 2 – Спектры поглощения полиметакрилатной матрицы с иммобилизованным дитизоном после контакта с раствором палладия (II) $c_{Pd(II)}$, мг/л: *1* – 0; *2* – 0,25; *3* – 0,50; *4* – 1,0.

Оптическая плотность полиметакрилатной матрицы при взаимодействии палладия с иммобилизованным дитизоном зависит от природы кислоты. Полиметакрилатная матрица при контакте с анализируемым раствором в среде H_2SO_4, теряет свои оптические свойства, поэтому ее не исследовали. Взаимодействие полиметакрилатной матрицы, модифицированной дитизоном, с раствором палладия в среде HCl, H_3PO_4, HNO_3 показало, что оптическая плотность максимальна в среде HCl, которую использовали в дальнейшей работе. Исследование влияния добавки HCl на оптическую плотность полиметакрилатной матрицы после ее контакта с раствором палладия показала, что оптическая плотность максимальна в среде 2М HCl.

Продолжительность контакта полиметакрилатной матрицы с раствором палладия влияет на линейность градуировочной зависимости аналитического сигнала от концентрации палладия в растворе и коэффициент чувствительности этой зависимости. Изучено время контакта матрицы с растворами палладия в диапазоне концентраций 0-1,0 мг/л в течение 15, 30 и 45 мин. Градуировочные зависимости, полученные в данных условиях линейны. Коэффициент чувствительности выше у зависимости, полученной при времени контакта матрицы с растворами палладия в течение 30 мин. Данное время контакта выбрано в качестве оптимального.

На основании проведенных исследований предложен твердофазно-спектрофотометричекий метод определения палладия с использованием дитизона, иммобилизованного в полиметакрилатную матрицу.

Методика определения. В 50 мл анализируемого раствора с содержанием палладия 0,005-0,05 мг с pH~0 (HCl, контроль pH-метром) помещали пластинку полиметакрилатной матрицы с иммобилизованным дитизоном и перемешивали в течение 30 мин, затем

вынимали, подсушивали фильтровальной бумагой и измеряли поглощение при 530 нм. Содержание палладия находили по градуировочной зависимости (рис. 3), построенной в аналогичных условиях. Уравнение градуировочной зависимости имеет вид: A_{530}=0,06 + 0,11·c_{Pd} (r=0,9942), где c_{Pd} – концентрация палладия (II), мг/л. Диапазон определяемых содержаний составляет 0,1 – 1,0 мг/л.

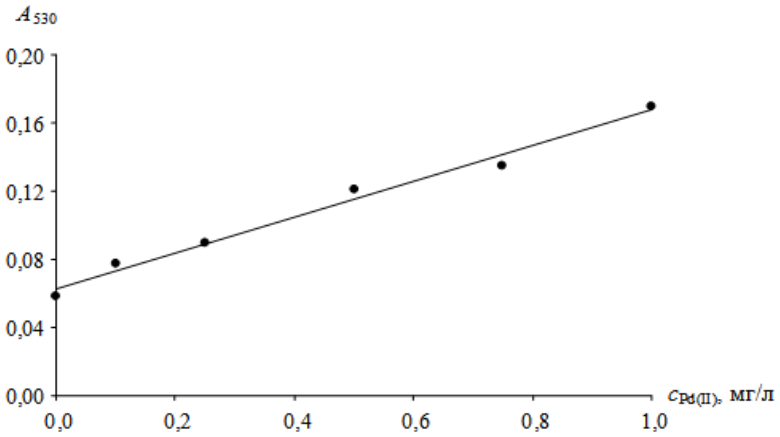


Рис. 3 – Зависимость величины оптической плотности полиметакрилатной матрицы с иммобилизованным дитизоном от концентрации палладия (II) в растворе.

Правильность разработанной методики оценивали по результатам определения палладия в стандартном образце и добавок палладия в пробе питьевой воды. Полученные результаты (см. таблицу) свидетельствуют о правильности и повторяемости предлагаемого способа определения палладия (II).

Таблица – Результаты определения палладия (II) в стандартном образце и питьевой воде (n =5; P=0,95)

Объект	Концентрация, мг/л	Найдено, мг/л	s_r
Стандартный образец	0,20	(0,21 ± 0,04)	0,15
	0,40	(0,43 ± 0,05)	0,09
Вода водопроводная	Добавка, мг/л		
	0	<0,03	-
	0,30	(0,31 ± 0,05)	0,12

Используя полиметакрилатную матрицу с иммобилизованным дитизоном возможно визуальное полуколичественное определение палладия. Тест-определение выполняли аналогично методике твердофазно-спектрофотометрического определения. После контакта матриц с растворами палладия (II) проводили сравнение их окраски с цветовой шкалой (рис. 4). Цветовые шкалы сравнения получали путем сканирования образцов полученных при построении градуировочной зависимости.

Рис. 4 – Цветовая шкала для визуально-тестового определения палладия.

Таким образом, проведенное исследование показало возможность использования полиметакрилатной матрицы с иммобилизованным дитизоном для твердофазно-спектрофотометрического и визуально-тестового определения палладия (II).

Список литературы:

1. *Гинзбург С.И., Езерская Н.А., Прокофьева И.В. и др.* Аналитическая химия платиновых металлов. М.: Наука, 1972. 613с.
2. *Гурьева Р.Ф., Савин С.Б* // Журн. аналит. химии. – 2002. – Т. 57. – № 11. – С. 1158–1175.
3. *Bilba D., Padurari C., Tofan L.* // Mikrochim. Acta. – 2004. – V. 144. – P. 97–101.
4. *Vasic V., Savic J., Vukelic N.* // J. Serb. Chem. Soc. – 2004. – V. 69. – № 4. – P. 309–317.
5. *Tavallali H., Jahromi M.* // J. Serb. Chem. Soc. – 2009. – V. 74. – № 3. – P. 311–315.
6. *Швоева О.П., Трутнева Л.М., Лихонина Е.А., Саввин С.Б.* // Журн. аналит. химии. – 1991. – Т. 46. – № 3. – С. 1301–1306.
7. *Дедкова В.П., Швоева О.П., Саввин С.Б.* // Журн. аналит. химии. – 2005. – Т. 60. – № 1. – С. 85–90.
8. *Иванов В.М., Кузнецова О.В., Гринева О.В.* // Журн. аналит. химии. – 1999. – Т. 54. – № 3. – С. 263–267.
9. *Гордеева В.П., Кочелаева Г.А., Цизин Г.И., Иванов В.М., Золотов Ю.А.* // Журн. аналит. химии. – 2002. – Т. 57. – № 8. – С. 820–826.
10. Индикаторный чувствительный материал для определения микроколичеств веществ. Пат. 2272284 (РФ), 2004.
11. *Саранчина Н.В.* Аналитические свойства дитизона и диэтилдитиокарбамината, иммобилизованных в полиметакрилатную матрицу: дис. канд. хим. наук. – Томск, 2008. – 138 с.
12. *Иванчев Г.* Дитизон и его применение — М.: Изд-во иностр. лит-ры. 1961, — 450 с.
13. *Сендел Е.* Колориметрические определения следов металлов — М.: Мир, 1964, — 902 с.

02.00.06

И. В. Голиков, Д. И. Донская д.х.н., А. А. Ильин к.х.н., Е. А. Индейкин д.х.н., В. Г. Курбатов

Ярославский государственный технический университет
кафедра химической технологии органических покрытий
Россия, г. Ярославль
kurbatovvg@list.ru

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЭПОКСИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛА

Изучено влияние аминного отвердителя модифицированного полианилином (ПАНи) на противокоррозионные свойства эпоксидных покрытий в различных коррозионно-активных средах. Показано, что добавка ПАНи в эпоксидные покрытия позволяет повысить противокоррозионные свойства. Установлено, что защитное действие эпоксидных покрытий модифицированных ПАНи сильно зависит от используемой коррозионно-активной среды.

Ключевые слова: эпоксидные покрытия, полианилин, противокоррозионные свойства, спектроскопия электрохимического импеданса.

Для получения покрытий с высоким уровнем защитных свойств в настоящее время широко используют композиции на основе эпоксидных олигомеров (ЭО). Для усиления противокоррозионных свойств в них дополнительно вводят противокоррозионные пигменты и наполнители [1], которые, как правило, экологически опасны, имеют высокую стоимость и требуют высокой степени наполнения. Актуальной задачей является поиск новых путей усиления противокоррозионных свойств органических покрытий. Один из них – создание и исследование проводящих полимеров, ингибирующих коррозию многих металлов, в том числе и железа [2-6].

Цель работы – изучение влияния содержания ПАНи на защитные свойства эпоксидных покрытий в различных коррозионно-активных средах.

В работе использовали ЭО с эпоксидным эквивалентом 205 г/экв. В качестве сшивающего агента выступал алифатический аминный отвердитель (АО). В работе были получены образцы аминных отвердителей, модифицированные различным количеством ПАНи. Содержание ПАНи в готовой к нанесению композиции варьировалось от 0 до 0,76 масс. %. Композиции наносили на стальные пластины методом налива и отверждали в сушильном шкафу при температуре 60 ^{0}C.

Оценка противокоррозионных свойств проводилась потенциодинамическим методом и спектроскопией электрохимического импеданса и визуальным методом [7]. В качестве противокоррозионной среды при противокоррозионных испытаниях использовались 3%-ые водные растворы NaCl, H_2SO_4 и бидистиллированная вода.

По результатам, полученным после обработки поляризационных кривых стали, покрытой эпоксидными покрытиями с различным содержанием ПАНи, были найдены токи коррозии. Зависимости тока коррозии от времени выдержки в коррозионно-активных средах представлены в табл. 1.

Видно, что с увеличением времени экспозиции ток коррозии в немодифицированном покрытии возрастает гораздо быстрее, чем в покрытиях содержащих ПАНи (табл. 1). Это связано со способностью ПАНи катализировать окисление металла.

По результатам испытаний в 3%-ом растворе H_2SO_4 можно заметить, что введение добавки ПАНи в эпоксидные покрытия позволяет уменьшить ток коррозии. Также, покрытия

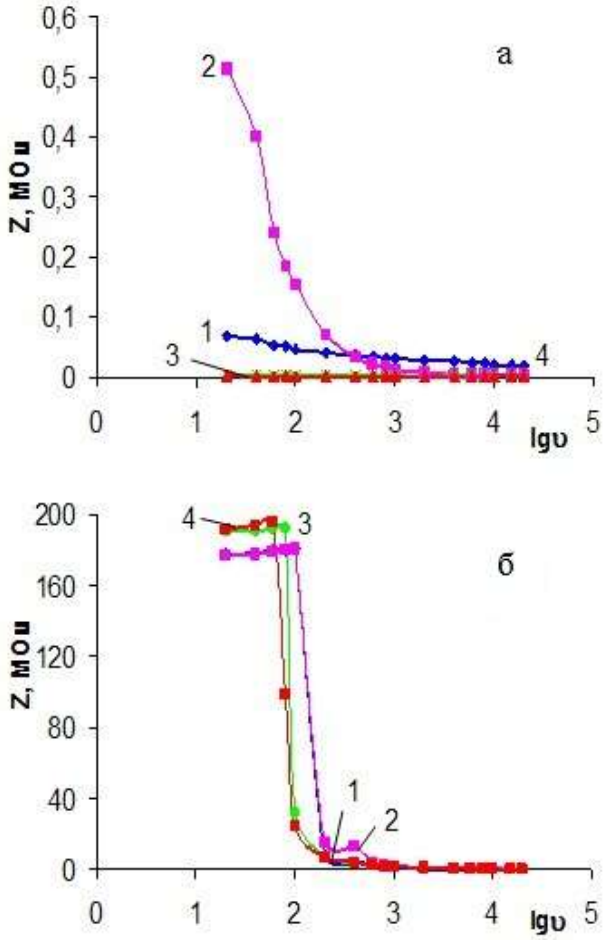
модифицированные ПАНи меньше подвержены отслаиванию и образованию вздутий, чем немодифицированные для которых это наблюдается на 20 сутки экспозиции.

Таблица 1 – Изменение тока коррозии стальных образцов покрытых модифицированными эпоксидными покрытиями

Содержание ПАНи, % масс.	Ток коррозии, мкА					
	1 ч	1 сутки	3 сутки	8 сутки	15 сутки	35 сутки
3%-ый раствор NaCl						
Без ПАНи	0.87	0.79	1.00	1.62	1.86	2.34
0.19	0.71	0.69	0.83	0.76	0.93	0.85
0.38	0.63	0.72	0.69	0.44	0.81	0.90
0.57	0.66	0.69	0.72	0.65	1.31	1.07
0.76	0.66	0.68	0.71	0.59	0.95	1.00
3%-ый раствор H_2SO_4						
Без ПАНи	3.37	4.37	8.91	14.13	17.78	Наблюдается отслоение
0.19	4.19	5.62	7.24	9.77	11.22	11.75
0.38	1.58	2.00	10.47	10.72	15.85	16.59
0.57	3.49	5.01	6.92	13.8	17.78	18.59
0.76	3.82	5.37	6.76	13.49	20.53	22.19

На рис. 1 представлены зависимости импеданса покрытий, содержащих различное количество ПАНи от времени выдержки в 3% растворе NaCl.

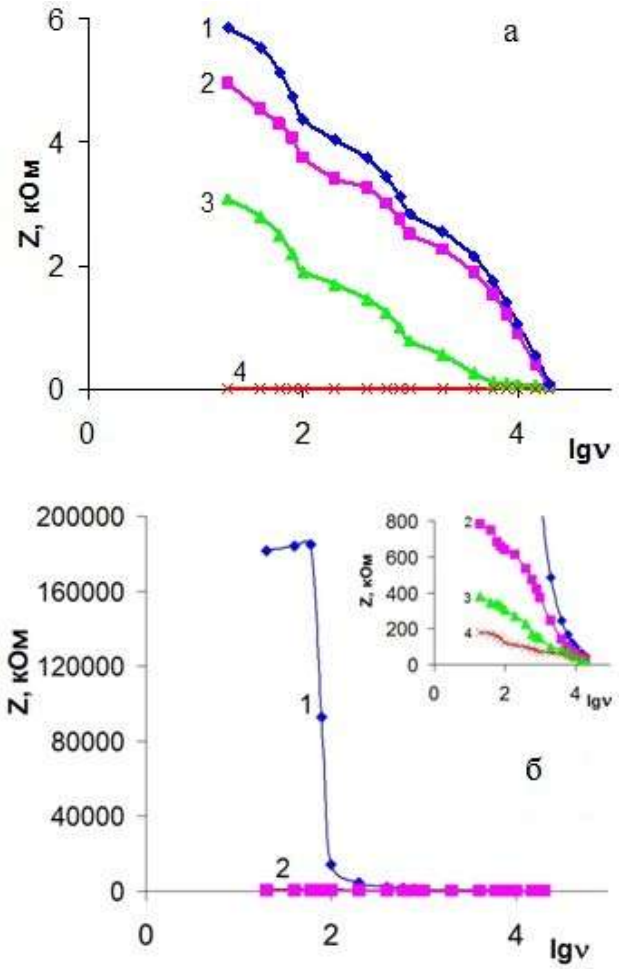
Видно, что значение импеданса эпоксидного покрытия, не содержащего ПАНи, снижается практически до нуля, на 25-е сутки экспозиции (рис. 1а). В то же время покрытия, содержащее ПАНи, обладает на три порядка более высоким значением импеданса (рис. 1б). Это, вероятно, связано с уменьшением проницаемости эпоксидного покрытия, содержащего ПАНи. Помимо этого, гидрофобность ПАНи осложняет проникновение электролита в объем пленки, что также приводит к увеличению значения импеданса.



1 – без выдержки; 2 – после суток экспозиции; 3 – после 25 суток экспозиции; 4 – после 150 суток экспозиции;

Рис. 1 – Изменение спектров электрохимического импеданса эпоксидных покрытий с различным содержанием ПАНи (а – 0% масс.; б – 0.38% масс.) в 3%-ом растворе NaCl.

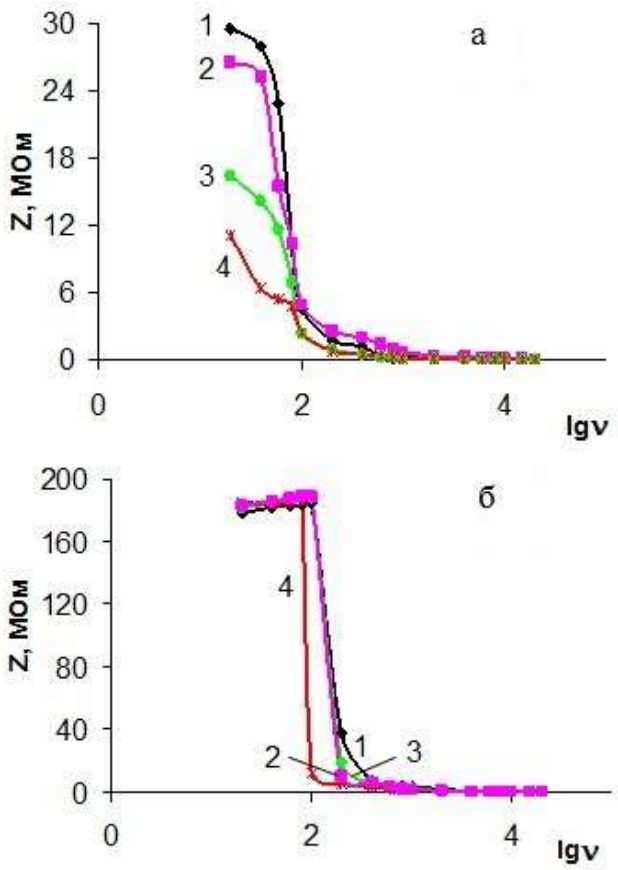
На рис. 2 представлены спектры электрохимического импеданса эпоксидных покрытий при испытании в 3%-ом растворе H_2SO_4. Видно, что ПАНи обладает противокоррозионными свойствами и при испытаниях в кислой среде, позволяя повысить защитные свойства покрытий, хотя в целом уровень импеданса покрытий низкий. Также как ранее было обнаружено при потенциодинамических испытаниях, потеря адгезии, а следовательно, и отслаивание немодифицированных покрытий происходит почти вдвое быстрее.



1 – без выдержки; 2 – после суток экспозиции; 3 – после 25 суток экспозиции; 4 – после 150 суток экспозиции;

Рис. 2 – Изменение спектров электрохимического импеданса эпоксидных покрытий с различным содержанием ПАНи (а – 0% масс.; б – 0.38% масс.) в 3%-ом растворе H_2SO_4.

На рис. 3 представлены спектры электрохимического импеданса эпоксидных покрытий при испытании в бидистиллированной воде. Видно, что при использовании в качестве коррозионно-активной среды бидистиллированной воды модифицированные ПАНи эпоксидные покрытия проявляют более хорошие защитные свойства, чем немодифицированные покрытия. Значение импеданса для немодифицированных покрытий за время испытания снижается вдвое, тогда как импеданс покрытий с ПАНи, а, следовательно, и их проницаемость остается на начальном уровне.



1 – без выдержки; 2 – после суток экспозиции; 3 – после 25 суток экспозиции; 4 – после 150 суток экспозиции;

Рис. 3 – Изменение спектров электрохимического импеданса эпоксидных покрытий с различным содержанием ПАНи (а – 0% масс.; б – 0.38% масс.) в бидистиллированной воде.

Таким образом, установлено, что эпоксидные покрытия модифицированные ПАНи позволяют повысить противокоррозионные свойства покрытий. Показано, что защитное действие эпоксидных покрытий модифицированных ПАНи сильно зависит от используемой коррозионно-активной среды.

Список литературы:

1. Ермилов П.И., Индейкин Е.А., Толмачев И.А. Пигменты и пигментированный лакокрасочные материалы. – Л.: ХИМИЯ, 1987. – 200 с.

2. Огурцов, Н. А., Шаповал, Г. С. Каталитическое действие полианилина в процессе ингибирования коррозии стали // Катализ и нефтехимия. – 2001. – № 9–10. – С. 5–12.

3. Kinlen P.J., Ding Y., Silverman D.C. Corrosion protection of mild steel using sulfonic and phosphonic acid-doped polyanilines // Corrosion. – 2002. Vol. 58, № 6. – P. 490 – 497.

4. Курбатов, В. Г., Ильин, А. А., Индейкин, Е. А. Противокоррозионные свойства полианилина, допированного различными кислотами // ЛКМ и их применение. – 2010. – № 8. – С. 34–36.

5. Курбатов, В.Г., Ильин, А.А., Индейкин, Е.А. Влияние добавки полианилина на противокоррозионные свойства эпоксидных покрытий // ЛКМ и их применение. – 2011. – № 8. – С. 47–49.

6. Vesely D., Kalendova A., Sapurina I., Stejskal J., Kalenda P. Corrosion-Inhibition Properties of organic coatings with a polyaniline phosphate // 8th International conference «Advances in coatings technology»: Conference papers. – Warsaw, 2008. – P. 601–610.

7. Карякина, М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий. – М.: Химия, 1998. – 272 с.

02.00.11

С. В. Дворяк, Г. В. Маврин к.х.н., И. А. Насыров, Д. Д. Фазуллин

Камская государственная инженерно-экономическая академия
кафедра химии и экологии
Россия, г. Набережные Челны
denr3@yandex.ru

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ФТОРОПЛАСТОВОГО СОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ СТОЧНЫХ ВОД РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ

Нефтесодержащие сточные воды представляют значительную токсикологическую опасность для водных экосистем и для человека. Исследование методов очистки сточных вод от растворенных и коллоидных органических загрязнений весьма актуальны. Проведены исследования фильтрационных свойств зерен фторопласта-4 по отношению к эмульгированным и неэмульгированным нефтепродуктам. Показан коалесцирующий эффект нефтяной эмульсии на поверхности зерен фторопласта. Определена эффективность предлагаемого метода очистки воды от нефтепродуктов.

Ключевые слова: фильтрация, коалесценция, адсобрция, нефтепродукты, смазочно-охлаждающие жидкости, фторопласт-4.

Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий машиностроительной промышленности является актуальной задачей. Основные виды маслосодержащих сточных вод это отработанные моющие растворы и отработанные смазочно-охлаждающие жидкости, которые представляют собой 3-10 %-ные растворы эмульсолов, содержащих индустриальное масло, агидол, этиленгликоль, щелочь, кальцинированную соду, нитрит натрия и другие вещества [2]. Отработанные смазочно-охлаждающие жидкости представляют собой опасные для окружающей среды агрессивные и токсичные продукты, включающие в себя биологически не разлагаемые компоненты [3].

Наиболее распространенные методы очистки сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов основаны на разрушении структуры эмульсии неорганическими кислотами с последующим отделением масляной фазы отстаиванием, флотацией, разделением в поле центробежных сил [9].

Для очистки нефтесодержащих сточных вод применяются, к примеру, бензомаслосепараторы Euro PEK фирмы «Лабко» (Финляндия) с коалесцентным модулем из плоскопараллельных пластин [8], маслобензоотделители ЮНИЛОС фирмы «СБМ-Групп» (Россия) с коалесцентным модулем из тонкослойных гофрированных ПВХ пластин [10] и другие установки.

В установке очистки высококонцентрированных нефтесодержащих вод, использующей методы седиментации и коалесценции, роль коалесцирующей загрузки выполняют зерна из полистирола фракции 2-5 мм [4].

Для интенсификации процесса очистки нефтесодержащих сточных вод в коалесцирующих насадках предложено к применению более 50 видов материалов: целлюлозные волокна, стружка нержавеющей стали, фарфор, клинкерный щебень, шлак, гранулированные полиэфирные смолы, полиуретан, гранулированный стирол, торф, вспененный полистирол и другие [1]. В работе [5] проведена разработка высокочувствительных проточных сорбционно-хроматографических методов определения

органических веществ полученных концентрированием из водных растворов на порошкообразных фторопластовых сорбентах.

Использование в качестве коалесцирующей насадки зерен из фторопластов, обладающих свойствами как водо- и масло отталкивающего материала, обуславливает его высокую эффективность в процессах очистки сточных вод от коллоидных и растворенных нефтепродуктов. Фторопласты стойки к химическому воздействию, обладают высокой гидрофобностью (угол смачивания 126°), очень слабой влаго- и газопроницаемостью. Уникальные свойства фторопласта-4 связаны с его химической природой и обусловлены особенностями молекулярного строения перфторалканов. Благодаря низкому поверхностному натяжению смачивания (характеристика, численно равная предельному поверхностному натяжению жидкости, полностью смачивающей поверхность твердого материала) фторопласт-4 значительно превосходит углеводородные полимеры как водо - и маслоотталкивающий материал [6].

В настоящей работе были исследованы фильтрационные свойства зерен фторопласта-4 по отношению к нефтепродуктам из сточных вод. Средний размер зерен, полученных из листового фторопласта-4, составляет 2-6 мм. Средняя площадь зерна составляет 0,42 $см^2$, а масса 0,011 г. Такой размер зерен позволяет разделять водонефтяные эмульсии с размерами капель 20–25 мкм и выше[7]. Чем выше дисперсность эмульсий, тем меньшие размеры гранул должна иметь коалесцирующая загрузка.

Адсорбция эмульгированных нефтепродуктов проводилась из смазочно-охлаждающих жидкостей, а свободных нефтепродуктов из модельной жидкости (масло + вода) на лабораторной установке. Установка представляет собой колбу объемом 500 мл, в которую установлена трубка с массой сорбента 8,7 г. Через сорбент пропускали определенный объем (200 мл) эмульсии. Гидрофобность фторопластовых зерен обуславливают высокую пропускную способность для воды, коалесценцию капель нефти и их задержание на поверхности загрузки.

Концентрация нефтепродуктов определялась с помощью анализатора содержания нефтепродуктов АН-2 методом инфракрасной спектрометрии. Результаты анализов представлены в таблице 1.

Количественный химический анализ показал, что фторопластовые зерна позволяют очищать нефтесодержащие воды от эмульгированных и свободных нефтепродуктов. При увеличении концентрации эмульгированных нефтепродуктов в растворе адсорбция нефтепродуктов фторопластом увеличивается, а степень очистки остается в прежнем уровне.

Таблица – Адсорбция нефтепродуктов фторопластом

Результаты адсорбции эмульгированных нефтепродуктов				
Очищаемая жидкость	Н/П в исходной жидкости, мг/л	Н/П после фильтрации, мг/л	Степень очистки, %	Адсорбция, мг/г
СОЖ содержащие стоки	51,2 ± 5,12	22,9 ± 5,49	55,3	0,65
СОЖ «Инкам-1»	171 ± 17,1	53,0 ± 5,30	68,9	2,62
СОЖ «Инкам-1» отработанная	243 ± 24,3	90,7 ± 9,07	62,7	3,55
СОЖ «Кампрол-3» разб. 5 раз	1655 ± 166	743 ± 74,3	55,1	20,9
СОЖ «Кампрол-3» разб. 3 раза	2706 ± 271	829 ± 82,9	69,3	41,3
Результаты адсорбции свободных нефтепродуктов				
Очищаемая жидкость	Н/П в исходной жидкости, г/л	Н/П после фильтрации, мг/л	Степень очистки, %	Адсорбция, г/г
1 % масло + 99 % вода	≈ 10	4,85 ± 1,16	99,9	0,23
5 % масло + 95 % вода	≈ 50	4,21 ± 1,01	99,9	1,15
10 % масло + 90 % вода	≈ 100	2572 ± 257	97,4	2,24
12 % масло + 88 % вода	≈ 120	26750 ± 2675	77,7	2,15
15 % масло + 85 % вода	≈ 150	56500 ± 5650	62,3	2,15

Свободные нефтепродукты адсорбируются на 99,9 %, адсорбционная емкость фторопластового сорбента равная 2,15 г нефтепродуктов на 1 г адсорбента. В процессе фильтрации жидкости наблюдается коалесценция, в виде окраски нефтью на поверхности фторопластовой загрузки.

Регенерация адсорбента производилась тетрахлорметаном. После многократной регенерации адсорбционные свойства сорбента сохраняются.

Список литературы:

1. *Адельшин, А. Б.,* Интенсификация процессов гидродинамической очистки нефтесодержащих сточных вод: дисс. докт. техн. наук – СПб., 1998. – С. 70 – 73.

2. *Евдокимов, А.Ю.* Экологические проблемы рационального использования отработанных смазочных материалов: автореферат дисс. докт. техн. наук. Москва, 1997. – С. 48 – 50.

3. *Михеев, Н.Н.* Водные ресурсы как база питьевого водоснабжения/ Н.Н. Михеев // Водоснабжение и сантехника. – 1998. – № 4. – С. 10-11.

4. *Назаров В.Д., Русакович А.А., Пустовалов М.Ф.* Устройство для очистки нефтесодержащих вод // Патент России № 2170706. 2001. №20

5. *Олиферова Л. А.,* Проточное сорбционно-хроматографическое определение гидрофобных соединений с использованием фторопластов для концентрирования: дисс. канд. хим. наук. – Москва. 2006. – С. 185.

6. *Седлухо Ю. П.*, «Коалесценция: явление и методы реализации в технологии очистки сточных вод» [Электронный ресурс]. http://www.aquapromspb.ru/index.php (дата обращения 17.11.11.).

7. *Штейнгарц В. Д.,* Фторуглероды: Соросовский образовательный журнал, 1999. – № 5. – С. 27– 32.

8. Нефтемаслоотделители EuroPEK®Roo PE NS3...10 [Электронный ресурс]. http://www.wavin-labko.fi/ru/produksia (дата обращения 10.11.11.).

9. Очистка сточных вод от минеральных масел и нефтепродуктов. Методы и сооружения. Эффективность и рамки применимости: круглый стол. Заседание второе / Вода и экология.-2003.-№ 3.-С. 33-46.

10. Маслобензоотделители из стеклопластика [Электронный ресурс]. http://www.sbm-group.ru/products/33 (дата обращения 14.01.12.).

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.13.18

Л. Х. Абдулхаликова

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОПАСТИ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

В статье исследуются механические свойства лопастей из стеклопластика в зависимости от температурного режима их изготовления и термонапряжений, возникающих в процессе полимеризации изделия.

Ключевые слова: стеклопластик, лопасть из стеклопластика, полимеризация, термонапряжения.

В данной работе производится исследование технологии процесса производства и механических свойств 3-х канальной лопасти к вертолету Ка-226. Актуальность исследований обусловлена большой практической значимостью — обеспечение качества выпускаемых изделий на требуемом уровне без изменения конструкции прессформы и технологического процесса. В общем виде свойства армированных пластиков зависят от природы, структуры и предыстории армирующего наполнителя, химической природы полимерной матрицы, соотношения содержания полимера и армирующего наполнителя, природы и содержания других компонентов, технологии изготовления и др. [3, 4,7].

Для лонжеронов исследуемых лопастей исходными материалами являются стеклоткань Т-25(ВМП)–78 и Т–25(ВМ)–78 и связующие 5-211-Б. Физико-механические свойства тканей должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.

Стеклоткань Т-25, соответствующая входным данным, направляется на пропитку связующим. В композицию, используемую для пропитки, помимо связующего, входят отвердитель, ускоритель отверждения, пигменты и другие добавки, регулирующие свойства смолы и, в конечном счете, будущего готового продукта – стеклопластика. Для стеклоткани Т-25 рабочая плотность связующего 1,017– 1,028 г/см^3 концентрация 62–64 %.

Таблица 1– Физико-механические свойства тканей.

Марка ткани	Ширина, см	Толщина, мм	Масса 1 $м^2$, г	Количество нитей на единицу длины, шт/м	Разрывная нагрузка, кс не менее	Содержание веществ, удаляемых при прокаливании, %
Т-25 (ВМП)-78	90^{+2}_{-1}	0,3+0,03	365±15	10±1	465	0,5—1,5
Т-25 (ВМ)-78	90^{+2}_{-1}	0,3+0,03	365±15	10±1	450	0,5—1,5

Пропитанная ткань поступает в сушильную шахту, затем на приемочный вал. Ориентировочная температура в шахте: I зона — 50±10°С, II зона — 70±10°С, III зона — 55±10°С. Рекомендованная скорость протяжки ткани при пропитке 0,8 – 2м/мин. Скорость протяжки устанавливается в данном интервале в зависимости от суммарного содержания связующего и летучих в пропитанной ткани, которые, в свою очередь, регулируются поворотом отжимных валов, понижением или повышением плотности связующего в пропиточной ванне в пределах допуска или скоростью протяжки ткани. Суммарное содержание связующего и летучих должно быть для ткани Т-25 (ВМ, ВМП) -78 — 35,5–39 %.

В результате пропитки стеклоткани связующим получают стеклопрег (препрег) — полуфабрикат для изготовления лопастей. Качество полуфабрикатов определяется содержанием связующего, содержанием летучих паров, содержанием растворимой части связующего: для пропитанной стеклоткани Т-25 (ВМ, ВМП)-78 соответственно 32–36%, 1–3% и не менее 97%. Далее рулон пропитанной стеклоткани хранится в холодильнике при температуре не выше +5°С не более 10 суток.

Свойства стеклопластика в значительной мере зависят не только от качества полуфабрикатов, но и от технологии производства изделия. Лопасть изготавливается путем горячего прессования в специальной прессформе из алюминиевого сплава, рабочая поверхность которой образует внешний контур лопасти. Прессформа оборудована нагревательным устройством, обеспечивающим нагрев до 165±10°С со скоростью 1,5–2 °С/мин. Контроль температуры режима прессования лопасти осуществляется термопарами, размещенными в теле прессформы равномерно по ее длине в 10–12 точках, причем расстояние от термопары до рабочей поверхности прессформы составляет 5–10 мм.

Во всех трех каналах лонжерона помещаются эластичные пресскамеры, в первых двух каналах размещаются разжимные устройства, фиксирующие размер камер по хорде. Давление прессования создается путем подачи сжатого азота в пресскамеры, а также разжимными устройствами: в I –II каналах до 7±0,5кгс/$см^2$, в III канале до 8±0,5кгс/$см^2$. Причем разность значений давлений в каналах лопасти должно быть не более 0,5кгс/$см^2$. В процессе прессования контакт азота с лопастью не допускается. В процессе опрессовки, прессования и охлаждения производится автоматическая запись температуры (по всем термопарам) и давления в пресскамерах.

Таблица 2– Требования к показателям качества лопастей из стеклопластика.

	Плотность, г/см^3	Содержание связующего	Прочность на растяжение δ, кгс/мм^2	Прочность на сдвиг τ, кгс/мм^2
Комлевая часть	1,7-1,8 и не более 1,85	Не менее 30	Не менее 50 сред. δ не менее 55	Не менее 5
Концевая часть	1,7-1,8 и не более 1,82	Не менее 27	Не менее 50 сред. δ не менее 55	Не менее 5

Для оценки качества изготовленной лопасти определяются следующие показатели образцов взятых из комлевой и концевой части: плотность, содержание связующего, прочность на сдвиг и прочность на растяжение (табл. 2). По результатам испытаний проб выносится решение о соответствии или несоответствии качества стеклопластика.

В работе [10] приведены результаты экспериментальных исследований композиционных материалов на растяжение, изгиб, сдвиг и кручение и выявлены зависимости параметров надежности от видов испытаний (таб. 3).

Таблица 3– Зависимости параметров надежности от видов испытаний стеклопластика.

Вид испытания	Интенсивность отказов, 10^6 час$^{-1}$	Вероятность безотказной работы, %
Растяжение	25	92,3
Межслоевой сдвиг	33	90,4
Ударная вязкость	40	88,7
Крутка	45,7	86,9

Результаты обработки данных по указанным параметрам показывают, что прочностные и упругие характеристики лопасти зависят от температурного режима их изготовления и выявлено, что оптимальная скорость нагрева и охлаждения 1,5–2 °С/мин. Однако при производстве лопастей наблюдаются отклонения температурного режима полимеризации. В [5] выделены зоны, в которых наиболее вероятны отклонения по температуре: 1 зона — переход к этапу предварительной выдержки, 2зона — этап нагревания до температуры полимеризации, 3 зона — переход к этапу выдержки при температуре полимеризации (рис.1).

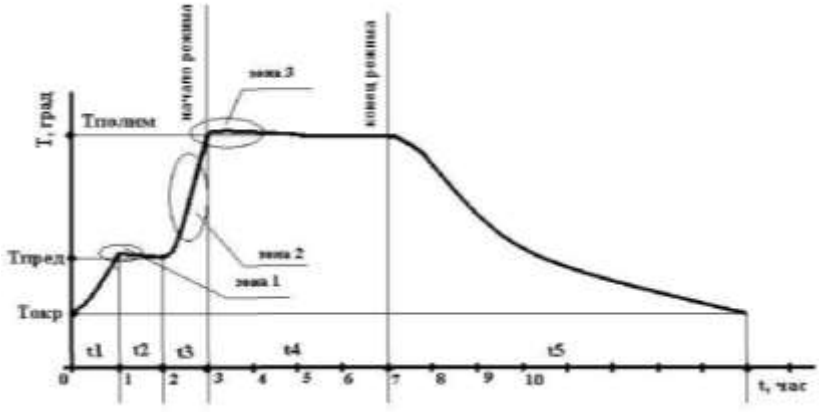


Рис. 1– Температурно-временная зависимость процесса полимеризации.

Нарушение температурного режима прессования связано, прежде всего, с теплофизическими процессами, протекающими внутри изделия в ходе технологического процесса полимеризации. Внутренние технологические напряжения, возникающие в изделиях в ходе их изготовления, тот или иной уровень остаточных напряжений оказывают существенное влияние на прочность изделий [2, 3, 4].

На первом этапе возникновение и рост термонапряжений определяется нагревом и присутствующими упруго-вязкими и химическими деформациями [2]. На второй стадии процесса происходит выравнивание температурного поля, поэтому при изотермической выдержке напряжения являются следствием продолжающейся усадки. В процессе полимеризации композита слои изделия склеиваются настолько, что их проскальзывание при том или ином виде деформирования практически отсутствует. Поэтому при охлаждении технологической оснастки и изготовленного изделия от температуры полимеризации до окружающей происходит несвободное деформирование слоев. Такое деформирование может привести к значительным короблениям изделия и образованию в них технологических остаточных напряжений.

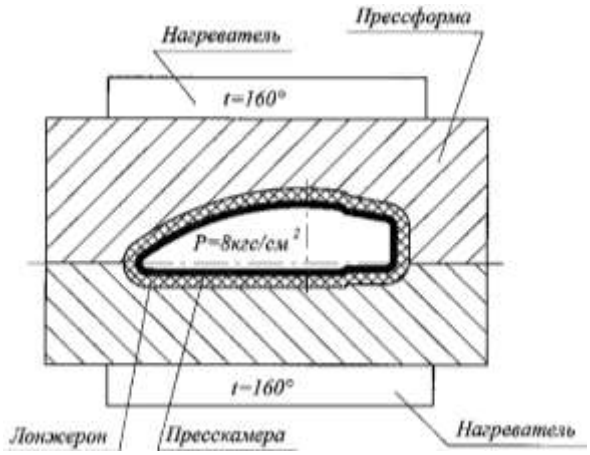


Рис. 2– Лонжерон лопасти.

Рассмотрим термонапряжения и технологические остаточные напряжения, возникающие в процессе полимеризации лонжерона лопасти (рис. 2). Учитывая, что геометрия лонжерона допускает осевую симметрию модели, распределение температуры не будет зависеть от z и φ, и задачи рассматриваются в цилиндрической системе координат.

Уравнение теплопроводности на первых двух этапах технологического процесса будет иметь вид:

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

Краевые условия:

$$\tau = 0:\quad u\big|_{R_0 \le r \le R} = u_0\,; \qquad (2)$$

$$\left.\frac{\partial u}{\partial r} - h(u - u_0)\right|_{r=R_0} = 0\,;\ u(R,\tau) = u_{i\hat{o}}\ ;\quad \tau \ge 0\,. \qquad (3)$$

На этапе охлаждения рассматривается задача:

$$\frac{\partial u(r,\tau)}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial u}{\partial r}\right). \qquad (4)$$

с граничными и начальными условиями

$$\tau = 0: \quad u\big|_{R_0 \le r \le R} = u_{íà÷} \; ; \tag{5}$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} - h(u - u_0)\Big|_{r=R_0} = 0 \; ; \; u(R,\tau) = u_0; \quad \tau \ge 0 . \tag{6}$$

В уравнениях (1)-(6) использованы обозначения:
u(r,t) – температура;
τ – время;
a – коэффициент температуропроводности;
$\chi(r,\tau)$ – источник тепла;
h— коэффициент теплообмена;
u_0 — начальная температура мономера (температура окружающей среды);
$u_{пф}$ – температура пресс-формы;
$u_{пол}$ – температура полимеризации;
R_0 – внутренний радиус лонжерона;
R – внешний радиус лонжерона.
Перейдя к безразмерным переменным, получим:
на этапах опрессовки и полимеризации:

$$\frac{\partial\theta(\bar{r}, F_0)}{\partial F_0} = \frac{\partial^2\theta}{\partial\bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}}\frac{\partial\theta}{\partial\bar{r}} + \psi(\bar{r}, F_0), \tag{7}$$

$$\theta(\bar{r}, F_0)\big|_{F_0=0} = u_0 - u_{íô} \; , \quad d \le \bar{r} \le 1, \tag{8}$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial\bar{r}}\Big|_{\bar{r}=d} = -Bi\{\theta(d, F_0) + (u_{íô} - u_0)\}, \quad F_0 > 0, \tag{9}$$

$$\theta(\bar{r}, F_0)\big|_{\bar{r}=1} = 0, \quad F_0 \ge 0, \tag{10}$$

на этапе охлаждения:

$$\frac{\partial\theta(\bar{r}, F_0)}{\partial F_0} = \frac{\partial^2\theta}{\partial\bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}}\frac{\partial\theta}{\partial\bar{r}}, \tag{11}$$

$$\theta(\bar{r}, F_0)\big|_{F_0=0} = u_{íîë} - u_0, \quad d \le \bar{r} \le 1, \tag{12}$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial\bar{r}}\Big|_{\bar{r}=d} = -Bi\{\theta(d, F_0) + (u_0 - u_{íîë})\}, \quad F_0 > 0, \tag{13}$$

$$\theta(\bar{r}, F_0)\big|_{\bar{r}=1} = 0, \quad F_0 \ge 0, \tag{14}$$

где θ – температура, ψ – источник тепла, R – характерный размер лонжерона, $\bar{r} = \frac{r}{R}$, $\frac{R_0}{R} = d$, F_0 – критерий Фурье, Bi – критерий Био.

Применим к задачам (7)–(10) и (11)-(14) интегральное преобразование Ханкеля [8]:

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

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

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

где

$L_0\left(\xi_i \bar{r}\right) = J_0\left(\xi_i \bar{r}\right) G_0\left(\xi_i\right) - J_0\left(\xi_i\right) G_0\left(\xi_i \bar{r}\right)$,

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

$BiL_0(\xi_i d) = -\xi_i L_0'(\xi_i d)$.

В итоге получим:

на первых двух этапах полимеризации [1]

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

на этапе охлаждения

$$u(r,\tau) = u_0 - 2R^2\left(u_0 - u_{íîë}\right)\sum_i \frac{\bar{1}\xi_i^2 e^{-\xi_i^2 F_0} + BidL_0(\xi_i d)\left[1 - e^{-\xi_i^2 F_0}\right]}{R^2 - {R_0}^2 L_0^2\left(\xi_i d\right)\left(\xi_i^2 + Bi^2\right)} L_0\left(\xi_i \bar{r}\right),$$

где $\bar{1} = \int_{\bar{R}_0}^{1} \bar{r} L_0\left(\xi_i \bar{r}\right) d\bar{r}$ — образ единичной функции.

Формулы для подсчета термонапряжений и технологических остаточных напряжений, возникающих за счет неравномерного распределения температуры, берем в виде [6]:

$$\sigma_r = 2\frac{m+1}{m-1}\alpha G \frac{{R_0}^2 R^2}{R^2 - {R_0}^2}\left[\frac{1}{{R_0}^2 R^2}\int_{R_0}^{R} u(r,t) r dr - \frac{1}{r^2 R^2}\int_{r}^{R} u(r,t) r dr - \frac{1}{{R_0}^2 r^2}\int_{R_0}^{r} u(r,t) r dr\right];$$

$$\sigma_\varphi = 2\frac{m+1}{m-1}\alpha G \frac{{R_0}^2 R^2}{R^2 - {R_0}^2} \times$$

$$\times\left[\frac{1}{{R_0}^2 R^2}\int_{R_0}^{R} u(r,t) r dr + \frac{1}{r^2 R^2}\int_{r}^{R} u(r,t) r dr + \frac{1}{{R_0}^2 r^2}\int_{R_0}^{r} u(r,t) r dr\right] - 2\frac{m+1}{m-1}\alpha G,$$

где $\frac{1}{m} = \nu$ – коэффициент Пуассона, G – модуль сдвига, α – коэффициент линейного расширения.

Найдем решение конкретной задачи термоупругости для цилиндра на этапе охлаждения. Исходные данные для решения тепловой и термоупругой задач в цилиндре следующие: R_0=0,07м, R_1=0,2м, λ=0,25 Вт/(м·К), Cρ=0,9Дж/(кг·К), ρ=1850 кг/м^3, a=1.5·10^{-4} м2/с, h=1,92 Вт/(м^2·К), α=3,5·10^{-6} 1/К, μ=110,3МПа, ν=0,25, $u_{пол}$=160, u_0=20. Рассматриваем десять первых членов ряда Ханкеля.

На рис. 3 представлены результаты расчетов скорости изменения температуры, радиальных и окружных напряжений по радиусу R=0,1м. Напряжения, вызванные охлаждением, зависят от скорости изменения температуры. Наименьшие напряжения возникают при изменении температуры со скоростью 1,5–2 °С/мин.

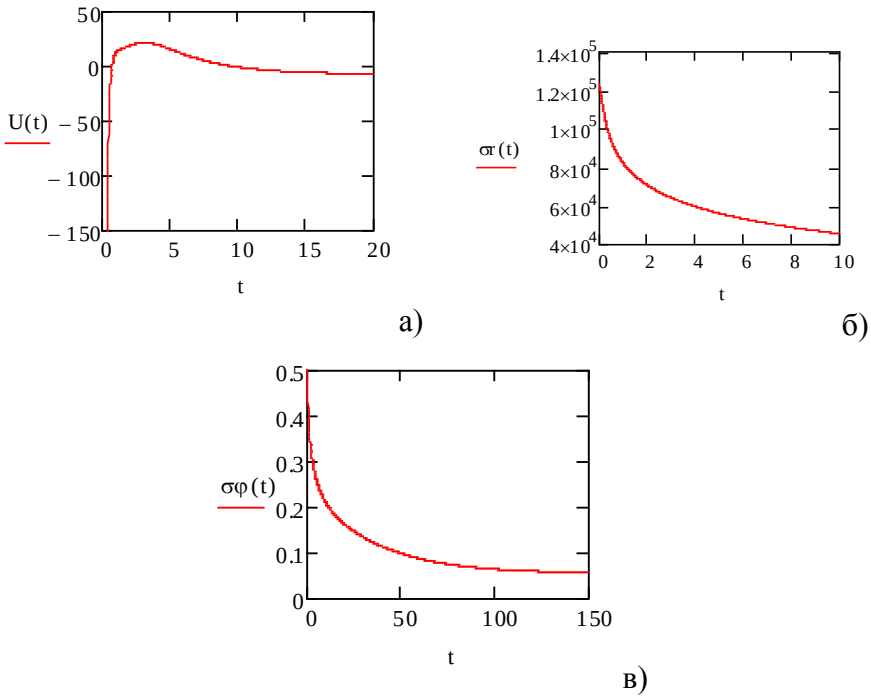


Рис. 3– Графики скорости изменения температуры (а), распределения радиальных (б) и окружных (в) напряжений при R=0,1м.

На основании результатов проведенных исследований можно утверждать, что качество исходных материалов, продуманный выбор параметров технологического процесса изготовления лопастей, таких как температура полимеризации, скорость нагрева и давление, остаточные технологические напряжения и термонапряжения, дает возможность достигнуть основной цели производства – изготовление качественного изделия.

Список литературы:

1. *Абдулхаликова Л.Х.* Решение одной задачи теплопроводности методом интегрального преобразования Ханкеля // Научно-технический вестник Поволжья. – Журн. – 2011. – №4. – с 89-92

2. *Беляева Н. А.* Математические модели деформируемых вязкоупругих структурированных материалов: Монография./ Н.А. Беляева. — Сыктывкар: Изд-во СыктГУ, 2008. — С. 9-28

3. *Буланов И. М., Воробей В. В.* Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: учеб. для вузов./ И.М. Буланов, В.В. Воробей. – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 516 с.

4. *Гайдачук В.Е, Гречка В.Д., Кобрин В.Н., Молодцов Г.А.* Технология производства летательных аппаратов из композиционных материалов: Учеб. пособие/ В.Е. Гайдачук, В.Д. Гречка, В.Н. Кобрин, Г.А. Молодцов. — Х.; Харьк. Авиац. Ин-т, 1989. — С. 312-317

5. *Грачева Л.Н., Тюков Н.И.* Исследование причин вариабельности механических свойств лонжерона лопасти вертолета из стеклопластика// Вестник УГАТУ – Журн. – 2008. – Т.10, №1 (26) – с 60-63

6. *Даниловская В.И.* Некоторые задачи о температурных напряжениях в теории упругости и пластичности. Дисс на соискание уч. ст. к. ф-м н.– Москва, 1949г. — С. 10–16

7. *Кербер М.Л.* Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.

8. *Козлов В.Н., Трофимов П.А., Акимов А.И.* Обратное преобразование Ханкеля для смешанной краевой задачи на конечном интервале // Научно-технические ведомости СПбГПУ – Журн. – 2011. – №1. – с 71-77

9. *Кудинов В.А.* Аналитические решения задач тепломассопереноса и термоупругости для многослойных конструкций: Учеб. пособие для вузов/ В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, В.В. Калашников. – М.: Высш. шк., 2005. — 430 с.

10. *Фатыхов М.А., Еникеев Т.И., Акимов И.А.* Механические свойства композиционных материалов в зависимости от температурного режима их изготовления.// Вестник ОГУ №2 – Журн. – февраль 2006. – Том 2. Естественные и технические науки. — с. 87-92

05.13.01

В. В. Андреев[1] д.т.н., А. Л. Виноградов[2], М. К. Седов[2]

Институт ядерной энергетики и технической физики НГТУ им. Р.Е. Алексеева
[1]кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки»
[2]кафедра «Атомные тепловые станции и медицинская инженерия»
Россия, г. Нижний Новгород
vyach.andreev@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ МЕТАЛЛОВ

Прогнозирование показателей сопротивления усталости металлов практически всегда осложняется недостатком экспериментальных данных и отсутствием моделей, позволяющих учесть сложное взаимодействие совокупности факторов, определяющих условия циклического нагружения. Использование искусственных нейронных сетей (ИНС) позволяет отчасти решить эту проблему. Однако при этом возникают новые задачи, связанные, например, с формированием сети оптимальной структуры. Цель работы заключалась в исследовании влияния параметров настройки ИНС, а также характеристик обучающей выборки на точность прогноза показателей сопротивления усталости на основе сравнения результатов, полученных с использованием ИНС и результатов аппроксимации исходной выборки.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, прогнозирование показателей сопротивления усталости металлов.

В качестве показателей сопротивления усталости металлов, имеющих физический предел выносливости, рассматривают координаты точки перелома кривой усталости в многоцикловой области (σ_R – физический предел выносливости, МПа и N_G – абсцисса точки перелома, число циклов нагружения). Данная точка получается при построении кривой усталости в логарифмической системе координат. Рассмотрение большого количества экспериментальных данных (координат точек перелома) показывает, что их совместный учет в рамках функциональных зависимостей без предобработки невозможен – слишком разнообразны совокупности действующих факторов, в результате чего экспериментальные данные представляют собой “облако” точек (рисунок 1).

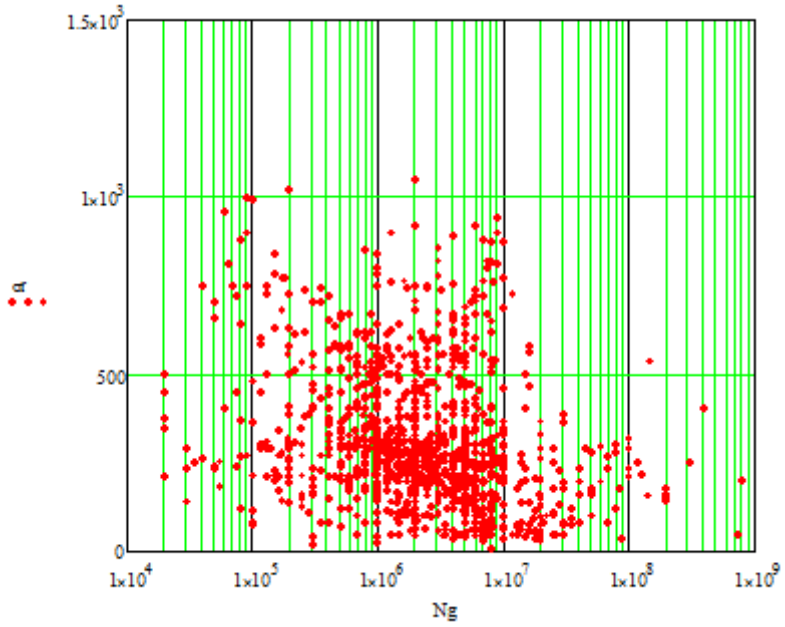


Рис. 1 - Точки перегиба совместно рассматриваемых кривых усталости металлов и сплавов.

В [1] представлена процедура преобразования координат точек перелома кривых усталости, благодаря которой появляется возможность аналитической обработки экспериментальных данных и получения аппроксимационных зависимостей между показателями сопротивления многоцикловой усталости. На рисунке 2 показана зависимость приведенного предела выносливости - напряжения $\sigma_{ПР}$ от приведенного числа циклов нагружения - $N_{ПР}$. Это те же точки, что и на рисунке 1.

Исходная выборка, используемая и для обучения ИНС, и для формирования аппроксимационных зависимостей (Приложение 2 [1]) представляет собой таблицу из 1179 значений показателей сопротивления усталости для различных металлов и описание факторов, при действии которых были получены эти показатели.

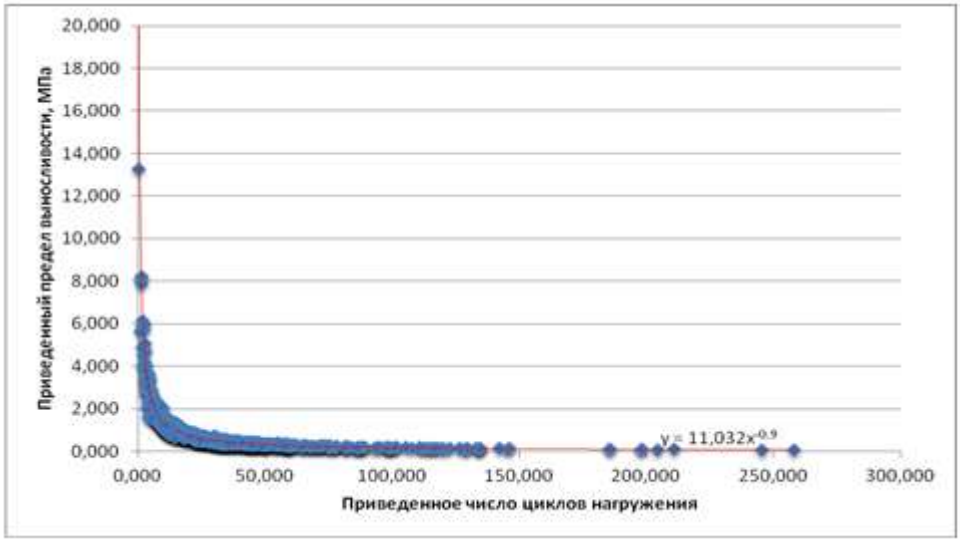


Рис. 2 - Зависимость приведенного предела выносливости (напряжение $\sigma_{ПР}$) от приведенного числа циклов нагружения ($N_{ПР}$).

В настоящей работе в качестве характеристик сопротивления усталости рассматриваются приведенное напряжение $\sigma_{ПР}$ и приведенное число циклов нагружения $N_{ПР}$, рассчитанные в точке перелома кривой усталости, построенной в логарифмической системе координат, а также тангенс угла наклона этой кривой к оси числа циклов нагружения - $tg\alpha_{ПР}$ [1].

ИНС создавалась в программной среде Deductor [2].

С помощью программы Advanced Grapher были получены аппроксимационные зависимости исходной выборки. С этих зависимостей между приведенными показателями сопротивления усталости выбирались контрольные точки, не входившие в обучающую выборку формируемых ИНС, и по ним оценивалась точность прогноза показателей сопротивления усталости.

При исследовании ИНС с одним входом нейронная сеть состояла из трёх слоев нейронов, в каждом из которых было по одному нейрону. На вход подавались значения $\sigma_{ПР}$, на выходе получали значения $N_{ПР}$. Было построено несколько ИНС с различными параметрами настройки. Анализ результатов показал, что значения, полученные при помощи ИНС в 1.5 – 2 раза отличаются от контрольных значений. При этом параметры настройки сети не оказывали существенного влияния на результат.

При исследовании ИНС с двумя входами нейронная сеть состояла из трёх слоев нейронов: в первом и втором слое – 2 нейрона, в третьем – один. На вход подавались значения $\sigma_{ПР}$ и $N_{ПР}$, на выходе получали значения $tg\alpha_{ПР}$. Параметры настройки сети: Back Propagation, параметр сигмоиды 1; скорость – 0,1; момент – 0,9. В этом случае, полученные при помощи ИНС значения приведенных показателей сопротивления усталости не более чем на 2% отличаются от контрольных значений.

Для исследования влияния объёма выборки на точность прогноза ИНС из исходной выборки были отобраны значения, относящиеся к стали 40Х (85 значений) и стали 45 (114 значений). С помощью программы Advanced Grapher также были получены аппроксимационные зависимости, с помощью которых были выбраны 5 контрольных точек, не совпадающих с точками исходной выборки, соответственно для стали 40Х и стали 45. Нейронная сеть состояла из трёх слоев нейронов: в первом и втором слое – два нейрона, в третьем – один. На вход подавались значения $\sigma_{ПР}$ и $N_{ПР}$, на выходе получали значения $tg\alpha_{ПР}$ отдельно для стали 40Х и стали 45. Параметры настройки сети: Back Propagation, 1 скрытый слой, параметр сигмоиды 0,1. Среднее отклонение прогнозируемых сетью параметров от их контрольных значений для стали 40Х составило 7%, а для стали 45 - 3%, что превышает отклонение результатов прогнозирования в случае рассмотрения полной обучающей выборки. С целью дальнейшего исследования увеличения числа входных параметров рассматривалась ИНС с тремя входами. Обучающая выборка ИНС также состояла из значений, соответствующих стали 40Х и стали 45.

Нейронная сеть состояла из трёх слоев нейронов: в первом слое – три нейрона во втором – два нейрона, в третьем – один. На вход подавались значения $\sigma_{ПР}$, $N_{ПР}$ и нормированные значения фактора КМС (коэффициент марки стали) [1], на выходе получали значения $tg\alpha_{ПР}$ для стали 40Х и стали 45. Параметры настройки сети: Back Propagation, 1 скрытый слой, v=0,1.

В случае ИНС с тремя входами среднее отклонение значений для стали 40Х и стали 45 не превысило 2%. То есть результаты стали более точными, чем в случае сети с двумя входами.

Структура обучающей выборки (наличие структурированной информации о различных факторах) позволила рассмотреть в качестве некоторого “предельного” случая ИНС с десятью входами. Обучающая выборка состояла из значений параметров сопротивления усталости и всех факторов, информация о которых имелась в исходной выборке для стали 40Х и стали 45. Нейронная сеть состояла из трёх слоев нейронов: в первом слое – десять нейронов во втором – два нейрона, в третьем – также два нейрона. На вход подавались

значения $\sigma_{ПР}$, нормированные значения всех действующих факторов [1], на выходе получали значения $tg\alpha_{ПР}$ и $N_{ПР}$ для стали 40Х и стали 45. Параметры настройки сети: Back Propagation, 1 скрытый слой, параметр сигмоиды - 0,1. В качестве контрольных точек были использованы пять строк из начального множества. В обучающую выборку они не вошли. Анализ полученных результатов показал, что чем больше в обучающей выборке данных об условиях эксперимента с конкретным металлом, тем более точным получается ответ нейронной сети. Для стали 40Х (в обучающей выборке 85 экспериментов) среднее отклонение - 18,8%; для стали 45 (в обучающей выборке 114 экспериментов) среднее отклонение - 9,88%.

Обобщая результаты исследований можно сделать следующие выводы:

1) Для рассмотренных примеров (определяющих структуру и объем обучающей выборки) влияние ряда настроек нейронной сети (способ обучения ИНС, параметр сигмоиды, количество скрытых слоев и т.д.) на точность прогноза – незначительно.

2) Увеличение количества входов нейронной сети и объёма обучающей выборки существенно повышает точность прогнозирования.

Список литературы:

1. *Андреев В. В.* Предел выносливости металлов на обобщенной зависимости приведенных параметров сопротивления усталости/ В.В. Андреев //. - Нижегород. гос. техн. ун-т. Н.Новгород, 2003, 304 с.

2. Deductor. Руководство аналитика. Версия 5.2. / Компания Base Group Labs, 1995-2009.

05.07.05

А. Н. Аношкин[1] д.т.н., А. Д. Бабин[2], С. В. Лимонов[2]

[1]Пермский национальный исследовательский политехнический университет
аэрокосмический факультет
кафедра механики композиционных материалов и конструкций
Россия, г. Пермь

[2]Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов
Россия, г. Пермь
andrey_babin@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ СОПЛА ГАЗОТУРБИННОГО АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ИЗ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КАРБИДО-КРЕМНИЕВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Проведен газодинамический и тепловой расчет сопла газогенератора авиационного двигателя из углерод-углеродного карбидо-кремниевого композиционного материала (УУКК КМ). Получены распределения полей статического давления и температур в потоках газа, температурные поля в материале сопла при взлетном режиме. Результаты расчета могут быть использованы для определения напряженно-деформированного состояния и уточнения конструкции изделия.

Ключевые слова: углерод-углеродный карбидо-кремниевый композиционный материал, авиационный двигатель, сопло, газодинамический и тепловой расчет.

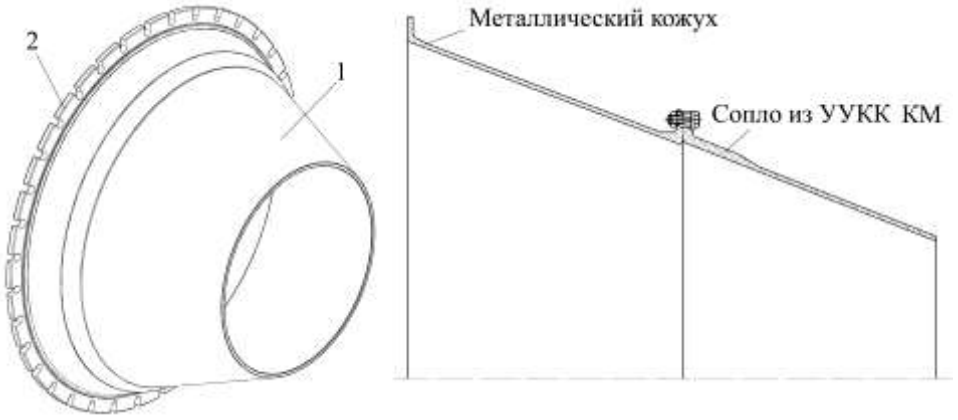
Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкциях авиационных двигателей для гражданской авиации, работоспособных в температурном диапазоне от минус 60 ºС до плюс 280 ºС [2], достигло в настоящее время значительных масштабов.

В то же время остается актуальной проблема, связанная с имеющейся потребностью авиационной промышленности в материалах, способных работать при значительно более высоких температурах и скоростях газового потока продуктов сгорания авиационных топлив и сохраняющих при этом свои механические характеристики. Так температура газового потока в сопле газогенератора достигает 1000 ºС, в жаровых трубах камеры сгорания 1700 ºС. Ключевым моментом решения данной проблемы является создание термостойких композиционных материалов, которые оптимальным образом сочетали бы в себе высокую термопрочность, обеспечивающую работоспособность конструкции в условиях экстремальных температурных нагрузок, высокие окислительную и эрозионную стойкость к воздействию продуктов сгорания топлива.

На сегодняшний день создано значительное количество термостойких композиционных материалов, к которым в первую очередь относятся углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) и УУКК КМ [3]. Вместе с тем, совершенствование УУКМ и УУКК КМ, адаптация к различным конструкциям и условиям их эксплуатации является актуальной научно-технической проблемой.

Основной целью проводимых исследований является решение комплексной проблемы проектирования и разработки УУКК КМ для термонапряженных конструкций авиационных двигателей. В качестве первоочередной детали для внедрения УУКК КМ выбрано сопло газогенератора. В настоящей работе приведены результаты качественной и количественной оценки газодинамики и теплового состояния сопла при взлетном режиме работы двигателя.

Исследуемое сопло (рис. 1) конструктивно состоит из конической тонкой осесимметричной оболочки 1 и фланца 2. Сопло входит в состав демонстратора газогенератора двигателя и крепится болтовыми соединениями в тридцати шести местах к металлическому кожуху. При расчёте рассматривались конструкция с радиально-лучевыми пазами на фланце, утолщённой оболочкой около фланца и радиальным смещением внутреннего диаметра левого торца относительно металлического кожуха на 4 мм, для устранения образования уступа при тепловом расширении.



а) б)

Рис. 1- Сопло газогенератора:
а) общий вид; б) схема соединения с металлическим кожухом.

Каркас сопла представлял собой набор слоев углеродной ткани УТ-900-6К (О) полотняного переплетения с соотношением укладки нитей по основе и утку 1:1, прошитый в третьем радиальном направлении углеродными нитями УКН (О)-6К.

Газодинамический и тепловой расчет сопла проводился методом конечных элементов в пакете ANSYS. Решалась связанная стационарная задача газодинамического течения и теплопроводности. Система определяющих дифференциальных уравнений включала уравнение неразрывности газового потока [4], уравнение движения газа Навье-Стокса [4], уравнение стационарной теплопроводности для анизотропной, кусочно-неоднородной сплошной среды [1]. Расчёт газодинамических показателей истечения продуктов сгорания: давления, температуры, скоростей, коэффициентов теплоотдачи, проводился для условий установившегося взлётного режима с наддувом и подогревом воздуха. Рабочая среда — идеальный несжимаемый газ, близкий по характеристикам к воздуху (газовая постоянная R_g = 287,102 Дж/(кг ºК), коэффициент адиабаты k=1,4).

В расчетах учитывалось, что нагрев сопла происходит за счет конвективного теплообмена с потоками газа на наружной и внутренней поверхностях. При определении коэффициентов теплоотдачи анизотропией теплофизических свойств материала сопла пренебрегали. В расчётной области задавались следующие граничные условия (рис. 2):

-на входе в сопло 1 - полное давление $P_{вх}$* = 718202 Па (7,32362 кгс/см^2) и полная температура $T_{вх}$* = 1213 ºК (940 ºС);

-на выходе из эжектора 2 - условие сверхзвукового течения;

-на входе в эжектор 3 - условие открытой границы с давлением Р = 101322 Па (1,03319 кгс/см^2) и температурой $T_н$ = 288 ºК (15 ºС);

-на верхней и нижней границах 4 (эжектор и центральное тело соответственно) - условие прилипания и отсутствие теплопроводности (адиабатические твердые поверхности);

-на поверхностях сопла и кожуха 5 – условия конвективного теплообмена (условия третьего рода).

Граничные условия не зависят от времени.

В качестве расчетных показателей теплофизических свойств материала приняты характеристики подобного УУКК КМ (табл.1).

Таблица 1– Значения показателей теплофизических свойств УУКК КМ

Наименование показателя	Температура, ºС	
	20	1000
Коэффициент линейного теплового расширения $\boldsymbol{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} \cdot 10^6$, 1/ ºС	0,77	
Коэффициент теплопроводности $\boldsymbol{\lambda_1}$, $\boldsymbol{\lambda_2}$, Вт/(м ºС)	10	38
Коэффициент теплопроводности $\boldsymbol{\lambda_3}$, Вт/(м·ºС)	3,9	2,7
Удельная теплоёмкость **С**, Дж/(кг ºС)	670	1500
Плотность, кг/м^3	1825	

Здесь индексы 1, 2 у теплофизических величин обозначают направления в плоскости укладки слоев углеткани (вдоль нитей основы и утка соответственно), индекс 3 – направление, перпендикулярное плоскости слоев.

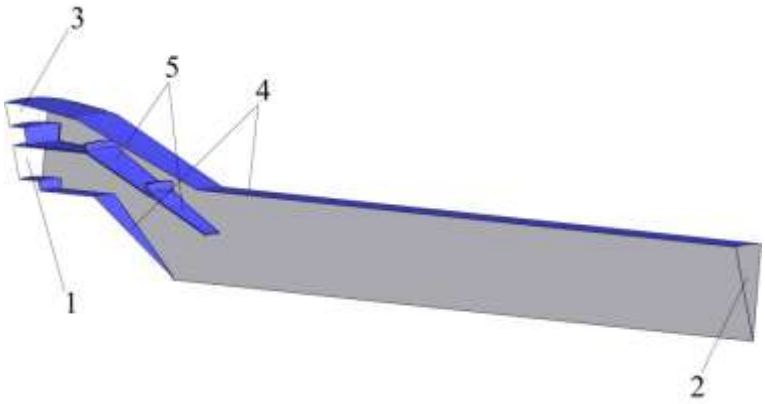
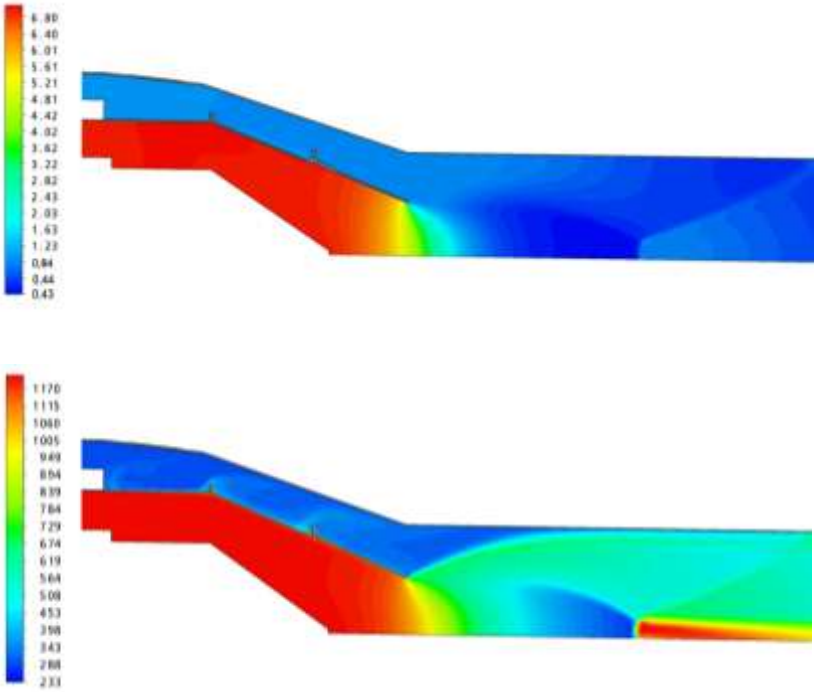


Рис. 2- Расчетная схема сектора сопла, номерами обозначены поверхности для задания граничных условий: 1 – вход в сопло; 2 и 3– выход и вход из эжектора соответственно; 4 - эжектор и центральное тело; 5- поверхность сопла и кожуха.

В результате решения связанной задачи газодинамики получены распределения линий тока, векторы скоростей течения и распределения числа Маха (отношение скорости течения к скорости звука), распределения статического давления и температуры в расчетной области. В качестве примера на рис.3 показано распределение двух последних параметров.



а)

б)

Рис. 3- Распределение газодинамических параметров:
а) статического давления (р $^{-}10^{-5}$ Па); б) температуры потоков газа (ºК).

Полученное в результате расчёта поле температур в конструкции сопла показано на рис.4.

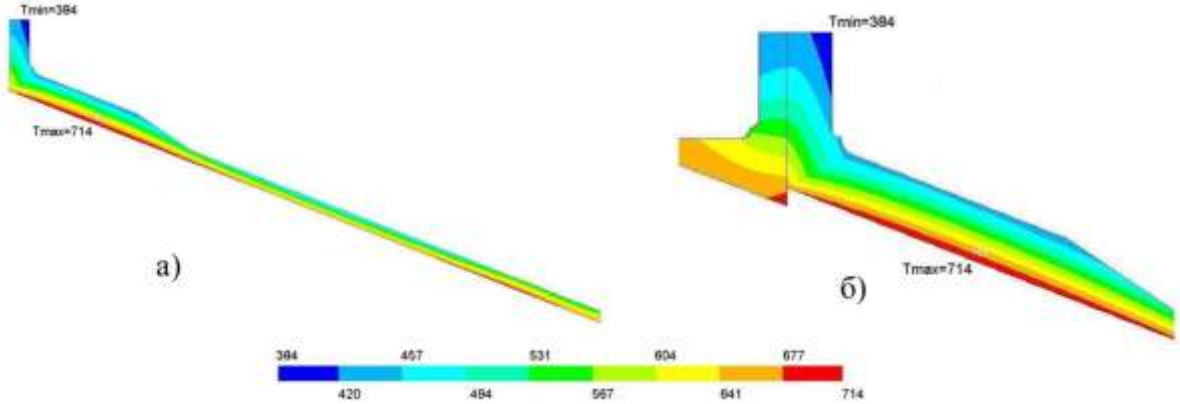


Рис. 4- Распределение температурных полей (ºС):
а) в сопле; б) в области фланцев сопла и кожуха.

Анализ полученных результатов расчетов показал следующее:

1. Наибольшее значение температуры наблюдается на внутренней поверхности сопла в области утолщения при переходе к фланцевому соединению, максимум температуры составляет 714 ºС. Наименее прогретой областью является наружная (торцевая) поверхность фланца, минимум температуры составляет 384 ºС.

2. Наибольший перепад температуры по толщине стенки сопла наблюдается в зоне фланцевого соединения и составляет 330 ºС. В основной части сопла перепад температуры составляет от 295 ºС до 170 ºС.

Выводы. Полученные значения температурных полей в стенке сопла не являются критическими для материалов типа УУКК КМ, однако достаточно большие градиенты температуры могут привести к появлению ощутимых температурных напряжений. На основании полученных результатов газодинамического и теплового расчетов совместной работы сопла из УККМ и металлического кожуха будет проведен расчет напряженно-деформированного состояния, определены коэффициенты запаса прочности материалов, что позволит уточнить особенности конструкции сопла и перейти к изготовлению натурного изделия. Результаты огневых испытаний реального сопла позволят не только перейти к уточненному газодинамическому расчету, учитывающему нестационарность процесса и другие факторы, но и оценить окислительную и эррозионную стойкость выбранного УУКК КМ.

Список литературы:

1. Беляев Н.М., Рядно А. А. Методы теории теплопроводности. В 2-х частях. – М.: Высш. школа, 1982. Ч.1. – 327 с. Ч.2. . – 304 с.

2. Рубцов С.М. Применение современных полимерных композиционных материалов в элементах и узлах газотурбинных авиационных двигателей. Дисс. канд. техн. наук. Пермь, 2009, 148 с.

3. Татарников О.В. Проектирование, разработка технологических процессов и исследования углерод-углеродных композитов для термонапряженных конструкций. Дисс. докт. техн. наук. Королёв, 1998, 248 с.

4. Хинце И.О. Турбулентность. –М.: Физматгиз, 1963. – 607 с.

05.13.06

Б. Ф. Байрамов

Камская государственная инженерно-экономическая академия
кафедра теоретической механики и сопротивления материалов
Россия, г. Набережные Челны
bbairamov@gmail.com

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯСКОРОСТИ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА ГИДРОПРИВОДА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЁ ДИНАМИКИ

Предложена система автоматизированного регулирования скорости движения выходного звена гидропривода. Проведено математическое моделирование и получены условия устойчивости работы гидропривода с такой системой.

Ключевые слова: гидропривод; регулирование скорости выходного звена; математическое моделирование динамики; устойчивость работы.

В гидроприводах часто требуется регулировать скорость движения выходного звена гидродвигателя (скорость движения штока поршня гидроцилиндра или частоту вращения вала гидромотора). На практике обычно используются три способа регулирования скорости выходных звеньев гидроприводов: дроссельный, объёмный и их комбинация – объёмно-дроссельный [1]. Дроссельное регулирование осуществляется гидродросселем за счёт изменения расхода рабочей жидкости, поступающей в гидродвигатель. При этом часть потока жидкости, поступающей от насоса, непроизводительно отводится на слив, минуя гидродвигатель. При объёмном способе регулирования скорость движения выходного звена гидропривода изменяется за счёт изменения рабочего объёма либо насоса, либо гидромотора, либо обеих гидромашин. КПД гидропривода с объёмным регулированием выше, чем гидропривода с дроссельным регулированием. Но гидромашины с регулируемым объёмом существенно дороже нерегулируемых.

Наиболее экономичным является регулирование расхода рабочей жидкости, а, следовательно, скорости движения выходного звена гидродвигателя за счёт изменения частоты вращения вала двигателя насоса. Для привода насосов применяются электродвигатели или двигатели внутреннего сгорания (ДВС). В данной работе, в связи с постоянным удорожанием электроэнергии, разработкой и внедрением различных дешёвых видов топлива, для этой цели предлагается использовать ДВС.

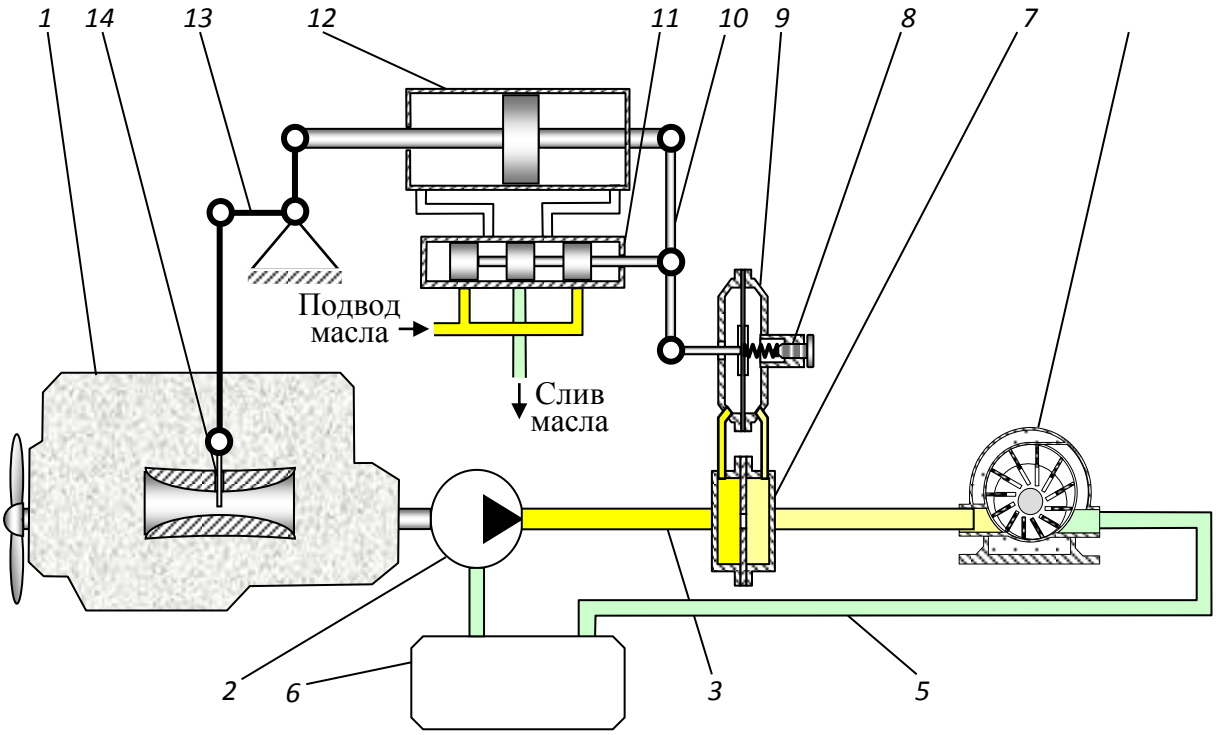


Рис.1. Схема гидропривода с автоматическим регулированием скорости выходного звена гидродвигателя: *1*-ДВС; *2*-гидронасос; *3*-напорный трубопровод; *4*-гидромотор; *5*-слив; *6*-гидробак; *7*-датчик расхода; *8*-задатчик; *9*-дифференциальный преобразователь давления; *10*-рычаг; *11*-золотник; *12*-гидроцилиндр; *13*-рычажная система; *14*-заслонка.

На рис. 1 представлена принципиальная схема гидропривода с гидромотором и автоматическим регулятором расхода жидкости. Она состоит из ДВС *1*, насоса *2*, напорного трубопровода *3*, гидромотора *4* и регулятора расхода жидкости. Последний, в свою очередь, включает в себя датчик расхода *7*, дифференциальный преобразователь *9* с упругой мембраной, гидроцилиндр *12* с золотником *11* и дроссельную заслонку *14*.

Датчик расхода, представляющий собой сужающую диафрагму [5], измеряет расход жидкости косвенно через перепад давления. Под действием этой разности давления мембрана дифференциального преобразователя через золотник и гидроцилиндр управляет положением заслонки, обеспечивающей подачу топлива ДВС. Таким образом осуществляется регулирование расхода рабочей жидкости, а, следовательно, частоты вращения вала гидромотора. Значение расхода жидкости при номинальном (расчётном) режиме устанавливается пружинным задатчиком *8*.

Математическая модель. Уравнения динамики запишем для отдельных звеньев в отклонениях от номинального режима работы гидропривода с гидромотором [1-4]:

–для ДВС:

$$2\pi J_{\text{Д}}\frac{d\Delta n}{dt} = \left(\frac{\partial M_{\text{Д}}}{\partial n}\right)_*\Delta n + \left(\frac{\partial M_{\text{Д}}}{\partial u}\right)_*\Delta u - \Delta M_{\text{Н}}; \qquad (1)$$

–для насоса (напорная характеристика насоса):

$$\Delta p_{\text{Н}} = \Delta p_{\text{Н0}} - \left(\frac{\partial p_{\text{Н}}}{\partial G}\right)_*\Delta G + \left(\frac{\partial p_{\text{Н}}}{\partial n}\right)\Delta n; \qquad (2)$$

–для напорного трубопровода:

$$\frac{l_{\text{Т}}}{F_{\text{Т}}}\frac{d\Delta G}{dt} = \Delta p_{\text{Н}} - \Delta p_{\text{Г}} - K_{\text{Т}}\Delta G; \qquad (3)$$

–для гидромотора:

$$2\pi J_{\Г}\frac{d\Delta n_{\Г}}{dt} = \Delta M_{\Г} - \Delta M_{\С}; \qquad (4)$$

–для датчика расхода с дифференциальным преобразователем:

$$S = K_1\Delta G; \qquad (5)$$

–для гидроусилителя с золотником:

$$T_{\У}\frac{dS_{\У}}{dt} = K_2 S - K_3 S_{\У}; \qquad (6)$$

–для дроссельной заслонки с рычажной системой:

$$\Delta u = -K_4 S_{\У}, \qquad (7)$$

где $\Delta n = n - n_*$; $\Delta G = G - G_*$; $\Delta p_{\Н} = p_{\Н} - p_{\Н_*}$; $\Delta p_{\Г} = p_{\Г} - p_{\Г_*}$; $\Delta n_{\Г} = n_{\Г} - n_{\Г_*}$; $\Delta u = u - u_*$; $\Delta M_{\Н} = M_{\Н} - M_{\Н_*}$; $\Delta M_{\Г} = M_{\Г} - M_{\Г_*}$; $\Delta M_{\С} = M_{\С} - M_{\С_*}$; индекс $*$ указывает на значения величин в номинальном режиме; n, $n_{\Г}$ – частоты вращения вала ДВС, гидромотора; G – расход рабочей жидкости в гидроприводе; $p_{\Н0}$, $p_{\Н}$ – давления на входе в насос и на выходе из него; $p_{\Г}$ – давление на входе в гидромотор; u – положение дроссельной заслонки (органа управления); S, $S_{\У}$ – смещения мембраны дифференциального преобразователя, поршня гидроусилителя; $T_{\У}$ – постоянная времени гидроусилителя; K_1, K_2, K_3, K_4 – положительные коэффициенты пропорциональности; $J_{\Д}$, $J_{\Г}$ – суммарные моменты инерции всех тел, кинематически связанных с валом ДВС и гидромотора; $K_{\Т}$ – коэффициент, характеризующий сопротивление в трубопроводе; $l_{\Т}$, $F_{\Т}$ – длина и площадь поперечного сечения трубопровода; $M_{\Д}$, $M_{\Н}$, $M_{\Г}$ – крутящие моменты ДВС, насоса, гидромотора; $M_{\С}$ – момент сопротивления на валу гидромотора.

Момент $M_{\Н}$ имеет вид [1] $M_{\Н} = G(p_{\Н} - p_{\Н0})/n\eta\rho$, где η – полный КПД насоса; ρ – плотность жидкости. Разлагая функцию $M_{\Н}$ в ряд Тейлора в окрестности номинального режима и ограничиваясь членами первой степени относительно малых приращений, найдём:

$$\Delta M_{\Н} = \left(\frac{\partial M_{\Н}}{\partial n}\right)_* \Delta n + \left(\frac{\partial M_{\Н}}{\partial G}\right)_* \Delta G + \left(\frac{\partial M_{\Н}}{\partial p_{\Н}}\right)_* (\Delta p_{\Н} - \Delta p_{\Н0}). \qquad (8)$$

Из выражения момента гидромотора [1] $M_{\Г} = \frac{1}{2\pi} W_{\Г}(p_{\Г} - p_{\Г0})\eta_{\Г}$, где $\eta_{\Г}$, $W_{\Г}$ – механический КПД и объём гидромотора, получим:

$$\Delta M_{\Г} = \frac{W_{\Г}\eta_{\Г}}{2\pi}(\Delta p_{\Г} - \Delta p_{\Г0}). \qquad (9)$$

Расход жидкости G через гидромотор связан с частотой вращения его вала формулой [1] $G = W_{\Г}\rho\, n_{\Г}/\eta_0$, где η_0 – объёмный КПД гидромотора. Отсюда

$$\Delta G = \frac{W_{\Г}\rho}{\eta_0}\cdot \Delta n_{\Г}. \qquad (10)$$

В номинальном режиме будем считать, что $M_{\Д_*} = M_{\Н_*} = const$, $M_{\Г_*} = M_{\С_*} = const$, все переменные постоянные, $S = S_{\У} = \Delta u = 0$ и регулятор расхода жидкости находится в нейтральном положении.

Далее будем предполагать $\Delta p_{\Н0} = \Delta p_{\Г0} = 0$, т.е. возмущениями давлений на входе в насос и в сливном трубопроводе пренебрегаем.

Система (1) – (10) описывает динамику гидропривода с гидромотором. Исключая переменные $\Delta p_{\Н}$, $\Delta p_{\Г}$, $\Delta n_{\Г}$, Δu, S, эту систему запишем в относительных отклонениях в безразмерной форме:

$$T_{\Д}\frac{dx_1}{dt} = -a_1 x_1 - a_2 x_2 - a_3 x_3;$$

$$T_{\Т}\frac{dx_2}{dt} = a_4 x_1 - a_5 x_2 - \alpha; \qquad (11)$$

$$T_{\У}\frac{dx_3}{dt} = a_6 x_2 - a_7 x_3,$$

где $x_1 = \frac{\Delta n}{n_*}$; $x_2 = \frac{\Delta G}{G_*}$; $x_3 = \frac{S_{\У}}{S_{\У max}}$; $\alpha = \frac{\Delta M_{\С}}{M_{\С_*}}$;

$$a_1 = \left[-\left(\frac{\partial M_{\Д}}{\partial n}\right)_* + \left(\frac{\partial M_{\Н}}{\partial n}\right)_* + \left(\frac{\partial M_{\Н}}{\partial p_{\Н}}\right)_* \left(\frac{\partial p_{\Н}}{\partial n}\right)_*\right]\frac{n_*}{M_{\Д_*}};$$

$a_2 = \left[\left(\frac{\partial M_\text{Н}}{\partial G}\right)_* + \left(\frac{\partial M_\text{Н}}{\partial p_\text{Н}}\right)_* \left(\frac{\partial p_\text{Н}}{\partial G}\right)_*\right] \frac{G_*}{M_{\text{Д}*}}$; $a_3 = \left(\frac{\partial M_\text{Д}}{\partial u}\right)_* \frac{K_5 S_{\text{У}max}}{M_{\text{Д}*}}$;

$a_4 = \left(\frac{\partial p_\text{Н}}{\partial n}\right)_* \frac{W_\text{Г}\eta_\text{Г}}{2\pi} \frac{n_*}{M_{\text{Г}*}}$; $a_5 = \left[\left(\frac{\partial p_\text{Н}}{\partial G}\right)_* + K_\text{Т}\right] \frac{W_\text{Г}\eta_\text{Г}}{2\pi} \frac{G_*}{M_{\text{Г}*}}$; $a_6 = \frac{K_1 K_2 G_*}{S_{\text{У}max}}$; $a_7 = K_3$;

$T_\text{Д} = \frac{2\pi J_\text{Д} n_*}{M_{\text{Д}*}}$; $T_\text{Т} = \left(\frac{W_\text{Г}\eta_\text{Г} l_\text{Т}}{2\pi F_\text{Т}} + \frac{2\pi J_\text{Г}\eta_0}{W_\text{Г}\rho}\right) \frac{G_*}{M_{\text{Г}*}}$.

Здесь $T_\text{Д}$, $T_\text{Т}$ – постоянные времени ДВС и объединённого звена «трубопровод + гидропривод», остальные величины – безразмерные коэффициенты усиления.

Устойчивость. Пусть момент сопротивления на валу гидромотора $M_\text{С} = M_{\text{С}_*} = const$. Тогда в системе (11) $\alpha = 0$ и её характеристическое уравнение имеет вид:

$$A_3\lambda^3 + A_2\lambda^2 + A_1\lambda + A_0 = 0, \qquad (12)$$

где $A_0 = a_1 a_5 a_7 + a_4(a_3 a_6 + a_2 a_7)$;

$A_1 = a_7\left(a_1 T_\text{Т} + a_5 T_\text{Д}\right) + T_\text{У}(a_1 a_5 + a_2 a_4)$;

$A_2 = T_\text{Д} T_\text{Т} a_7 + T_\text{Т} T_\text{У} a_1 + T_\text{У} T_\text{Д} a_5$; $A_3 = T_\text{Д} T_\text{Т} T_\text{У}$.

Согласно критерию Рауса-Гурвица, характеристическое уравнение (12) будет иметь корни с отрицательными вещественными частями при выполнении условий:

1) $A_i > 0, i = \overline{0,3}$;

2) $A_1 \cdot A_2 > A_0 \cdot A_3$. (13)

Величины $T_\text{Д}$, $T_\text{Т}$, $T_\text{У}$, a_i являются положительными, следовательно, коэффициенты A_0, A_1, A_2, A_3 положительны, то есть первое условие выполняется. Таким образом, условия (13) являются необходимыми и достаточными условиями асимптотической устойчивости системы (11) ($\alpha = 0$), то есть номинального режима работы гидропривода с гидромотором.

Гидропривод с гидроцилиндром. В этом случае гидромотор *4* (рис. 1) заменяется на гидроцилиндр *1* с гидрораспределителем *2* (рис. 2).

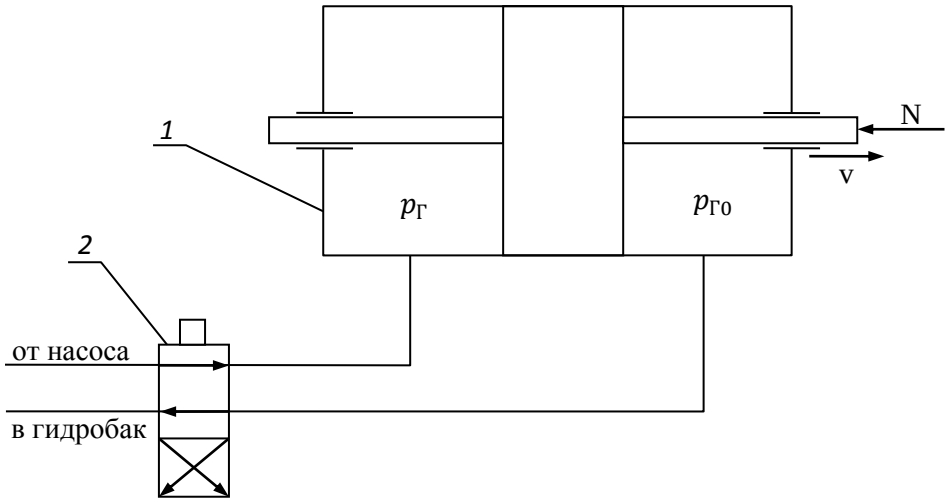


Рис. 2. Схема гидроцилиндра с гидрораспределителем.

Пусть поршень гидроцилиндра движется вправо, преодолевая внешнюю нагрузку на штоке *N*. пренебрегая потерями на трение, запишем уравнение динамики поршня гидроцилиндра в отклонениях от номинального режима работы:

$$m\frac{d\Delta V}{dt} = (\Delta p_\text{Г} - \Delta p_{\text{Г0}})\sigma - \Delta N, \qquad (14)$$

где $\Delta V = V - V_*$; $\Delta p_\text{Г} = p_\text{Г} - p_{\text{Г}_*}$; $\Delta p_{\text{Г0}} = p_{\text{Г0}} - p_{\text{Г0}_*}$; $\Delta N = N - N_*$; $p_\text{Г}$, $p_{\text{Г0}}$ – давление на входе в гидроцилиндр и на выходе из него; m, V – масса и скорость движения поршня; σ – кольцевая площадь поршня.

Имея ввиду, что $G = \sigma \cdot \rho \cdot V$, уравнение (10) заменим аналогичным уравнением

$$\Delta G = \sigma \cdot \rho \cdot \Delta V \qquad (15)$$

Динамика гидропривода с гидроцилиндром в отклонениях от номинального режима описывается уравнениями (1) – (3), (5) – (8), (14), (15). Исключая из них переменные $\Delta p_{\text{Н}}$, $\Delta p_{\text{Г}}$, ΔV, Δu, S и переходя к относительным отклонениям с учётом $\Delta p_{\text{Н0}} = \Delta p_{\text{Г0}} = 0$ получим систему уравнений в безразмерной форме (11), где $\alpha = \frac{\Delta N}{N_*}$, $a_4 = \left(\frac{\partial p_{\text{Н}}}{\partial n}\right)_* \cdot \frac{\sigma n_*}{N_*}$, $a_5 = \left[\left(\frac{\partial p_{\text{Н}}}{\partial G}\right)_* + K_{\text{Т}}\right]\frac{\sigma G_*}{N_*}$, $T_{\text{Т}} = \left(\sigma \frac{l_{\text{Т}}}{F_{\text{Т}}} + \frac{m}{S \cdot \rho}\right)\frac{G_*}{N_*}$, остальные величины те же, что и в (11).

Условия устойчивости номинального режима работы гидропривода с гидроцилиндром запишутся в таком же виде (13).

Выводы

1. Предложен способ автоматического регулирования скорости движения выходного звена гидропривода путём управления двигателем насоса по принципу обратной связи с измерением расхода рабочей жидкости.
2. Условия (13) могут быть использованы при проектировании различных регулируемых гидроприводов для рационального выбора значений параметров, обеспечивающих устойчивые режимы работы.

Список литературы:

1. *Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А.* Гидравлика и гидропривод. В 2ч. Ч.2. Гидравлические машины и гидропневмопривод. М.: МГИУ, 2005. 352 с.
2. *Крутов В.И.* Автоматическое регулирование и управление двигателей внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 1989. 416 с.
3. *Байрамов Ф.Д., Мардамшин И.Г.* Исследование функционирования гидравлических систем с ветронасосным агрегатом // Изв. вузов. Авиационная техника. 2008. №3. С. 59–62.
4. *Байрамов Ф.Д., Байрамов Б.Ф., Мардамшин И.Г.* Математическое моделирование и устойчивость гидросистемы с ветронасосным агрегатом // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2009. №4. С. 103–106.
5. *Попкович Г.С., Гордеев М.А.* Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: Учебник для вузов. М.: Высш. шк., 1986. 392 с.

05.17.08

В. Ф. Беккер к.т.н.

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

СТРАТЕГИЯ МНОГОУРОВНЕВОГО ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ АБСОРБЦИОННОЙ КОЛОННЫ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

Рассматривается методика многоуровневого физического моделирования абсорбции оксидов азота водой в колонне в подвижной насадкой, включающая исследование кинетики абсорбции на пилотной установке и структуры потоков в отдельной секции колонны на лабораторной установке.

Ключевые слова: абсорбция, подвижная насадка, оксиды азота, структура потоков.

На стадии физического моделирования может быть определена целесообразность применения того или иного контактного устройства, реальный диапазон изменения параметров конструкции и технологического режима, дана сравнительная оценка эффективности различных вариантов моделируемого процесса. Эти сведения определяют направления дальнейшей разработки аппаратурного оформления. Экспериментальные данные для построения и проверки адекватности математических моделей элементарных процессов могут быть получены лишь при правильной постановке задачи физического моделирования, выборе конкретных технических средств и способов осуществления этой задачи. Важность правильного выбора методики физического моделирования подтверждается также тем, что физическое моделирование является наиболее дорогостоящим и трудоемким этапом исследований.

Абсорбционная колонна с подвижной насадкой производительностью 100 т/сутки при давлении 0,34 МПа (см. рис. 1) конструктивно оформлена в виде сварного вертикального кожухотрубчатого аппарата диаметром 3,2 м и высотой 12 м, состоящего из двух одинаковых рабочих элементов. Внутренние объёмы элементов заполнены пучком секционирующих труб диаметром 150 мм, установленных в трубные решётки. По оси каждой из этих труб проходит стержень с закреплёнными на нем поперечными решетками, разделяющими внутренние полости на отдельные секции. В пространство между решётками помещена подвижная насадка. Конструкция нижней (опорно-распределительной) решетки не допускает провала элементов насадки, а верхняя (ограничительная) решётка препятствует выносу насадки за пределы секции. Поскольку в аппарате имеется несколько секций, то часть опорно-распределительных решёток играет роль ограничительных решёток для нижележащих секций. Подобное распределение насадки по внутреннему объёму колонны обеспечивает её продольное и поперечное секционирование. Верхние края секционирующих труб снабжены зубцами, основное назначение которых устранять одностороннюю подачу жидкости в рабочую зону.

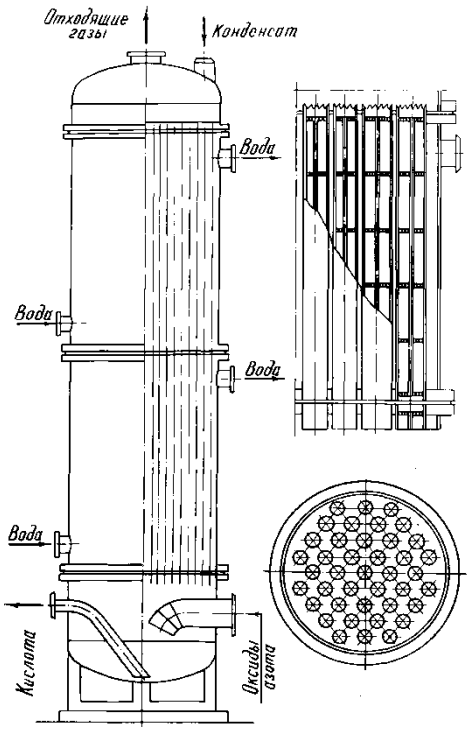


Рис.1. Промышленная абсорбционная колонна.

Оксиды азота из холодильника окислителя (сумма оксидов азота ≈ 8 об. %, α_0=0,7 … 0,8) подаются в низ колонны под первую решетку, абсорбент (паровой конденсат) – на последнюю, осуществляя противоточное движение фаз. Разбавленная азотная кислота (47 … 65%), стекающая с первой опорно-распределительной решётки в куб колонны, подаётся на отбелку (отдувка оксидов азота в отбелочной колонне), а затем в ёмкости хранилища.

В сепарационном пространстве каждой секции протекают процессы окисления, а в объеме трёхфазного псевдоожиженного слоя также сопровождаемые окислительными процессами – процессы поглощения оксидов и образования азотной кислоты. Суммарный тепловой эффект положителен и весьма значителен. Для съема тепла реакции в межтрубное пространство подается охлаждающий агент – вода $t_н^в$ ≈ 28°С, рассол $t_н^р$ ≈ 10°С или захоложенная вода $t_н^в$ ≈ 20°С. Для обеспечения поперечного обтекания охлаждаемых труб хладагентом и равномерного распределения потока по секциям в межтрубном пространстве установлены поперечные перегородки.

Теория подобия устанавливает физическому моделированию основное условие – равенство критериев геометрического и физического подобия в модели и моделируемом объекте. Однако выполнить это условие чрезвычайно трудно из-за наличия в описаниях сложных процессов с двухфазными потоками одновременно несовместимых критериев подобия [4].

Сформулированы [4] основные положения, которыми следует руководствоваться при моделировании насадочных и барботажных абсорберов:

– модель должна быть частью промышленного аппарата с сохранением размеров основных элементов (отверстий решёток, насадочных тел и пр.);

– критерии Рейнольдса для газового потока в модели и в моделируемом аппарате должны быть одинаковыми;

– плотность орошения и распределение орошающей жидкости должны быть одинаковыми в модели и промышленном объекте;

– размеры модели должны исключать влияние стенок аппарата и концевые эффекты.

Основным условием физического моделирования колонн с тарельчатыми контактными устройствами является равенство расстояний между тарелками в модели и моделируемом промышленном объекте. Иными словами, модель должна быть построена по методу «вертикальной вырезки». В этом случае основным вопросом, который необходимо решить при конструировании модели, является вопрос о выборе таких поперечных размеров модели, при которых режимы движения потоков в контактных устройствах моделируемого объекта к его модели будут достаточно близкими.

С учетом приведенных сведений и особенностей конструкции промышленной колонны (секционирование внутреннего объема пучком труб), выстроены основные этапы физического моделирования: 1 – отдельная секция; 2 – вертикальная «вырезка»; 3 – промышленная колонна (см. рис. 2).

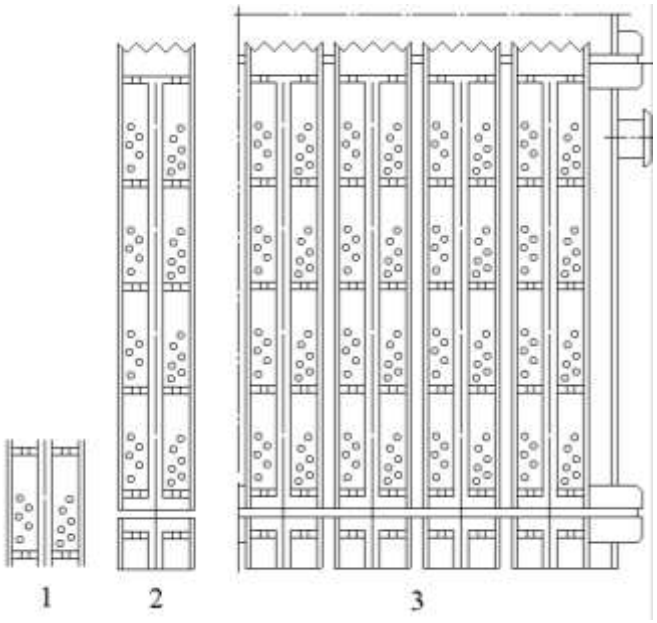


Рис. 2. Этапы физического моделирования.

В качестве основного средства физического моделирования принята модель-спутник (пилотная установка) промышленной абсорбционной колонны, которая по жидкостному и газовому потокам подключена параллельно действующей промышленной колонне. Отбор жидкостного и газового потоков в модель осуществляется от технологических линий, а сброс жидкостного и газового потоков производится в промышленные аппараты. Такая схема включения модели-спутника не ограничивает параметры жидкости и газа на выходе из модели-спутника рамками технологического регламента и допускает широкие пределы нагрузок на модель по жидкости в газу.

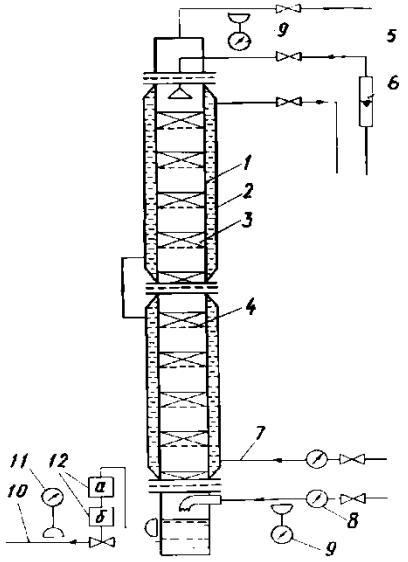


Рис. 3. Модель-спутник промышленной абсорбционной колонны.

Конструкция модели-спутника показана на рис. 3. Корпус колонны 1 состоит из двух одинаковых секций, в каждой из которых пять реакционных ступеней. Каждая ступень включает решётку 4 и насыпанный на нее слой подвижной насадки 3. Высота ступени – 800 мм. Корпус установки изготовлен из труб диаметром 159х4,5мм. Материал корпуса – нержавеющая сталь марки ХI8Н10Т. Визуальное изучение процесса и замер высоты трёхфазного слоя производятся через смотровые окна, вмонтированные в корпус модели-спутника. Для отвода тепла, выделяющегося при физико-химических процессах, протекающих внутри аппарата, на корпусе 1 установлена водяная рубашка охлаждения 2. Высота аппарата – 9,5 м.

Расход парового конденсата, подаваемого в верхнюю часть аппарата, контролируется ротаметром 6. Конденсат, последовательно проходя все решетки, постепенно насыщается оксидами азота, которые в составе нитрозных газов подаются через линию 8 под первую решётку снизу. Расход нитрозных газов замеряется расходомером переменного перепада давления 9. Полученная азотная кислота выводится из куба в линию отбора кислоты из промышленной колонны. Нитрозные газы, проходя все решетки снизу вверх, выводятся из верхней части установки в коллектор хвостовых газов промышленной колонны. Охлаждающая вода, расход которой контролируется ротационным счётчиком на линии 7, последовательно проходит обе секции и сбрасывается в сеть оборотной воды. Для предотвращения проскоков газа в линию отбора кислоты в кубе колонны поддерживается постоянный уровень кислоты системой стабилизации уровня 12 (*а* – регулятор, *б* – исполнительное устройство). Пробы для анализов отбираются на каждой секции колонны через вентили из линий отбора кислоты и сброса хвостовых газов. Режим развитого псевдоожижения насадки устанавливается изменением скорости нитрозных газов при определённой плотности орошения.

Приведённое выше описание промышленной абсорбционной колонны и модели-спутника позволяет достоверно оценить недостатки и преимущества различных уровней физического моделирования. Наиболее простая и дешевая по стоимости установка использует для изучения абсорбции оксидов азота непосредственно промышленный аппарат (рис. 1). Исследование на промышленных объектах исключает влияние пристеночных и концевых эффектов на процесс. Однако параметры режима меняются в очень узком диапазоне и при этом крайне трудно изменять параметры конструкции. Это резко снижает возможности моделирования и ценность полученных результатов. Кроме того, проведение

исследования на промышленных объектах связано с ощутимыми трудозатратами из-за значительного количества точек отбора проб и контроля технологических параметров.

Установки, использующие модели-спутники промышленных аппаратов, несколько сложнее и дороже, однако бесспорным их преимуществом является возможность изменять в широких пределах конструктивные и режимные параметры процесса. Условия, в которых изучается процесс на моделях-спутниках, могут быть максимально приближены к промышленным. Небольшое количество точек контроля параметров и отбора жидкостных и газовых проб позволяет свести к минимуму численность обсуживающего персонала и длительность исследования.

Модели-спутники трудно использовать для исследования гидродинамических процессов в аппарате, зависящих от особенностей конструкции колонны и режимных параметров. Это вызвано сложностью перемонтажа установки, тяжёлыми условиями работы датчиков, вследствие избыточного давления в аппарате и агрессивности контролируемых сред, ограниченностью визуальных наблюдений и др.

Известно, что структура потоков и газовой смеси в контактном устройстве по существу полностью определяет математическую модель процесса [1]. Предельные гидродинамические режимы служат ограничением области существование решения математической модели процесса. Межфазный массоперенос, определяющим фактором которого в интенсивных режимах служит взаимодействие потоков фаз, также во многом есть функция гидродинамических параметров процесса [2].

При исследовании структуры потоков нет необходимости проводить испытания с каждой конкретной системой газ-жидкость. Можно ограничиться [4] испытаниями на некоторых стандартных системах с последующим определением для этих систем коэффициентов массоотдачи, зависящих от основных факторов: скорости газа, плотности орошения и др. Переход от стандартных систем к конкретным системам с удовлетворительной точностью может быть сделан на основе лабораторных испытаний, а в ряде случаев и расчетным путем.

Следовательно, реализуя возможность масштабного перехода при моделировании колонн с подвижной насадкой на основе автомодельности – в полном соответствии с принципом продольно-поперечного секционирования [4] – для получения достоверных результатов моделирования достаточно испытаний отдельной секции (реакционной ступени) промышленной колонны. Схема такой экспериментальной установки представлена на рис. 4.

Установка состоит из колонки 1 диаметром 150 мм высотой 800 мм, изготовленной из органического стекла. При изучении структуры потоков в виде функции отклика системы на гидродинамические возмущения [2] жидкость из бака 2 насосом 3 подается в ёмкость 10. Емкость демпфирует пульсации в работе насоса. После демпфера жидкость поступает на орошение. Уровень жидкости контролируется в баках 2 и 10 визуально с помощью смотрового стекла 6. Плотность орошения измеряется ротаметрами 5. При подаче ступенчатых возмущений использовалась дополнительная линия (на рис. 4 слева). Покидая аппарат, жидкость поступает в бак 2 через стеклянный калиброванный сосуд, служащий для количественной оценки удерживающей способности аппарата как в установившемся, так и в переходных режимах. Таким образом, движение жидкости осуществляется по замкнутому циклу. Изменение уровня жидкости в калиброванном сосуде в виде отклика на изменение орошения регистрируется пневматическим компенсационным дифманометром 6 с пределами измерения 0 … 400 Па. Нагнетаемый воздуходувкой поток газа подается под опорно-распределительную решётку аппарата с насыпанным на неё слоем подвижной насадки. Расход воздуха измеряется диафрагмой 9. Перепад давления на колонке измеряется и регистрируется дифманометром с пределами измерения 0 … 4 кПа. Газосодержание и удельная поверхность контакта фаз измеряется электронносчётным прибором 7.

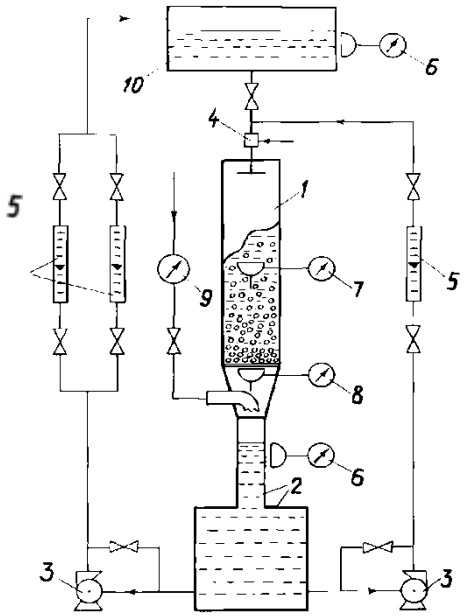


Рис. 4. Схема экспериментальной установки.

При проведении экспериментов с индикатором колонка функционирует по разомкнутому циклу [1]. Вода из водопроводной сети через ротаметры 5 поступает в демпфирующую ёмкость 10, затем на орошение псевдоожиженной насадки. Пройдя насадку, жидкость через гидравлический затвор, препятствующий проскоку газа, уходит на слив. Индикатор (водный раствор KCl) подается в ороситель через мембранное устройство 4. Кондуктометрическая проточная ячейка анализа концентрации 8, работающая по принципу измерения электропроводности, помещена непосредственно под опорно-распределительной решёткой. Запись изменений концентрации вытекающей из аппарата жидкости проводится непрерывно с помощью электронного автоматического моста переменного тока. Для контроля температуры, влияющей на электропроводность раствора индикатора, одновременно с записью электропроводности, регистрируется температура жидкости на выходе из проточной ячейки. В качестве датчика температуры используется вмонтированная в корпус проточной ячейки термопара градуировки ХК.

Таким образом, физическое моделирование выполнено последовательной реализацией трёхуровневого масштабного перехода: лабораторная установка, пилотная модель, промышленный абсорбер. Возможность такого масштабирования обеспечивается соответствием конструкции разработанного промышленного абсорбера с подвижной насадкой принципам продольно-поперечного секционирования.

Список литературы:

1. *Беккер В.Ф.* Управление структурой потоков в аппаратах химической технологии. Пермь: ПГТУ, – 2010. – 208 с.

2. *Беккер В.Ф., Киссельман И.Ф.* Математическое моделирование абсорбции аммиака в колонне с вращающейся подвижной насадкой. Научно-технический вестник Поволжья, №1, 2011.

3. *Дытнерский Ю.И.* Процессы и аппараты химической технологии Ч. 1, 2. – М.: Химия, 2002. – 400, 368 с.

4. *Рамм В.М.* Адсорбция газов. Изд. 2-е. М.: Химия, 1976. – 656 с.

05.12.04

В. Н. Будилов к.т.н.

Поволжский государственный университет сервиса
факультет информационно-технического сервиса
кафедра «Информационный и электронный сервис»
Россия, г. Тольятти
neuropower@yandex.ru

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ СООРУЖЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ

Предложен бесконтактный метод измерения частоты колебаний сооружений и конструкций для мониторинга их состояния. Метод не требует дорогостоящего оборудования и может работать при больших расстояниях до объекта. Получено экспериментальное подтверждение работоспособности метода.

Ключевые слова: бесконтактные измерения, мониторинг сооружений, телевизионные системы, цифровой датчик изображения, видеопоток

Технологии предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера входят в «Перечень критических технологий Российской Федерации». Системы мониторинга безопасности сооружений помогают выявить деформации и изменения характеристик материалов несущих конструкций на ранних стадиях [1–4]. В них используются как контактные (дифференциальные трансформаторы, акселерометры, приемники навигационных систем), так и бесконтактные датчики (оптические тахеометры, лазерные сканеры, радиолокационные устройства, видеокамеры). Системы, основанные на цифровых видеокамерах, отличаются от прочих низкой стоимостью необходимого оборудования. Это делает возможным расширение сферы мониторинга с уникальных или крупномасштабных сооружений до типовых объектов.

Для измерения параметров колебаний с помощью видеокамер обычно используются корреляционные методы обработки видеопотока [3, 4]. В них находятся векторы смещения между текущим кадром и опорным кадром, в котором объект считается несмещенным. Такие методы позволяют найти мгновенные значения смещений и определить полную временную картину колебаний в полосе пропускания системы. Вместе с тем, из-за того, что используется только два кадра из видеопотока, такие методы чувствительны к внешним воздействиям (шумам аппаратуры, турбулентности атмосферы, влиянию неподвижного фона). Поэтому представляет интерес поиск и исследование методов, анализирующих много кадров, что дает возможность использовать эффект накопления для подавления шумов. В представленной работе рассматривается один из таких методов, позволяющий измерить частоту колебаний и приводятся результаты экспериментальной проверки.

Пусть имеется последовательность кадров, зарегистрированных цифровым датчиком изображения, объектив которого направлен на колеблющийся объект. Будем называть такую последовательность цифровым видеопотоком. Цифровой видеопоток может быть описан 3-мерной функцией от целых координат $V(i,j,k)$, где $i = 0,1,...I-1$, $j = 0,1,...J-1$ – номера пикселей соответственно вдоль строки и вдоль столбца кадра; $k = 0,1,...K-1$ – номер кадра; I, J – ширина и высота кадра в пикселях; K – количество кадров. Двумерное сечение видеопотока плоскостью $j = j_S$ обозначим $S(i,k) = V(i,j_S,k)$. В предлагаемом методе далее используется представление сечения в виде одномерной функции видеосигнала $L(n)$,

полученной в результате построчной развертки, аналогичной развертке кадра в телевидении. Обозначим $n = i + kI$. Тогда $L(i + kI) = S(i,k)$ или $L(n) = S(n - I\left\lfloor \frac{n}{I} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{n}{I} \right\rfloor)$, где $\lfloor \ \rfloor$ обозначает целую часть.

При заданной частоте кадров F_K период этой функции, выраженный в секундах, совпадает с периодом кадров $T_K = 1/F_K$. Из-за несинусоидальности $L(n)$ имеет спектр, содержащий множество гармоник с частотами, кратными F_K. Однако, если нет колебаний объекта, то между гармониками спектр близок к нулю.

Колебания объекта приводят к фазовой модуляции с периодом модулирующей частоты (выраженному в номерах отсчетов n) $IT_O/T_K = IF_K/F_O$ и с девиацией фазы, пропорциональной амплитуде колебаний объекта. Хорошо известно, что фазовая модуляция синусоидальной несущей приводит к появлению в спектре сигнала так называемых боковых составляющих с частотами, отличающимися от частоты несущей F_K на интервалы, кратные частоте модулирующего колебания $F_O/(IF_K)$. Так как величина IF_K для заданного видеопотока известна, измерив интервалы между боковыми составляющими, можно легко найти частоту колебаний объекта F_O.

Вследствие несинусоидальности несущей боковые составляющие появляются также и для всех ее гармоник. Это дает возможность усреднить (накопить) интервалы спектра между гармониками, что позволяет повысить помехоустойчивость обнаружения боковых составляющих и точность измерения их частот.

Для исследования предлагаемого метода был реализован следующий алгоритм.

1. Видеопоток регистрировался в ПК в виде последовательности кадров.

2. Для заданной растровой строки из K кадров формировалось сечение $S(i,k)$, $k = 0,1,...K-1.$

3. Сечение развертывалось в одномерный видеосигнал $L(n)$, $n = 0,1,...N-1$, где $N = IK$ – общее количество пикселей в сечении.

4. Вычислялось дискретное преобразование Фурье (ДПФ) от $L(n)$.

5. По ДПФ вычислялась амплитуда спектра $A(m)$, $m = 0,1,...N-1$, где m – номер спектральной компоненты (дискретная частота).

6. Последовательность $A(m)$ разбивалась на I фрагментов между гармониками: $B_i(k) = A(iK + k)$ по K компонент.

7. Рассчитывалась суммарная функция по всем фрагментам $B(k) = \sum_{i=0}^{I} B_i(k)$, которую далее будем называть усредненным спектром.

8. Определялось положение k_{MAX} максимума в усредненном спектре среди $k = 0,1,... K/2-1.$

9. Частота колебаний объекта вычислялась как $F_O = F_K\, k_{MAX}/K$.

В ряде случаев после шага 2 применялась дополнительная обработка сечения: гауссовское сглаживание и усиление контраста.

На рис. 1 приведены фрагменты кадров, полученные при съемке башенного крана с расстояния около 800 м.

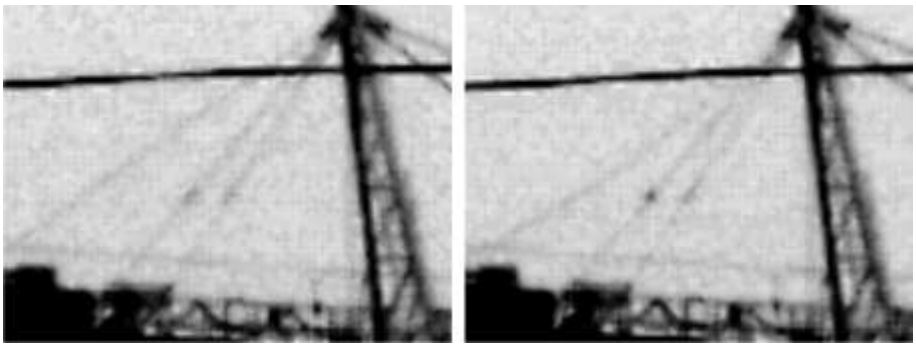


Рис. 1. Колебания троса грузовой лебедки.

В этом эксперименте была поставлена задача измерения частоты колебаний троса грузовой лебедки. Для получения видеопотока было использовано простейшее оборудование: web-камера, объектив которой был заменен на более длиннофокусный. Следует отметить, что на рис. 1 контраст повышен в 5 раз по сравнению с исходными малоконтрастными и зашумленными кадрами, на которых трос трудно различим визуально.

Примеры сечений видеопотока представлены на рис. 2 для случая развития колебаний (слева) и для установившихся колебаний (справа), а на рис. 3 показаны начальные участки усредненных спектров, найденных по описанному выше алгоритму.

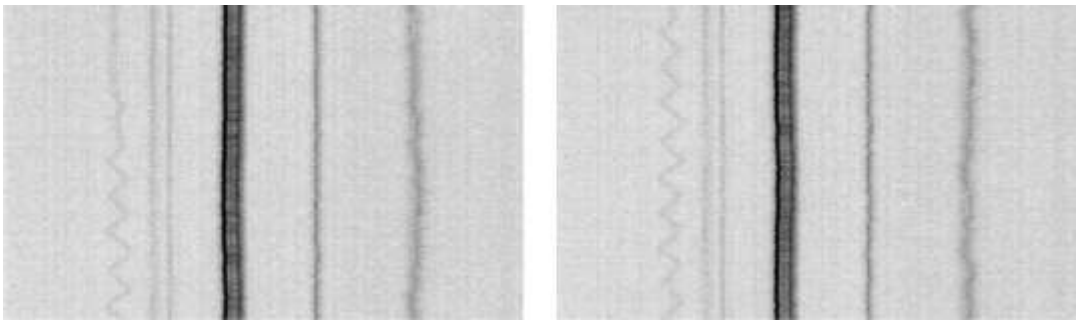


Рис. 2. Сечения видеопотока.

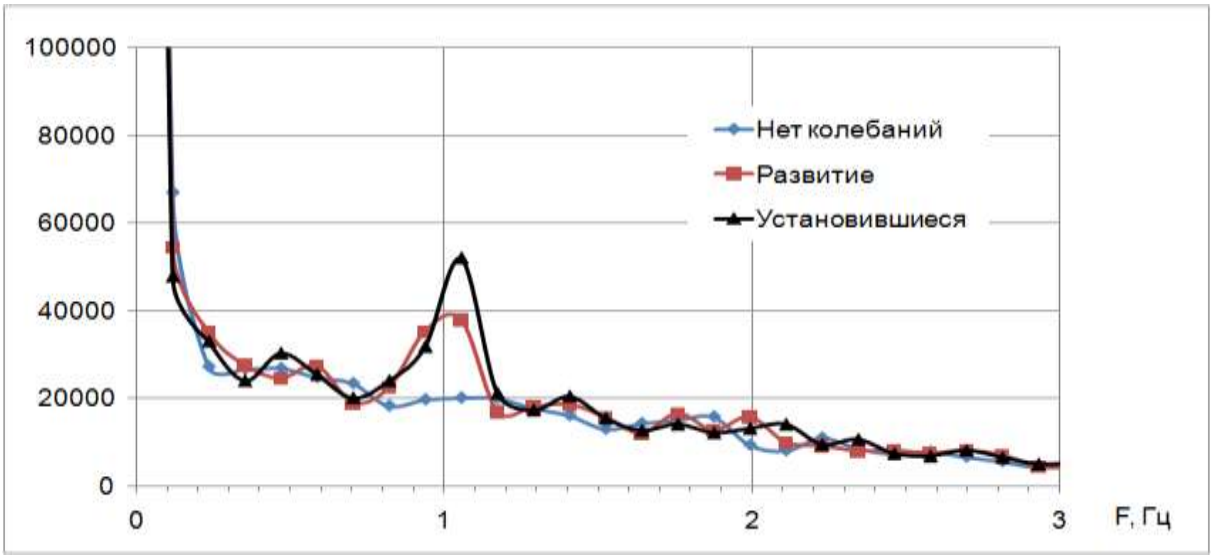


Рис. 3. Усредненные спектры.

Возникновение и развитие колебаний троса привело к появлению четко различимого максимума на частоте колебаний около 1 Гц. Положение максимума совпадает с частотой, вычисленной вручную по исходным кадрам видеопотока и сечениям рис. 2.

Полученные результаты показывают, что предложенным методом возможно измерение частоты колебаний сооружений и конструкций на расстояниях, по крайней мере, в несколько сотен метров.

Список литературы:

1. *Рязанцев, Г. Е.* Современные автоматизированные системы контроля деформации большепролетных конструкций / Г. Е. Рязанцев, И. А. Седельникова, И. А. Назаров // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2006. – № 7. – С. 50–51.
2. *Gentile C.* Application of Microwave Remote Sensing to Dynamic Testing of Stay-Cables / Remote Sensing. – 2010. – N. 2. – P. 36–51.
3. *Yoneyama S.* Bridge Deflection Measurement Using Digital Image Correlation / S. Yoneyama, A. Kitagawa, S. Iwata, K. Tani, H. Kikuta // Proceedings of the 2006 SEM Annual Conference and Exposition on Experimental and Applied Mechanics. – 2006. – P. 132–141.
4. *Zappa E.* Vision-based Vibration Monitoring of a Large Steel Structure / G. Busca, A. Cigada, M. Vanali, E. Zappa // EVACES 2011 – Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures. – P. 561–568.

05.07.05

Р. В. Бульбович д.т.н., Л. Н. Бутымова, Д. В. Зимин, В. Я. Модорский д.т.н., П. В. Писарев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, г. Пермь
cluster@pstu.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АКТИВНОЙ ЗАГЛУШКИ РЕЗОНАТОРА

Статья выполнена при поддержке субсидии в соответствии с постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 г. №218 (проект «Создание высокотехнологичного производства для оказания услуг по испытаниям газотурбинных установок мощностью до 40МВт на многоцелевом адаптивном экологичном стенде»).

Приводятся результаты численных экспериментов по исследованию процесса возбуждения волновых процессов в акустическом резонаторе. Установлены режимы, при которых в волноводах переменного сечения возникает механический резонанс. Рассчитаны три варианта модели заглушки резонатора, являющейся, по сути, акустическим трансформатором, с целью улучшения характеристик во фронте формируемой излучателем ударной волны.

Ключевые слова: акустический трансформатор, волновод, волновые процессы, модальный анализ, гармонический анализ, аэроупругие колебания.

Совершенствование рабочих процессов в энергетических установках сопряжено с решением ряда проблем. В частности, необходимо совершенствование расчетных моделей и методик, позволяющих прогнозировать опасные аэроупругие колебания в конструкции [1], [2], [3].

Исследование таких колебаний возможно на модельной экспериментальной установке. Одним из важных элементов такой установки является активная заглушка. Данный элемент конструкции используется для возбуждения колебаний в газовой полости конструкции.

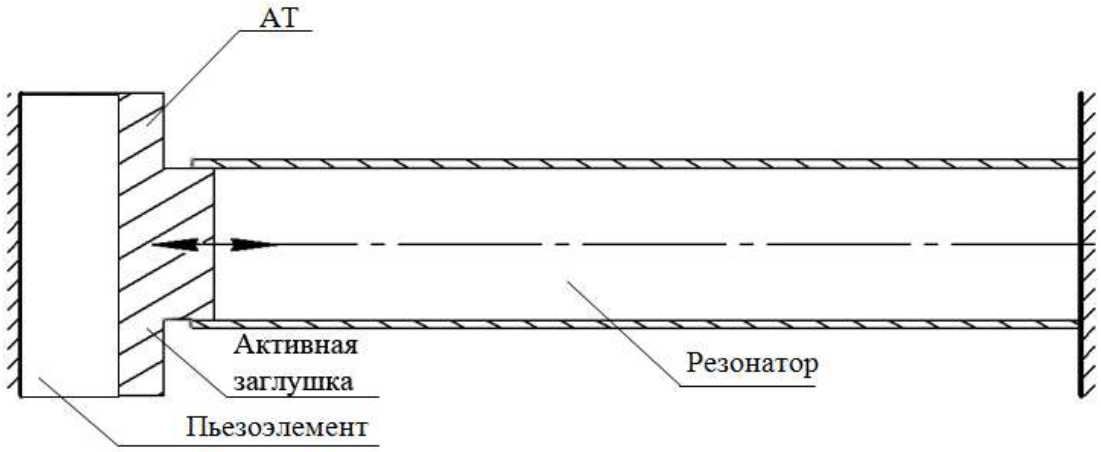


Рис. 1– Расчетная схема экспериментальной установки.

В качестве активной заглушки предлагается использовать акустический трансформатор. Акустические трансформаторы (АТ) или волноводы применяются для

получения звуковых колебаний большой амплитуды. Эти устройства представляют собой стержни переменного сечения из металла, пластика, стекла, керамики и других упругих материалов. В зависимости от характера изменения сечения различают ступенчатые, конические или экспоненциальные акустические трансформаторы. В полной постановке требуются моделирование, как источника колебаний, так и объекта воздействия, который, в общем случае, может представлять собой динамическую систему «поток газа – конструкция из композиционных материалов», что предполагает необходимость совместного решения газодинамической задачи и задачи теории упругости.

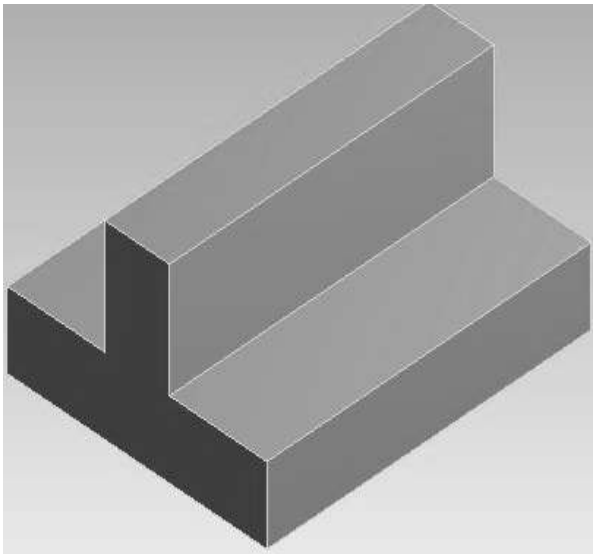


Рис. 2– Конструктивная схема АТ.

В силу сложности поставленной задачи принято решение о ее поэтапной реализации. На первом этапе, для поиска наиболее эффективных конструкций, исследуются процессы в источнике колебаний. Принималось, что длина волновода должна иметь вполне определенное значение, чтобы частота собственных колебаний устройства совпадала с частотой возбуждающих колебаний, т.е. чтобы имел место механический резонанс. Вычислительный эксперимент проводился в системе инженерного анализа ANSYS с твердотельной моделью, имеющей следующие габаритные размеры: длина – 0,08 м, ширина – 0,05 м, высота – 0,1 м. Характер изменения сечения – ступенчатый. Материал – конструкционная сталь.

В волноводах переменного сечения скорость распространения фронта волны является функцией скорости изменения сечения и физико-механических характеристик материала, поэтому вычисление резонансных частот волновода представляет определенные трудности. Кроме того, сложно вычислить амплитуды паразитных поперечных колебаний в волноводе, если его ширина или диаметр сравнимы с длиной волны или больше ее. В этом случае рабочая поверхность волновода колеблется несинфазно, что снижает качество генерируемых звуковых колебаний.

Для данной конструкции был проведен модальный анализ, определены собственные частоты и формы колебаний конструкции. Результаты расчета могут явиться начальными данными расчета переходных процессов, исследования вынужденных или случайных колебаний [4].

Для анализа собственных частот широкую грань закрепляем неподвижно.

Результаты модального анализа для первых двадцати мод позволили выявить соответствующие им частоты и визуально, в соответствии с полученными анимационными картинами, определить, какой частоте соответствуют колебания в направлении оси Y. Далее,

был проведен гармонический анализ. Для этого были заданы перемещения широкой грани вдоль оси Y с амплитудой 5 мкм. По остальным граням – свободное перемещение.

Рассмотрим результаты гармонического анализа. Диапазон частот изменяется от 9,35 до 35 кГц. Данный вид анализа позволил построить зависимость амплитуды перемещения рабочей поверхности от частоты.

Модальный анализ показал, что резонансной является частота колебаний вдоль оси Y, равная 26,5 кГц. В ходе гармонического анализа был рассчитан коэффициент усиления K_y, равный отношению осредненной амплитуды перемещений узкой грани к отношению осредненной амплитуды перемещений широкой грани.

Расчеты показали, что наибольший коэффициент усиления K_y равен 2,62 при частоте 26,5 кГц.

По результатам проведенных расчетов определены параметры нагружения экспериментальной установки, позволяющие получить максимальный коэффициент усиления K_y для заданных физико-механических и геометрических характеристик акустического трансформатора.

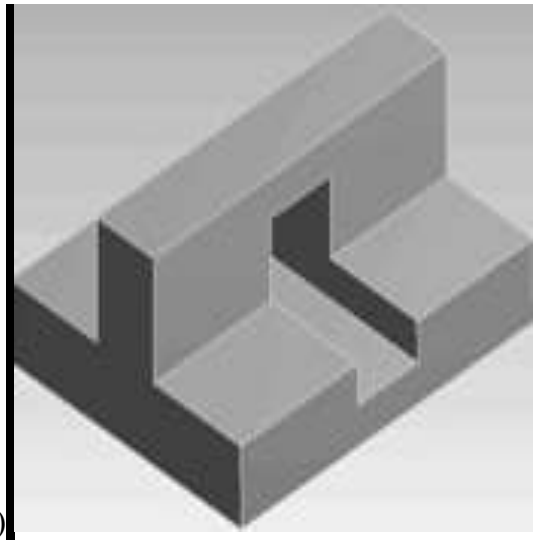
Выявлено, что узкая грань АТ при работе изгибается, что приводит к падению эффективности работы излучателя.

Для уменьшения прогиба рабочей грани предложены конструктивные мероприятия.

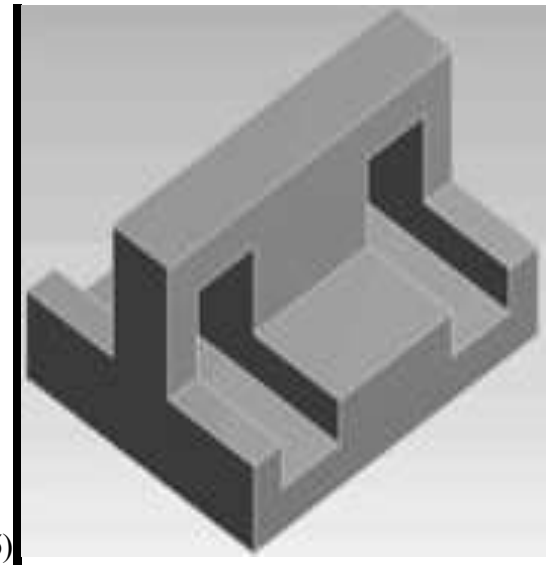
В теле волновода были вырезаны щели, шириной – 0,2 м, высотой – 0,3 м.

Для конструкции был проведен модальный анализ. Первый вариант рассматривался при наличии одной щели, резонансная частота, равная 25,6 кГц установлена на шестой моде из заявленных двадцати, при двух щелях резонансная частота возникает на восьмой моде и равна 25,3 кГц, при трех щелях резонансная частота имеет значение 21,8 кГц, зафиксирована на восьмой моде.

а)



б)



в)

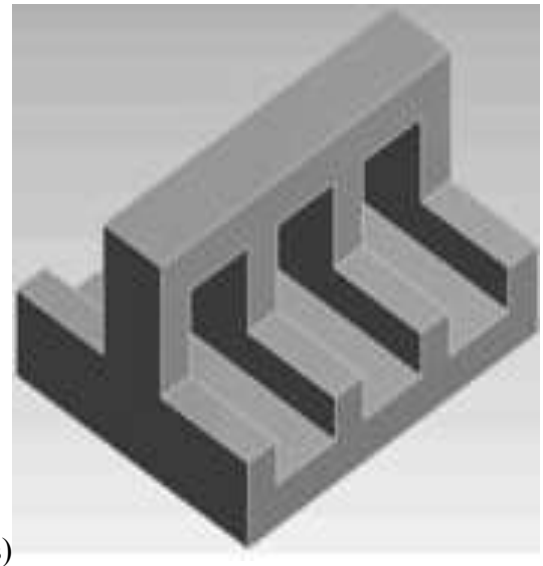
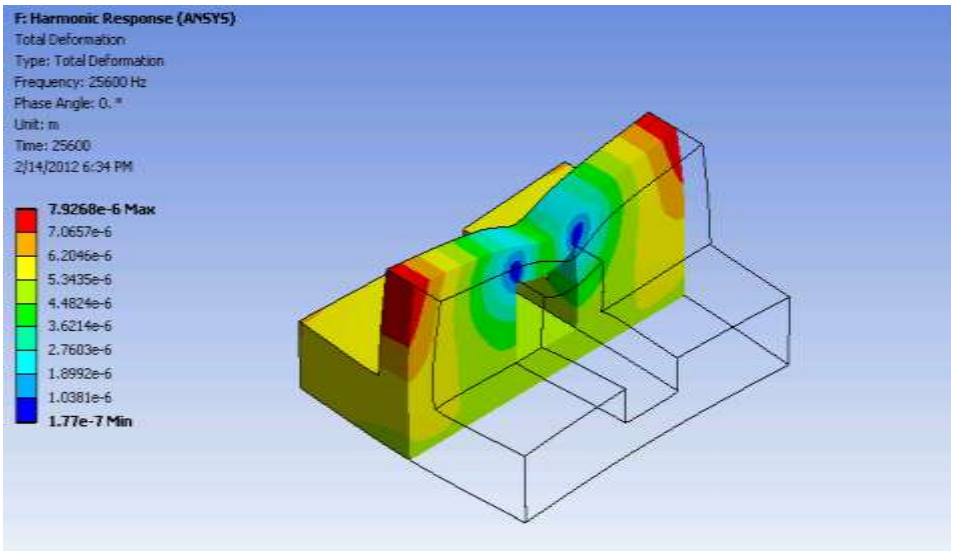


Рис. 3– Модификации конструкций акустических трансформаторов
а) вариант 1; б) вариант 2; в) вариант 3.

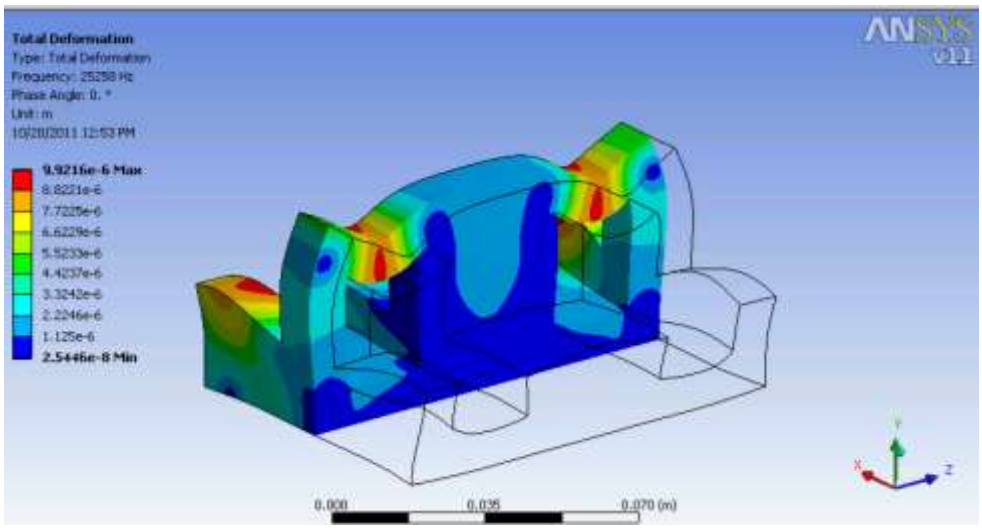
Рассмотрим результаты гармонического анализа для волноводов с одной, двумя и тремя щелями, в диапазоне частот от 6 кГц до 35 кГц. Перемещения широкой грани вдоль оси Y заданы с амплитудой 5 мкм. Получены графики зависимости амплитуды перемещения рабочей поверхности от частоты, коэффициент усиления K_y равный 2,794 при частоте 26,3 кГц – для волновода с одной щелью, для волновода с двумя щелями – коэффициент усиления K_y равный 2,57 при частоте 23,4 кГц, для волновода с тремя щелями – коэффициент усиления K_y равный 2,71 при частоте 20,5 кГц.

У АТ с одной щелью рабочая поверхность изгибается неравномерно, отклонения крайних точек узкой грани достигают 8 мкм, причем в середине узкой грани отклонения составляют 4,5 мкм. У волновода с двумя щелями установившееся движение узкой, рабочей, грани практически равномерное, но на периферии зафиксированы перемещения, отличные от осредненных значений. При наличии трех щелей в теле волновода, узкая грань перемещается практически равномерно, крайние точки рабочей поверхности имеют отклонение 7,8 мкм, в середине значения равны 0,08 мкм.

а)



б)



в)

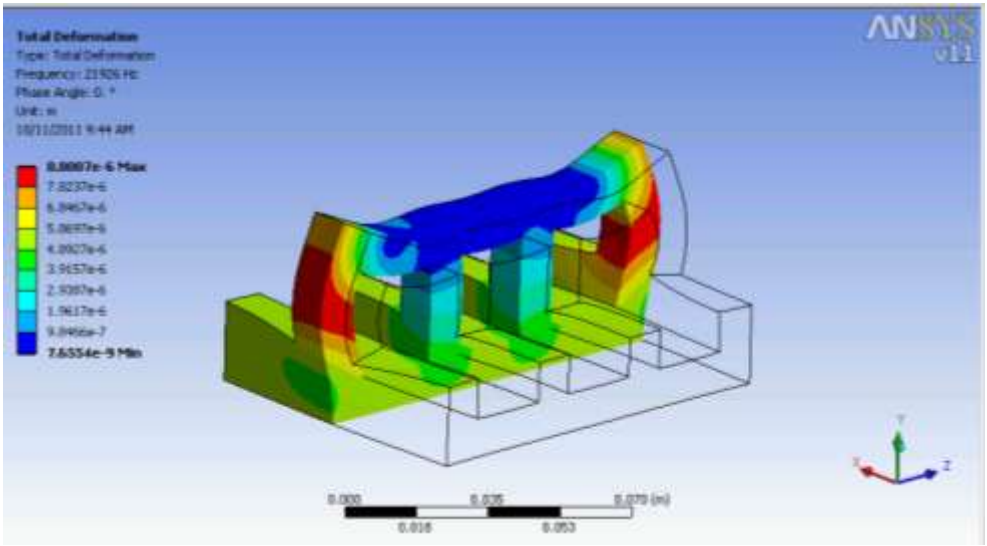


Рис. 4– Поля перемещений
а) вариант 1; б) вариант 2; в) вариант 3

При получении сводного графика зависимости коэффициента усиления от частоты выявилась закономерность. При увеличении количества щелей в волноводе коэффициент усиления K_y уменьшался, также как и частота, при которой он имел свое максимальное значение.

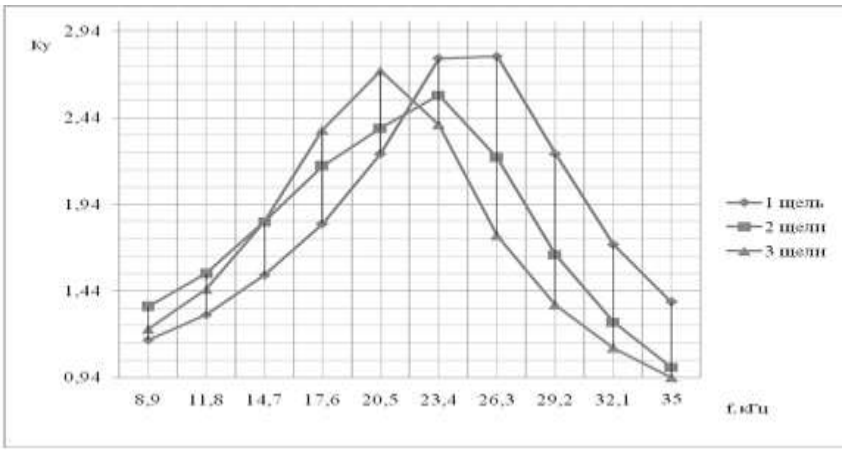


Рис. 5– Зависимость коэффициента усиления акустического трансформатора от частоты.

Был поведен анализ жесткости конструкции для вариантов АТ с различным количеством прорезей. В результате этого был построен график, зависимости частоты от номера щели. Из графика видно, что увеличение количества щелей приводит к уменьшению резонансной частоты.

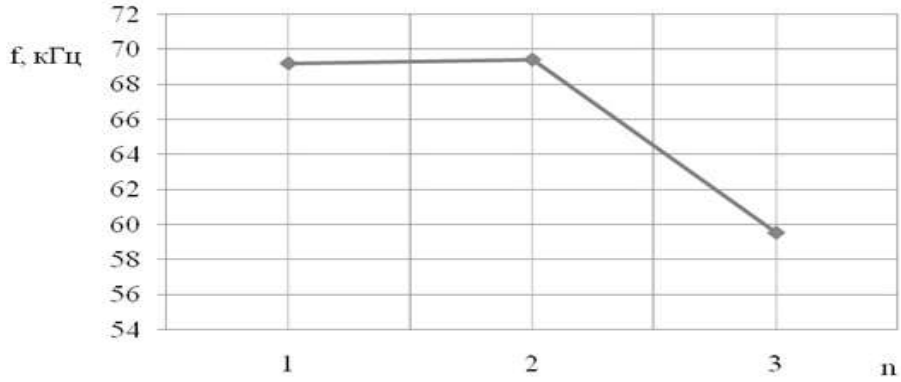


Рис. 6– Влияние конструкции на резонансную частоту.

Список литературы:

1. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

2. Козлова А. В. Моделирование процессов охлаждения в канале переменного сечения газохода / А. В. Козлова, В. Я. Модорский, А. Н. Поник // Изв. высш. учеб. заведений. Авиационная техника. – 2010. – № . 4– С.23-26

3. Петров В.Ю., Модорский В.Я. Аэроупругое деформирование конструкции РДТТ при наддуве// Изв. высш. учеб. заведений. Авиационная техника. – 2011. – № . 3– С.28-30

4. Модорский В.Я., Соколкин Ю.В. Газоупругие процессы в энергетических установках. – М. Наука, 2007 – 176 с.

05.07.03

Т. В. Бурнышева к.т.н., Ю. А. Кравцова

Новокузнецкий институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»
факультет информационных технологий
кафедра математики и математического моделирования
Россия, г. Новокузнецк
tburn@mail.ru, reticent88@mail.ru

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕК ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

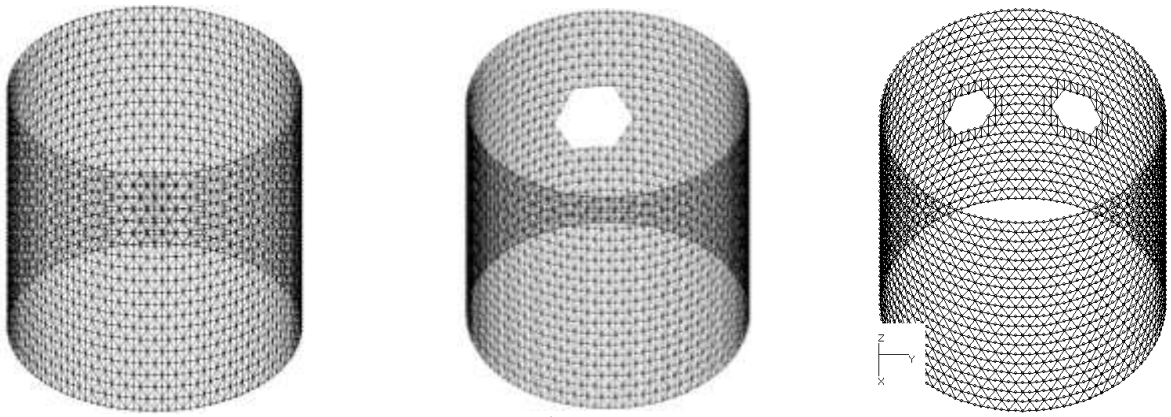
Представлены результаты исследования влияния сквозных вырезов на устойчивость сетчатых композиционных оболочек при осевом статическом нагружении. Приведены собственные значения матриц жесткости и геометрической жесткости оболочки. Построены первые формы потери устойчивости конструкции.

Ключевые слова: сетчатые оболочечные конструкции, потеря устойчивости конструкции, собственные значения, формы потери устойчивости.

Расчет устойчивости оболочек, имеющих сложную структуру, вызывает вычислительные и принципиальные трудности. Их разрешение является одной из актуальных проблем разработки оболочечных конструкций, и несомненно, представляет теоретический и практический интерес.

Данная статья дополняет серию публикаций по расчету и исследованию полей перемещений и напряжений, возникающих в сетчатых композиционных оболочечных конструкциях сложной структуры, содержащих вырезы технологического или конструктивно назначения, при осевом статическом нагружении [2-6].

Исследовалось влияние сквозных усиленных и некомпенсированных вырезов на устойчивость композиционной сетчатой оболочечной конструкции, содержащей обшивку и регулярную систему кольцевых и спиральных ребер (рисунок 1). Вдоль образующей оболочка нагружена сжимающей силой $\vec{P}$. Нагрузка распределена равномерно по верхнему торцу, на котором запрещен поворот нормали относительно касательной к круговому сечению. Нижний торец жестко закреплен. Высота цилиндра составляет 1,96R (R – радиус оболочки). Длина и полувысота ромбической ячейки, образованной пересечением спиральных ребер, составляет 0,099R. Площади поперечных сечений кольцевых и спиральных ребер равны. Толщина обшивки 0,0024R. Ниже представлены физико-механические характеристики материала ребер: E=3000 кгс/мм^2, G=500 кгс/мм^2, $\mu_1=\mu_2$=0,2 и обшивки: E_1=408 кгс/мм^2, E_2=6329 кгс/мм^2, G_{12}=367 кгс/мм^2, μ_{12}=0,72.



а) б) в)

Рис. 1– Цилиндрические сетчатые оболочечные конструкции:
а) без вырезов; б) с неподкрепленным вырезом; в) с усиленными вырезами.

Проводилось 3 серии вычислительных экспериментов. В первой серии изучалось влияние наличия выреза с усилением и без усиления на устойчивость оболочки. Вырез имел шестиугольную форму и располагался посредине образующей. Число элементарных ромбических ячеек по длине выреза равнялось шести, по высоте - трем. Ширина окантовки составляла одну ромбическую ячейку, толщина соответствовала толщине спиральных и кольцевых ребер. При проведении численных расчетов размеры выреза и окантовки оставались неизменными.

Во второй серии экспериментов в оболочке располагалось два неподкрепленных выреза (рисунок 1-б), идентичных описанному выше, и варьировалось расстояние N между ними. Расстояние изменялось от $\frac{1}{3}l$ до $4\frac{1}{3}l$ с шагом $\frac{1}{3}l$, где l - длина выреза.

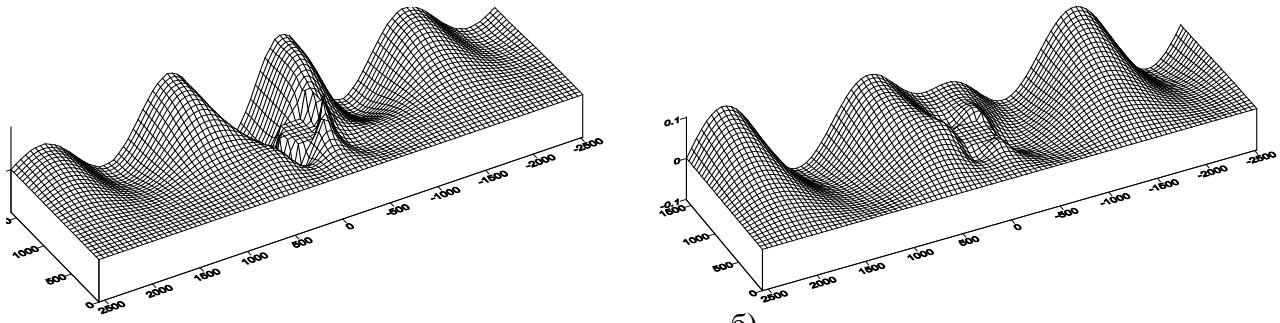
Третья серия экспериментов повторяла вторую, при этом учитывались подкрепления отверстий (рисунок 1-в).

Откликом выступали собственные значения λ пары глобальных матриц жесткости и геометрической жесткости рассматриваемых оболочек и соответствующие им поля перемещений.

В качестве инструмента расчета устойчивости конструкций использовался пакет программ «Композит-НК» [7]. Данный пакет программ предназначен решение краевых задач методом конечных элементов [10]. При построении дискретной модели разбиение обшивки на конечные элементы получалось естественным образом наложением оребрения, конечные элементы при этом получались треугольными. Для моделирования ребер использовался двухузловой конечный элемент с 6-ю степенями свободы в каждом узле и аппроксимацией прогибов эрмитовыми полиномами 3-й степени [8], учитывающий деформации поперечного сдвига по сдвиговой модели Тимошенко. Обшивка и окантовка моделировались элементами изгибаемой пластины Зенкевича с неполной кубической аппроксимацией прогибов [9]. Перемещения вдоль осей элементов ребер и в плоскости каждого треугольника обшивки аппроксимировались линейными сплайнами.

Для определения критических параметров устойчивости решалась обобщенная задача на собственные числа пары глобальных матриц жесткости и геометрической жесткости конструкции. Рассчитанный численно собственный вектор определяет форму потери устойчивости оболочки. Вычисленные собственные значения показывают, какую долю приложенной нагрузки необходимо приложить к конструкции, чтобы получить соответствующую форму потери устойчивости. В качестве метода вычисления нескольких наименьших собственных значений и соответствующих векторов в пакете программ «Композит-НК» реализован метод итераций в подпространстве [1].

Поскольку среди форм потери устойчивости могут оказаться местные, не приводящие к полному исчерпанию несущей способности, имеет смысл проанализировать несколько наименьших собственных чисел. Отклики первой серии экспериментов (три наименьших собственных значения) представлены в таблице. На рисунках 2, 3 представлены первые формы потери устойчивости конструкций с одним вырезом.



а) б)

Рис. 2 – первые формы потери устойчивости конструкций:
а) с одним вырезом; б) с одним усиленным вырезом.

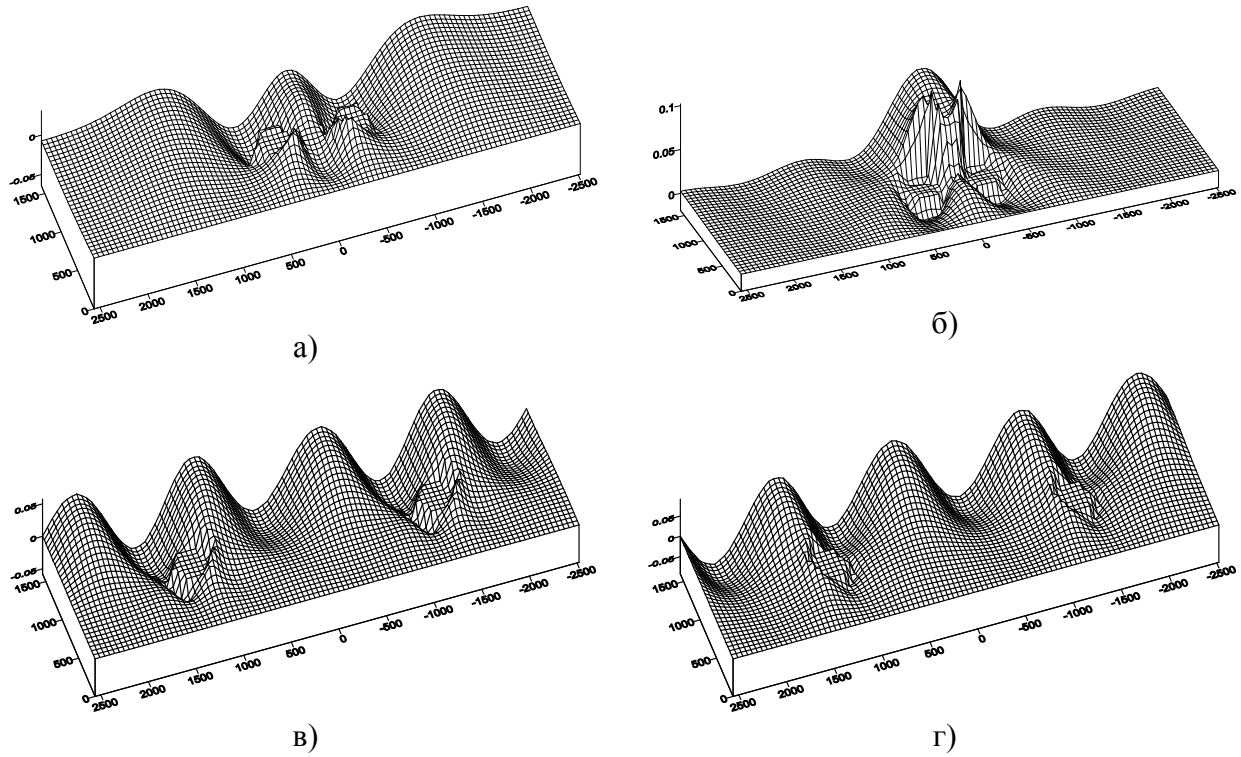
Сравнительный анализ проводился относительно эталонной модели – конструкции без вырезов с регулярной структурой сетки (рисунок 1-а). Перемещения обеих конструкций распределены вдоль окружности волнообразно и неравномерно. Абсолютная величина перемещений уменьшается по образующей конструкции от нагруженной кромки к закрепленной. Максимальные перемещения приходятся на область неподкрепленного выреза и на внешний край окантовки.

Таблица – Собственные значения матриц жесткости и геометрической жесткости оболочек.

Оболочка без вырезов	**Оболочка с некомпенсированным вырезом**	**Оболочка с усиленным вырезом**
λ_1=0,18709	λ_1=0,07577	λ_1=0,21657
λ_2=0,32509	λ_2=0,23558	λ_2=0,42082
λ_3=0,44351	λ_3=0,37959	λ_3=0,51665

На рисунке 3 представлены первые формы потери устойчивости конструкции с двумя вырезами при максимальном и минимальном расстоянии N между ними. Как видно из рисунков (рисунок 3-а, 3-б), при небольшом расстоянии между вырезами перемещения в их окрестности имеют максимум, а наличие усилений вырезов приводит ещё большему всплеску перемещений. Абсолютная величина перемещений в оболочке уменьшается не только по образующей конструкции, но и по окружности по мере удаления от вырезов. С увеличением расстояния N значения перемещений вблизи вырезов уменьшаются, что свидетельствует об ослаблении влияния вырезов друг на друга.

Анализ первых форм потери устойчивости конструкций при варьировании N показал, что в оболочках с усиленными вырезами взаимное влияние последних ослабевает по мере увеличения расстояния между вырезами и исчезает, если расстояние между ними превышает размер самого выреза, т.е. *l*. Для оболочек с неподкрепленными вырезами это расстояние составляет $1\frac{1}{3}\,l$ и более.



а) б)

в) г)

Рис. 3 – первые формы потери устойчивости конструкции с двумя вырезами:
а) без усилений N= $\frac{2}{3}$ *l*; б) с усилениями N= $\frac{1}{3}$ *l*;
в) без усилений N=4 $\frac{1}{3}$ *l*; г) с усилениями N=4 $\frac{1}{3}$ *l*.

В результате найдено, что наличие некомпенсированного выреза приводит к уменьшению в 2,5 раза критической нагрузки, необходимой для получения первой формы потери устойчивости конструкции. Наличие усиления у выреза, напротив, способствует повышению критической нагрузки в 1,16 раза.

Взаимное влияние одинаковых по размеру вырезов на поля перемещений для первой формы потери устойчивости оболочки наблюдается при расстоянии, равном или меньшем размера самого выреза. При большем расстоянии между вырезами их можно рассматривать, как одиночные вырезы.

Полученные результаты можно использовать при оценке несущей способности сетчатых оболочечных конструкций, содержащих сквозные вырезы с усилением и без окантовок.

Список литературы:

1. *Бате К. Ю.* Методы конечных элементов.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 1024 с.
2. *Бурнышева Т.В.* Расчет коэффициентов концентрации при статическом деформировании ферменных конструкций из композиционных материалов // Решетневские чтения: материалы XIV Междунар. науч.конф., посвящ. памяти генерал. конструктора ракет.-космич. систем академика М.Ф. Решетнева (Красноярск, 10-12 нояб. 2010 г.). - Красноярск, 2010. – С. 380-382.
3. *Бурнышева Т.В.* Сравнение дискретного и континуального подхода к расчету напряженного состояния сетчатых оболочечных конструкций при статическом нагружении // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011 г. – №4. – С. 113-116.
4. *Бурнышева Т.В.* Учет конструктивных вырезов при расчете полей напряжений оребренных оболочечных конструкций из композиционных материалов при статическом деформировании// Научный вестник НГТУ.-2011.- №3 (44)-С. 93-102.
5. *Бурнышева Т.В., Каледин В.О., Миткевич А.Б.* Фоновые напряжения в ферменных конструкциях из композитов// Научный вестник НГТУ.-2011.- №3 (44)- С. 103-114.
6. *Бурнышева Т.В., Каледин В.О., Миткевич А.Б.* и др. Статическое деформирование композиционных сетчатых конструкций. Влияние обшивки на фоновые напряжения // Вопросы оборонной техники. – 2009. – Вып. 3(154) – 4(155). – С. 5-10.
7. *Бурнышева Т.В., Каледин В.О., Равковская И.В.* и др. Развитие пакета программ математического моделирования сопряженных задач механики неоднородных конструкций // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2010. – № 1(41). – С. 3-8.
8. *Гузь А.Н., Григоренко Я.М., Бабич И.Ю.* и др. Механика композитных материалов и элементов конструкций: в 3-х т. Т. 2. Механика элементов конструкций. – Киев: Наук. Думка, 1983. – 464 с.
9. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 544 с.
10. *Сегерлинд Л.* Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 392 с.

05.11.16

П. А. Бурцев, М. В. Грушичева, В. В. Слепцов д.т.н.

Московский государственный университет приборостроения и информатики
кафедра ПР-1 «Приборы и информационно-измерительные системы»
Россия, г. Москва
gru2@list.ru

ОТРАБОТКА СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

В статье проведен обзор основных типов электромагнитных помех и отработка методов снижения их воздействия для применения в опытных образцах системы измерения профилей деталей вращения сложной формы и блочно – модульного стенда для исследования асинхронного электропривода.

Ключевые слова: электромагнитные помехи, цифровые интерфейсы, гальваническая развязка

Воздействию электромагнитных помех, в различной степени снижающих показатели качества функционирования аппаратуры, подвержены любые линии передачи данных. Действующий уровень помех варьируется в зависимости от электромагнитной обстановки местности, пути их распространения распределены в пространстве, а момент появления представлен случайной величиной и неизвестен заранее. Наиболее уязвимыми для проникновения помех частями устройства являются проводные аппаратные интерфейсы. В условиях промышленности широкое распространение получили интерфейсы стандарта EIA RS-232-C и EIA RS-485. Длина интерфейсного кабеля обычно варьируется в диапазоне до нескольких десятков метров, представляя собой приемный контур для различного рода помех. При его недостаточной защите возможны сбои в работе аппаратуры, что в условиях производства может привести к экономическому ущербу и катастрофическим последствиям.

Одними из распространенных причин сбоев и отказов в работе интерфейсов являются атмосферные помехи, вызванные разрядами молний. Молнии воздействуют посредствам электромагнитного импульса, который может пережечь сигнальные провода малого поперечного сечения током, генерируемым вследствие явления электромагнитной индукции и вывести из строя канал передачи. Существенное влияние на качество передаваемых данных оказывают кондуктивные помехи в диапазоне частот от 150 кГц до 30 МГц и излучаемые электромагнитные помехи с частотами 30 … 100 МГц. Кондуктивная помеха распространяется переносом электрического тока общими проводниками. Она возникает вследствие неправильно выполненного заземления. Индуктивные или электромагнитные помехи появляются благодаря электромагнитной индукции в проводящем контуре. Помехи могут быть дифференциальными и синфазными. Ток дифференциальной помехи течет по паре сигнальных проводников. Синфазные токи текут к нагрузке по сигнальным линиям, возвращаясь к источнику помех по линиям заземления. Интерфейс RS-485 имеет дифференциальный канал передачи данных, благодаря чему менее подвержен дифференциальным помехам, чем RS-232 [1]. На практике деление помех на кондуктивные и индуктивные является условным. Любая помеха представляет собой совокупность и распространяется посредством проводников (кондуктивная составляющая), паразитных емкостей и индуктивностей (индуктивная составляющая) [2].

Государственные центры стандартизации и сертификации не разрешают производство оборудования, являющегося источником помех недопустимо высокого уровня. В России

уровень излучаемых помех нормируется согласно ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95), ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95), ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96), ГОСТ Р 51317.4.11-2007 (МЭК 61000-4-11:2004), ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12-95), ГОСТ Р 51317. 4.16-2000 (МЭК 61000-4-16:1998), ГОСТ Р 51317. 4.17-2000 (МЭК 61000-4-17:1999), ГОСТ Р 51317. 4.28-2000 (МЭК 61000-4-28:1999), ГОСТ 28751-90 и ГОСТ 29157-91. На практике уровень помех невозможно сделать равным нулю, кроме того, встречается достаточно много причин их появления, связанных с применением неисправного или несертифицированного оборудования.

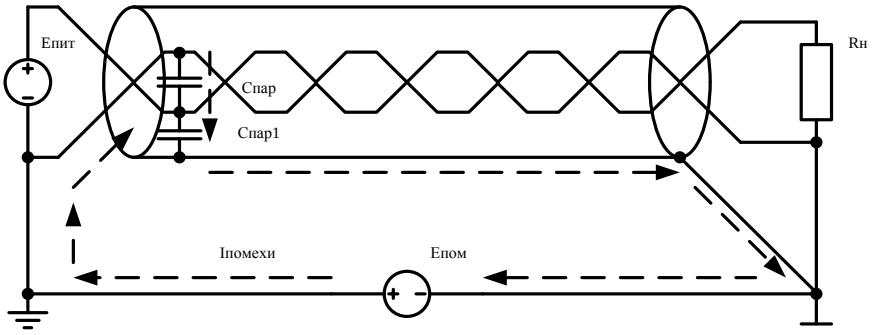


Рис. 1 – Распространение помех в экране кабеля.

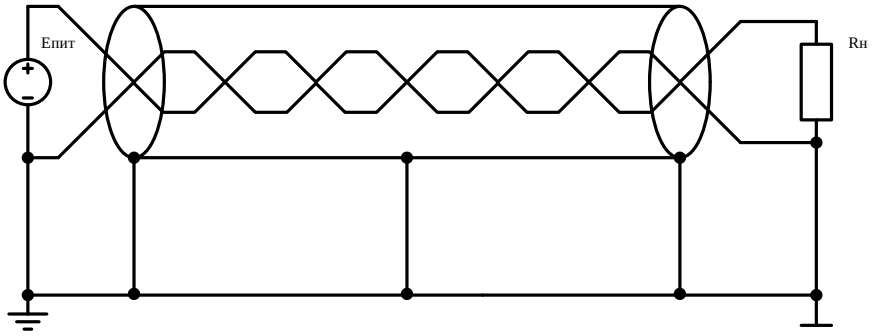


Рис. 2 – Заземление длинного кабеля на высоких частотах.

Для уменьшения влияния помех на приборные интерфейсы применяется ряд радикальных мер. Защиту от переменного магнитного поля обеспечивает витая пара сигнальных проводников и использование дифференциального канала (RS-485), а от электростатических зарядов и емкостных наводок применяется экранирование сигнальных линий.

При частоте помехи до 1 МГц, экран необходимо заземлить со стороны передатчика (Епит). Заземление со стороны приемника (Rн) приведет к образованию контура протекания помехи (Iпомехи) от источника (Епом) посредством паразитных емкостей Спар и Спар1 (рисунок 1). В случае если источник сигнала не имеет заземления, то экран заземляется с любой стороны, так как не образуется замкнутого контура для протекания тока помехи. На частотах выше 1 МГц увеличивается индуктивное сопротивление экрана, и токи емкостной наводки создают на нем большое падение напряжения, которое может передаваться на сигнальные линии через емкость между ними и экраном. На высоких частотах оплетку кабеля необходимо заземлять не только с обеих сторон, но и в нескольких точках между ними (рисунок 2). Емкостный ток также будет протекать по пути, показанному на рисунке 1, однако помеха будет незначительна. Выбор количества точек заземления кабеля зависит от разницы напряжений помехи на концах экрана, частоты помехи, требований к защите от

ударов молнии или от величины токов, протекающих через экран в случае его заземления [3]. Наиболее эффективным методом снижения влияния помех является гальваническая развязка, позволяющая избежать связи по постоянному току между частями устройства посредством разделения напряжения питания управляющих цепей. Она реализуется на оптронах, изолирующих трансформаторах или импульсных DC-DC преобразователях. Оптронная развязка позволяет передавать дискретные сигналы в широком частотном диапазоне, от постоянного тока до предела, обусловленного быстродействием приемника. Трансформаторная развязка не позволяет передавать сигналы постоянного тока, однако конструктивно проще и экономичнее оптронной, а также имеет более широкий частотный диапазон. Напряжение изоляции разделительных трансформаторов, применяемых в интерфейсных схемах, составляет порядка 0.5 … 2.5 кВ. Развязка на импульсных преобразователях строится с использованием специализированных микросхем, что значительно упрощает разработку устройств, обеспечивая полноценный развязанный дуплексный интерфейс. Использование гальванической развязки также обеспечивает повышение уровня защиты человека от поражения электрическим током [4].

В настоящее время авторами ведется отработка схемотехнических решений с целью повышения помехоустойчивости скоростных последовательных интерфейсов непосредственно для применения в опытных образцах системы измерения профилей деталей вращения сложной формы и блочно-модульного стенда для исследования асинхронного электропривода.

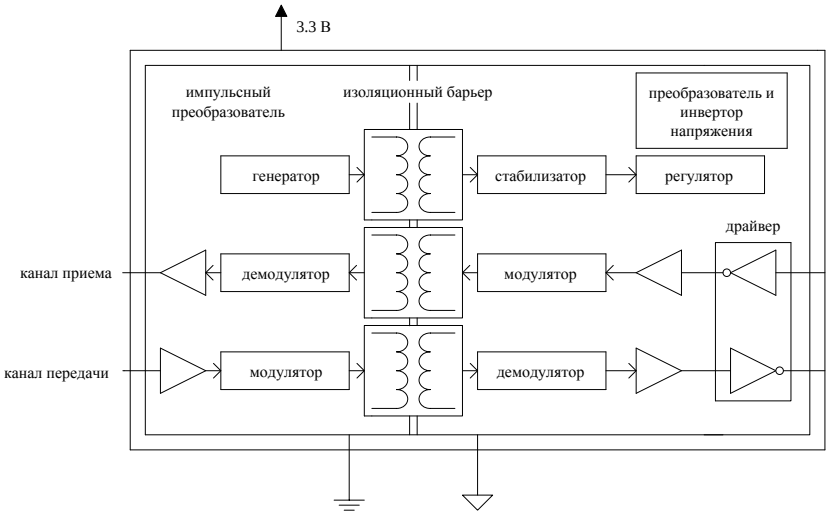


Рис. 3 – Структурная схема блока преобразования интерфейса RS-232 с гальванической развязкой.

Система измерения профилей деталей сложной формы строится на базе двухпроводной сети RS-485 с протоколом Modbus-RTU. Для повышения помехоустойчивости применяется экранированный кабель передачи данных, имеющий одну точку заземления со стороны передатчика. Сеть гальванически развязана с управляющим ПК (используется адаптер RS-485 – RS-232), модулями трансформаторных датчиков линейных перемещений, датчиками угла и с электронным блоком управления поворотным столом (планшайбой). При разработке системы основное внимание уделялось вопросам зонирования и экранирования аналоговых элементов. С целью устранения влияния на работу датчиков линейных и угловых перемещений кондуктивных помех, аналоговые и цифровые земли были разведены отдельно, без образования замкнутых контуров с последующим соединением через сопротивление 100 Ом. Для уменьшения перекрестных помех (иголок) аналоговые и цифровые компоненты были размещены отдельными блоками. В процессе эксплуатации макетного образца

электронного датчика линейных перемещений было установлено, что недостаточное экранирование линий связи, отсутствие гальванической развязки блоков питания системы и интерфейсов отрицательно влияет на ее метрологические характеристики.

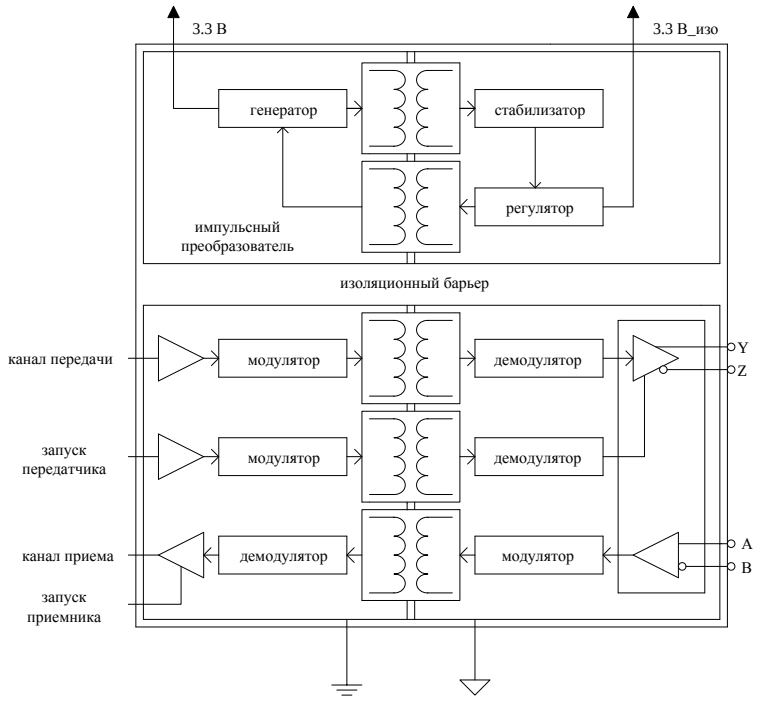


Рис. 4 – Структурная схема блока преобразования интерфейса RS-485 с гальванической развязкой.

Подобные проблемы возникают при разработке блочно-модульного стенда для исследования асинхронного электропривода. Блочно-модульный стенд состоит из управляющей части, силовой части и модулей датчиков фазных токов. Все части имеют гальваническую развязку друг от друга наряду с внешними интерфейсами. Процессорный модуль строится на базе сигнального контроллера Texas Instruments TMS320F28335, работающего с частотой порядка 150 МГц, который является потенциальным источником шума. С целью снижения уровня внутрисистемных помех, была разработана четырехслойная печатная плата с использованием экранирующих внутренних слоев земли и питания в виде полигонов с малым сопротивлением. Такая конструкция исключает возможность появления замкнутого контура земли и обеспечивает обратное прохождение тока как по пути наименьшего сопротивления на низких частотах, так и по пути наименьшей индуктивности на высоких. Проводники заземления выполнены прямыми и короткими. Контроллер имеет обвес помехоподавляющих конденсаторов, замыкающих на землю при высокочастотных помехах питание ядра и периферийных модулей микросхемы. С целью гальванической развязки процессорного модуля установлен импульсный преобразователь TEN10-1211 с выходным током порядка 2000 мА.

Для управления с ПК, а также записи программного обеспечения во flash-память микроконтроллера модуль имеет гальванически развязанный интерфейс RS-232 на базе микросхемы ADM3251E. Структурная схема блока гальванической развязки интерфейса RS-232 представлена на рисунке 3. Устройство трансформаторной развязки выполнено на кристалле кремния. Одну обмотку трансформатора от другой изолирует слой синтетического полимера – полиимида. Обе обмотки подключены к быстродействующим КМОП-схемам, которые обеспечивают интерфейс между трансформатором и внешними сигналами. Устройство не имеет таких присущих оптопарам недостатков, как неопределенный

коэффициент передачи тока и нелинейная передаточная функция. Электрическая схема, подключенная к первичной обмотке трансформатора, преобразует переходы входного сигнала в импульсы длительностью 1 нс, эти импульсы подаются на трансформатор. Схема, подключенная к вторичной обмотке, принимает эти импульсы и восстанавливает входной сигнал. Схема обновления сигнала на входной стороне обеспечивает корректность выходного сигнала даже если входной сигнал не меняет свое состояние, при этом организуется поток со скоростью до 0.46 МБод, работа в широком диапазоне напряжений 3.3 … 5 В, и ESD защита, порядка 15 кВ при потреблении тока 110 мА в динамическом режиме при максимальной нагрузке. Благодаря отсутствию внешних драйверов и дискретных компонентов устройство позволяет уменьшить энергопотребление на 90 %, а использование многоуровневой развязки стенда значительно снижает вероятность проникновения помехи между отдельными блоками.

Процессорный модуль также имеет два выхода гальванически развязанного интерфейса RS-485 с блоком защиты на TVS диодах для организации промышленной сети и внутренней шины для объединения блоков системы. Структура блока гальванической развязки интерфейса RS-485, представлена на рисунке 4. В его состав входит микросхема ADM2582E, которая включает в себя преобразователь уровней, выходной буфер, генератор, выпрямитель и стабилизатор на одном кристалле. Блок развязки обеспечивает защиту от электростатического разряда до 15 кВ, соответствует стандартам UL1577 DIN и VDE0884-10 и поддерживает поток данных со скоростью 16 МБод.

Силовая часть осуществляет как преобразование напряжения для двигателя, так и обеспечение питанием всех составляющих системы посредством блока разъемов. Она представляет собой инвертор с импульсным выходом. Переменная скважность импульсного сигнала, даже сглаженная фильтрующими конденсаторами представляет собой мощный источник сетевых помех, спектральный состав которых может содержать свыше трех паразитных гармоник. Для защиты сети на входе силовой части установлен фильтр электромагнитных помех B84115-E-A60 [2].

Список литературы:

1. *Бурцев П.А., Грушичева М.В., Слепцов В.В.,* Особенности аппаратной реализации гальванически развязанных интерфейсов в составе модульных измерительных прецизионных систем и систем управления, Сборник научных трудов по материалам XIV Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения и информатики», Москва 2011, стр. 22.

2. *Бурцев П.А., Канаев С.А., Москаленко О.В.* Особенности аппаратной реализации стенда для исследования параметров информационно-измерительных систем управления асинхронными электроприводами, «Вестник молодых ученых МГУПИ» №9., Москва 2011, стр. 5.

3. *Денисенко В.А.,* Заземление в системах промышленной автоматизации, Современные технологии автоматизации №3/2006, стр. 94

4. *John R. Barnes,* Electronic system design: interference and noise control techniques, Englewood Cliffs, New Jersey 1990.

05.07.05

Л. Н. Бутымова, Д. В. Зимин, В. Я. Модорский д.т.н., В. Ю. Петров д.т.н., П. В. Писарев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, г. Пермь
cluster@pstu.ru

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗОНАНСНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Статья выполнена при поддержке субсидии в соответствии с постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 г. №218. (проект « Создание высокотехнологичного производства для оказания услуг по испытаниям газотурбинных установок мощностью до 40МВт на многоцелевом адаптивном экологичном стенде»).

Разработан расчетно-экспериментальный комплекс для численного и физического моделирования междисциплинарных задач механики сплошных сред, в частности изучения и верификации динамических процессов в системе «поток газа – деформируемая конструкция.

Ключевые слова: экспериментальный комплекс, резонансное взаимодействие, проектирование, изготовление установки.

Действие на динамические системы различных возмущений приводит к тому, что их выходные характеристики отклоняются от расчетных. При определенных условиях возможно возникновение колебаний с увеличивающейся во времени амплитудой, появляются неустойчивые режимы работы, что, как правило, недопустимо.

Неустойчивость существенно снижает надежность конструкции, ухудшает ее рабочие характеристики и может привести к разрушению. Поэтому, выявлению причин неустойчивости рабочих процессов, ликвидации колебаний или снижению их амплитуды до допустимого уровня уделяется большое внимание.

Различные неустойчивые рабочие процессы реализуются при наличии возмущений, образующих волны давления. Источником неустойчивости может являться резонансное взаимодействие системы «поток газа – конструкция» [1]. Резонанс возникает, когда частота колебаний давления газа близка к частоте колебаний конструкции. Частота и форма наблюдающихся при этом волн зависят от геометрических и физико-механических характеристик конструкции и от параметров нагрузки.

Для поиска опасных резонансных режимов в газонаполненной конструкции необходимо провести комплексное экспериментально-теоретическое исследование параметров динамического поведения системы «поток газа – конструкция». Данный подход предполагает проведение взаимодополняющих физического и вычислительного экспериментов. Вычислительный эксперимент по исследованию процессов в динамической системе «газ-конструкция» предполагает использование высокопроизводительного вычислительного комплекса ПНИПУ, производительностью 4 ТФлопса.

Подготовку реализации расчетно-экспериментального подхода можно провести в два этапа. На первом этапе - реализация вычислительных экспериментов, моделирующих работу экспериментальной установки и уточнение ее проектных параметров. На втором этапе – проектирование, изготовление установки и проведение экспериментальных работ по исследованию динамических процессов и верификации математических моделей.

Для реализации первого этапа предполагается использование системы инженерного анализа ANSYS CFX и ANSYS Mechanical. Рассматривается консольный тонкостенный конечномерный цилиндр, нагруженный изменяющимся внутренним давлением.

Для проведения численного эксперимента данной работы были задействованы 2 восьмиядерных вычислительных узла кластера Центра высокопроизводительных вычислительных систем ПНИПУ. Математическая модель изложена в [2].

В ходе вычислительный экспериментов имеется возможность расчета временных зависимостей для перемещений в оболочке и давлений в газодинамической полости. Следовательно, имеется возможность оценки частот как в газе, так и в конструкции. Их совпадение свидетельствует о резонансе в системе.

Проводится анализ переходных процессов в газодинамическом потоке и конструкции. Рассчитываются поля давлений и скоростей в потоке газа.

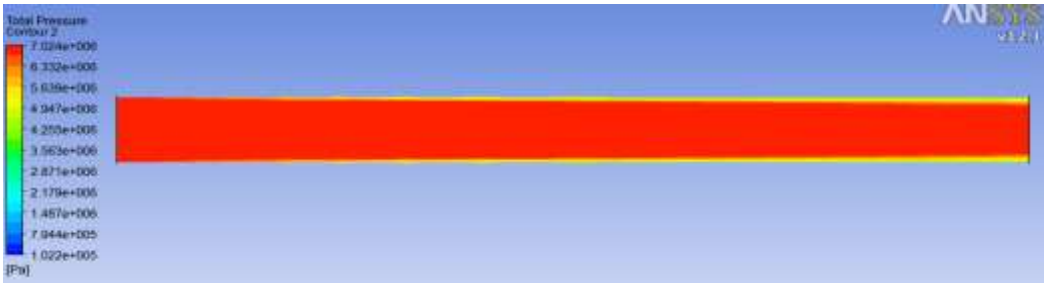


Рис. 1- Распределение полного давления по продольному сечению трубы.

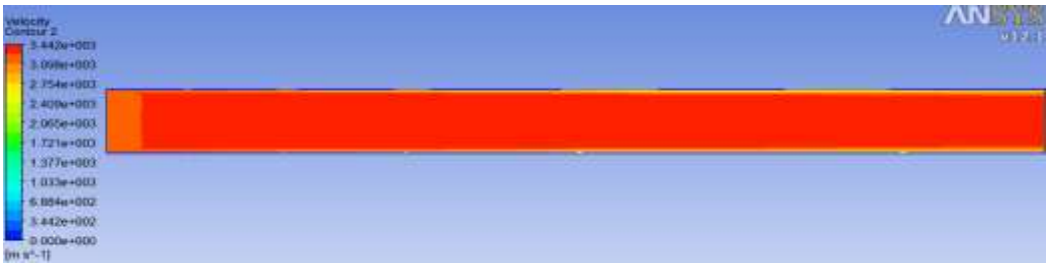


Рис. 2- Распределение модуля скорости по продольному сечению трубы.

Производиться оценка напряжено-деформированного цилиндрической конструкции.

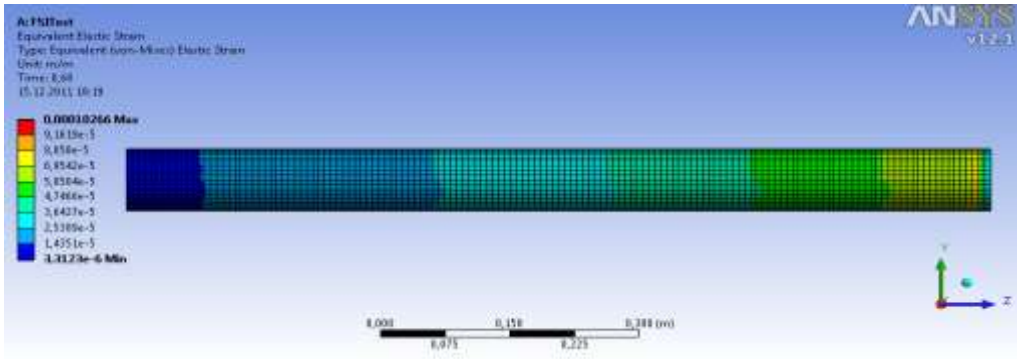


Рис.3- Деформации по Мизесу.

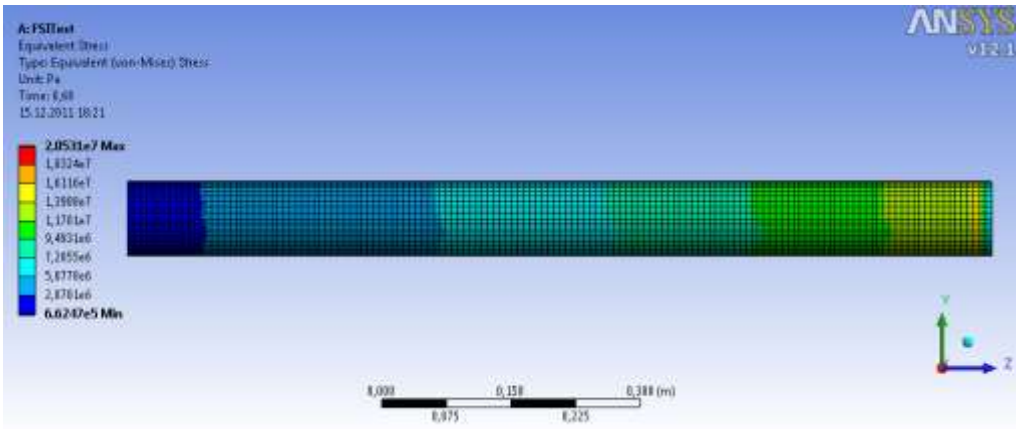


Рис.4- Напряжения по Мизесу.

Производится гармонический анализ колебательных процессов в газе и конструкции.

Для верификации численных расчетов и проведения физических экспериментов разработана специальная модельная установка, конструкция которой обеспечивает выполнение условий резонансного взаимодействия потока газа с деформируемой конструкцией.

В рамках этого этапа сформулированы требования к рабочим параметрам и конструкции и в соответствии с ними разработана экспериментальная установка.

Экспериментальная установка состоит из следующих основных частей: стапель, модельная камера, система подачи и отвода рабочего тела, измерительный комплекс.

Сформулированы следующие требования, предъявляемые к экспериментальной установке:

− стапель должен обладать необходимым запасом прочности и жесткости, обеспечивать необходимую ориентацию и надежное крепление средств эксперимента;

− конструкция модельной камеры должна обеспечивать настройку резонансного взаимодействия в системе «поток газа – конструкция»; возможность оснащения корпуса модельной камеры необходимыми средствами измерения, с помощью которых можно получить информацию о параметрах потока рабочего тела и уровне деформаций конструкции в контрольных точках; возможность установки сменных корпусов, отличающихся материалом и геометрическими характеристиками; модельная камера не должна является сосудом высокого давления;

− система подачи рабочего тела должна иметь предохранительный клапан, редуктор, автоматические пуск-выключение и обеспечивать постоянное давление на входе (до 1 МПа) с возможностью контроля по манометру; система отвода рабочего тела должна обеспечивать безопасную эксплуатацию установки;

− измерительный комплекс должен обеспечивать высокую надежность и точность измерений; помехоустойчивость измерительной аппаратуры при работе ее в условиях стенда; многоканальность системы измерения; регистрацию и обработку временных зависимостей на персональном компьютере.

− для повышения безопасности при работах на установке необходимо использовать бронекабину.

Стапель конструктивно выполняется в виде силовой рамы с ложементом, на которую вертикально устанавливается модельная камера. Ложемент ограничивает возможность углового смещения модельной камеры под действием волн давления.

Для моделирования потока газа предусмотрена система подачи и отвода рабочего тела (газа). На первом этапе в качестве рабочего тела взят воздух. Исходя из предъявляемых требований, разработана конструктивная схема модельной камеры.

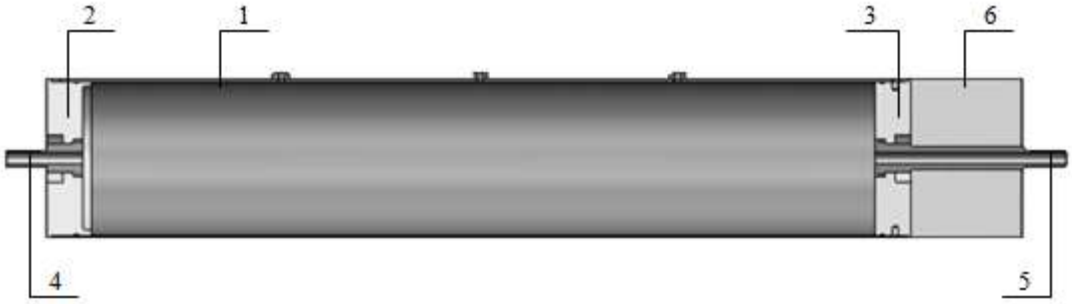


Рис. 5 - Конструктивная схема модельной камеры: 1– корпус, 2– передняя крышка, 3– задняя крышка, 4,5– входной и выходной штуцеры, 6– груз.

Чтобы получить качественную и количественную оценку рабочих процессов, протекающих в экспериментальной установке, используется комплекс измерительных средств и устройств. Измеряемые параметры: давление внутри модельной камеры определяется датчиками давления общего назначения и деформации корпуса определяются пьезоэлектрическими датчиками динамических деформаций.

Для измерения, регистрации и анализа результатов экспериментов предлагается модульная платформа PXI компании National Instruments. Архитектура PXI включает в себя шасси, в которое устанавливаются модульные приборы, контроллеры или интерфейсы для удаленного управления платформой.

Объектом эксперимента является модельная камера, корпус которой конструктивно представляет собой трубу.

При проектировании экспериментальной установки вопрос обеспечения необходимой резонансной частоты колебаний в системе «поток газа – конструкция» является очень важным.

Известно, что резонанс наблюдается при близости частот продольных колебаний в газе и в конструкции.

$$f_г = f_к \qquad (1)$$

Из этого следует, что геометрические и физико-механические характеристики модельной камеры должны быть подобраны так, чтобы выполнялось условие (1).

Подберем геометрические характеристики модельной камеры.

В качестве математической модели продольных колебаний корпуса модельной камеры рассмотрим упругий консольный стержень длиной l, на свободном конце которого находится сосредоточенная масса. В данной задаче инерционностью стержня можно пренебречь и учитывать только его упругость.

Тогда частоты продольных колебаний, возникающие в корпусе камеры, можно вычислить по формуле [3]:

$$f_к = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{c}{M}}, \qquad (2)$$

где $c = \frac{2\pi ER\delta}{l}$ – жесткость конструкции, E – модуль Юнга материала, R – радиус, δ – толщина стенки, l – длина; M – масса груза.

Частота продольных колебаний газа в замкнутой трубе:

$$f_г = \frac{a}{l} \qquad (3)$$

где $a = \sqrt{k\frac{P}{\rho}}$ – скорость распространения возмущений в газе, k – показатель адиабаты, P – давление, ρ – плотность.

Согласно (1) можно приравнять правые части выражений (2) и (3) и записать:

$$\frac{a}{l} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{c}{M}} \qquad (4)$$

Пусть выбранная модель имеет следующие характеристики: l = 1м, R = 0,0825м, δ = 0,001м, $E = 2\cdot10^{11}$ Па, k =1,49, $P = 1{,}013\cdot10^5$ Па, ρ = 1,29 кг/м^3.

Тогда, согласно (3), частота продольных колебаний в газе: $f_г = 330 Гц.$

Из условия резонансного взаимодействия (1) следует $f_к = 330 Гц.$

Тогда, согласно (2), масса присоединенного груза $M = 24.12 кг.$

Следовательно, для обеспечения необходимой резонансной частоты колебаний к торцу модели модельной камеры должен быть присоединен груз массой 24,12 кг.

В ряде случаев, для системы в целом, значения $f_г$ и $f_к$ могут отличаться от парциальных [4]. Необходимые значения частот мы можем получать при варьировании (подборе) характеристик конструкции и параметров нагрузки. Таким образом, потребуется дополнительная настройка модельной камеры на резонансный режим.

Список литературы:

1. Модорский В.Я. Нелинейное деформирование стержневой конструкции при наддуве. – Авиационная техника, 2003, №3, с.63 – 64.
2. Методическое руководство по ANSYS CFX 12.1 2010.
3. Модорский В.Я., Соколкин Ю.В. Газоупругие процессы в энергетических установках//Под. ред. Соколкина Ю.В. М.: Наука. Физматлит, 2007.-176 с.
4. Численное исследование актуальных проблем машиностроения и механики сплошных и сыпучих сред методом крупных частиц: монография / Ю.М. Давыдов [и др.]. – М.: Национальная академия прикладных наук, Международная ассоциация разработчиков и пользователей метода крупных частиц, 1995. – 1595с.

05.07.05

Л. Н. Бутымова, Д. В. Зимин, В. Я. Модорский д.т.н., П. В. Писарев, Ю. В. Соколкин д.ф.-м.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, г. Пермь
Dennys636@live.com

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КРУПНОГАБАРИТНОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Произведена серия численных экспериментов по определению воздействия транспортных нагрузок на крышу вагона-хоппера. Исследования проводились для одной секции и для многосекционной крыши. Для оценки физико-механических характеристик материала, использованного при численном моделировании проведены испытания образцов. Для проведения расчетов использованы высокопроизводительные системы (HPC) и вычислительные технологии на основе инженерного конечно элементного комплекса ABAQUS.

Ключевые слова: композиционные материала; численное моделирование; высокопроизводительные вычислительные системы; инженерный комплекс ABAQUS.

В данной работе проводилось численное исследование воздействия транспортных нагрузок на крышу вагона- хоппера (рис.1) из композиционного материала. Стеклопластиковый композит был выбран в качестве конструкционного в соответствии с эксплуатационными требованиями.

Рис. 1- Общий вид вагона-хоппера.

Исследовалось влияние физико-механических свойств трехслойного композиционного материала на деформационные характеристики крупногабаритной конструкции. При моделировании рассматривалось шесть различных схем нагружения конструкции.

Расчеты проводились с использованием конечноэлементного инженерного комплекса ABAQUS, рабочих станций, и с использованием суперкомпьютера ПНИПУ.

С учетом особенностей условий работы крыши была сформулирована следующая физическая модель:

−модель трехмерная;

−для математического описания слоя использовать локально- двумерную постановку;

−рассматривать процессы в статике и динамике;

−материал макроанизотропный;

−каждый слой материала имеет изотропные свойства;

−в качестве критерия оценки работоспособности конструкции принять максимальные деформации пакета [1].

Материал состоит из двух слоев стеклопластика. Между ними располагается слой пенопласта. В процессе выполнения работы варьировались толщины слоев композиции, свойства стеклопластиковых слоев, расположение усиливающих элементов конструкции.

На первом этапе исследований рассматривалась одна секция крыши (рис.2).

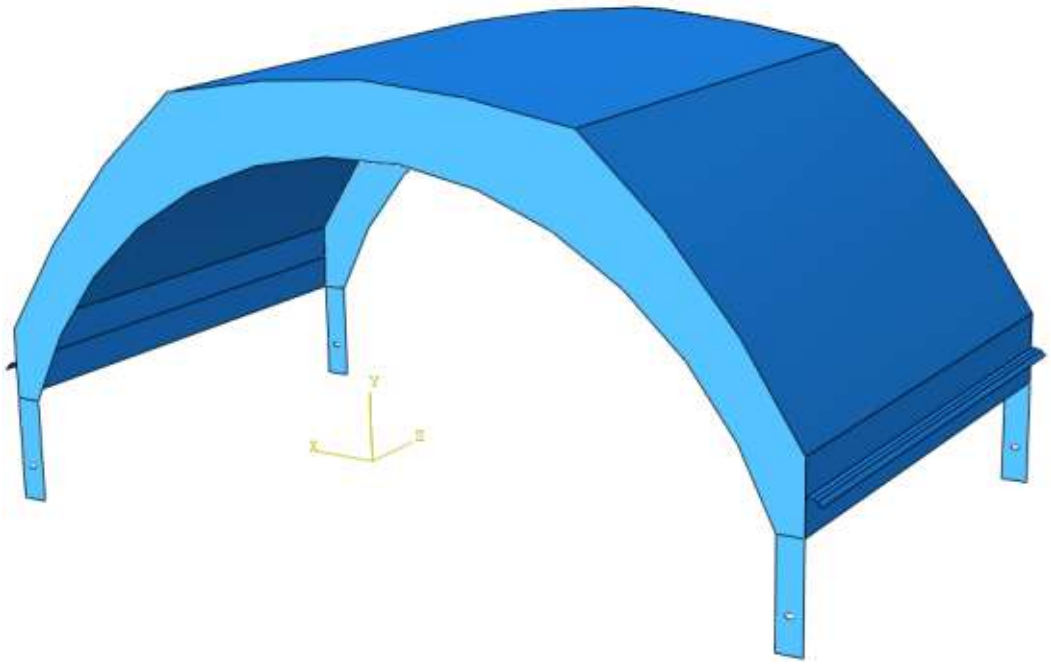


Рис. 2- Твердотельная модель одной секции крыши.

Геометрическая модель учитывала способы крепления крыши на вагон и не учитывала способы скрепления секций между собой. Крепление крыши на вагон осуществляется при помощи «ножек», находящихся в углах секции и при помощи «юбки», идущей вдоль боковых граней крыши. Данным элементом крыша опирается на вагон. Ножки представляют собой бруски с крепежными отверстиями и устанавливаются на вагон «по месту». В последующих модификациях появилась торцевая секция крыши. Геометрически она отличалась наличием торцевой панели и тремя дополнительными ножками на ней. «Юбка» на торцевых секциях идет не только по боковым граням, но и по торцевой панели.

В отверстиях «ножек» задавалось ограничение по всем степеням свободы. На горизонтальном участке «юбки» ограничение вертикальных перемещений. На участке вагона под «юбкой» ограничение нормальных перемещений, так как принималось, что вагон намного жестче крыши.

Критерий оценки выбирался исходя из того, что необходимо обеспечить целостность трехслойного пакета материалов, а следовательно недопустимо разрушение ни

стеклопластикового, ни пенопластового слоя. Поэтому оценка работоспособности конструкции проводилась по максимальным деформациям пакета слоев материала [1].

В связи с необходимостью проведения расчетов для крупногабаритной конструкции, учета процессов в отдельных слоях материала, варьирования физико-механических и геометрических характеристик материала конструкция моделировалась оболочкой. Данный подход не требует перестраивания геометрической модели под каждый новый вариант. Оболочечная конструкция позволяет вносить модификации в геометрию конструкции, например, вводить ребра жесткости. При этом не требуется полной перестройки геометрической модели [2]. Длина крыши составляет почти 9 метров, а толщины слоев материала не превышают 15мм поэтому использование оболочечной модели целесообразно при отсутствии необходимости структурного анализа состояния композиционного материала.

Принималась следующая методика расчета:

1. Построение твердотельной модели конструкции.
2. Задание последовательности слоев, их толщин и характеристик.
3. Разбиение твердотельной модели на простые составляющие части, для построения эффективных расчетных сеток.
4. Задание нагрузок согласно схемам нагружения.
5. Задание граничных условий.
6. Проведение расчетов.
7. Анализ результатов [3].

Исследовались следующие схемы нагружения:

Схема 1 учитывает:

- Р расп.ст.- давление распора насыпного груза.
- Продольное ускорение, действующее на крышу 12g.
- Вес конструкции крыши.

Схема 2 учитывает:

- Р расп.ст.- давление распора насыпного груза.
- Продольное ускорение, действующее на крышу 1g.
- Вес конструкции крыши с учетом вертикальной динамики.

Схема 3 учитывает:

- Максимальная распределенная по площади крыши давление в 120кг.
- Вес конструкции крыши.
- Р расп.ст. - давление распора насыпного груза.

Схема 4 учитывает:

- Две силы по 1КН, приложенные на расстоянии 0,5м друг от друга (имитация веса человека, обслуживающего крышки люков).
- Вес конструкции крыши.

Схема 5 учитывает:

- Воздействие груза на торцевую стенку крыши при резком торможении с ускорением 3g. Масса воздействующего груза 0,35 от массы груза.

Последний случай нагружения можно считать работой конструкции в экстремальных условиях. Для данной схемы проведены дополнительные исследования для подбора конфигурации каркаса жесткости и материала крыши.

Для одной секции крыши были проведены расчеты базовых вариантов крыши по четырем схемам нагружения. Выявлены наиболее слабые места конструкции и предложены конструктивные варианты по усилению крыши различными каркасами жесткости. Для каждого из предложенных армирующих каркасов проведены вычислительные эксперименты по схеме нагружения 5. По результатам был предложен вариант конструкции с наименьшими деформациями.

На втором этапе вычислительного эксперимента проводились расчеты многосекционной крыши по всем схемам нагружения (Рис.3). Торцевые секции крыши были усилены каркасом жесткости, конфигурация которого была подобрана на предыдущем этапе. В рамках численного эксперимента было необходимо провести две серии расчетов в которых принимались различные толщины пенопластового слоя. В таблице 1 приведены результаты вычислительных экспериментов многосекционной крыши по всем схемам нагружения и для двух конфигураций материала крыши.

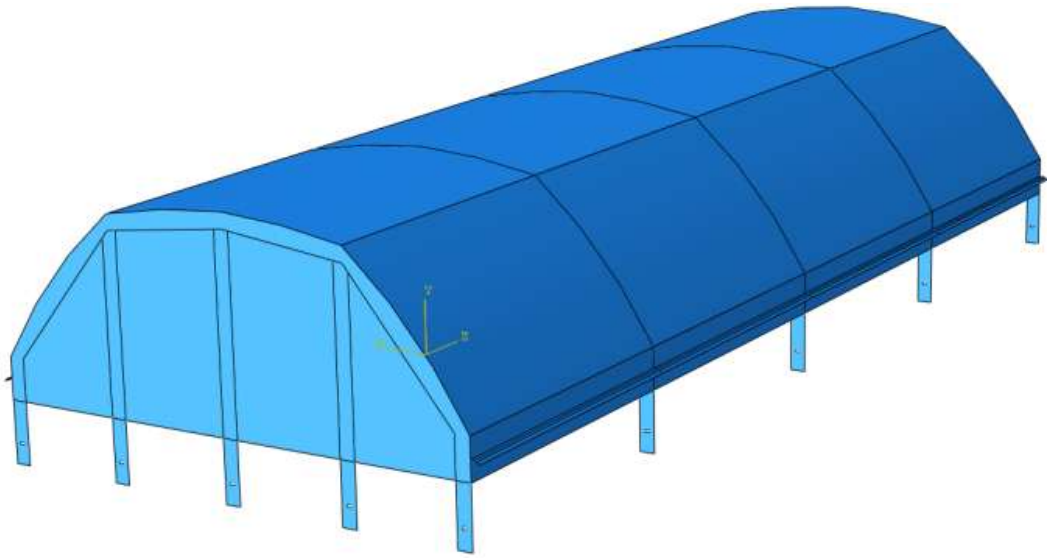


Рис. 3- Твердотельная модель многосекционной крыши.

Анализ коэффициентов запаса показал, что увеличение толщины пенопластового слоя незначительно влияет на прочностные характеристики крыши, а следовательно экономически более целесообразен вариант с толщиной слоя пенопласта равным 10мм. По наиболее опасной схеме нагружения (схема 5) видно, что имеется более чем двукратный запас по прочности, что и требуется при эксплуатации.

Таблица 1

Результаты расчета многосекционной крыши.

Расчетная схема	Максимальные напряжения, МПа		Максимальные деформации, %		Коэффициент запаса	
	Толщина пенопласта 10мм	Толщина пенопласта 15мм	Толщина пенопласта 10мм	Толщина пенопласта 15мм	Толщина пенопласта 10мм	Толщина пенопласта 15мм
Схема 1	3,152	3,149	5	4	61,86	61,92
Схема 2	3,059	3,056	5,38	4,3	63,74	63,8
Схема 3	3,057	3,054	5,41	4,32	63,78	63,85
Схема 4	6,222	6,222	7,52	6	31,34	31,34
Схема 5	71,65	70,95	8,36	6,31	2,72	2,74

При вычислении многосекционной крыши использовались HPC (High Performance Computing) технологии. Поскольку при вычислении данной конструкции значительный рост

ускорения счета наблюдался при использовании до четырех ядер на одном вычислительном узле, задачи запускались параллельно на нескольких узлах, что позволило существенно сократить общее время счета.

Так же проводились испытания образцов материала с целью верификации полученных данных расчетного эксперимента. Образцы испытывались на трех точечный изгиб. Результаты испытаний показали, что максимальные отклонения не превышают 6.4% от данных, заложенных в расчет, что является приемлемым для инженерных расчетов.

Список литературы:

1. Композиционные материалы. Справочник под ред. В. В. Васильева – М.: Машиностроение, 1990.-512с.
2. D.S. Simullia ABAQUS 6.10 Documentation, 2009
3. http://www.simulia.com

05.16.06

В. М. Бушуев, Я. В. Лямин к.т.н., И. Л. Синани д.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
механико-технологический факультет
кафедра сварочного производства и технологии конструкционных материалов
Россия, г. Пермь
sinaniPGTU@Yandex.ru

КИНЕТИКА ОБЪЕМНОГО НАСЫЩЕНИЯ ПИРОУГЛЕРОДОМ ПОРИСТОЙ УГЛЕРОДНОЙ СРЕДЫ

На основе кинетического уравнения осаждения пироуглерода при пиролизе метана на внешнем контуре твердой поверхности выведено кинетическое уравнение в объеме пористой графитовой среды в изотермическом режиме. Проведено апробирование полученного уравнения при моделировании процесса насыщения пироуглеродом шликерной композиции и получена хорошая сходимость экспериментальных и расчетных данных.

Ключевые слова: реакция пиролиза, пористость, плотность, объемное уплотнение, шликерная композиция, пористое тело, графитовый порошок, углерод – углеродные композиционные материалы (УУКМ).

Для обеспечения работоспособности конструкций, эксплуатируемых в экстремальных условиях высокотемпературного и коррозионного воздействий агрессивных металлических расплавов и химических сред, применяют углерод – углеродные композиционные материалы [1,2,]. Технология изготовления таких материалов включает изготовление несущей основы из тканепрошивного каркаса насыщенного пироуглеродом при пиролизе метана, уменьшение размеров поверхностных пор с помощью шликерной композиции насыщаемой пироуглеродом и нанесение герметизирующего пироуглеродного покрытия [3-5].

Если кинетике формирования пироуглерода на внешнем контуре твердой поверхности посвящено достаточное количество работ, то рассмотрению кинетических закономерностей в объеме пористого тела они весьма ограничены [6-9].

Восполняя этот пробел, авторы ставят своей целью вывод кинетического уравнения насыщения пироуглеродом в объеме пористой шликерной композиции.

Для обеспечения совместимости наполнителя шликерной композиции, пироуглеродной составляющей и материала основы композиционного материала в качестве наполнителя выбран графитовый порошок марки ГК и ГС полидисперсного состава с размером частиц от 35 до 63 мкм, и коллоидный графит с более мелкими частицами от 20 до 40 мкм. Такие размеры частиц порошка обеспечивают не только качественное заполнение ими поверхностных пор, но и сцепление их между собой даже в отсутствии связующего. Качественное и наиболее полное заполнение пор удалось произвести при использовании композиции 4% раствор поливинилового спирта (пвс) и коллоидно-графитового препарата с размером частиц 20-40 мкм взятых в соотношении 1: (0,51-0,65) с условной вязкостью 1,4-5,1с и 4% раствор ПВС и графитовый порошок с размером частиц 35-63 мкм взятых при том же соотношении, но с условной вязкостью 30-40с, с дальнейшим отверждением на воздухе в течение 3 часов. Следует отметить, что при выбранных гранулометрических составах порошков, размер пор в шликерной композиции, составляет более 100А, что позволяет использовать обычные законы диффузии газов в порах [10].

Простая и достаточно корректная оценка осаждения пироуглерода в порах шликерного покрытия может быть сделана с помощью соотношения, предложенного Б. Дельмоном [11].

$$\varepsilon = \left|\Phi_{\text{макс}}\right| \cdot z_D \big/ \left(C \cdot D\right) \qquad (3)$$

Если образец состоит из N_0 одинаковых частиц сферической формы радиусом a_0, а пористость выражается соотношением $\upsilon_p = 1 - \rho_p/\rho_s$; ($\rho_p$ и ρ_s кажущаяся и истинная плотности частицы), то величину потока $\Phi_{\text{макс}}$, отнесенную к поверхности зерна площадью $4\pi a_0^2$., можно рассчитать зная скорость образования пироуглерода на внешнем контуре твердого тела $|V_{S,\text{п/у}}|$, закон роста которого приведен нами в [12].

$$\left|\Phi_{\text{макс}}\right| = \frac{\left|V_{S,\text{п/у}}\right|_{\text{макс}}}{N_0 \cdot \upsilon_p \cdot 4\pi a_0^2}. \qquad (4)$$

Необходимо оценить диффузионный путь z_D, одновременно учитывая как извилистость пор, так и то обстоятельство, что молекулы метана проходят различный путь в поровом пространстве с учетом их химического превращения. Эти два требования частично компенсируют друг друга. Следовательно, можно считать, что диффузионный путь в среднем равен радиусу зерна a_0.

С учетом принятых допущений запишем общее уравнение (4) в окончательном виде:

$$\varepsilon = \frac{\left|V_{S,\text{п/у}}\right|_{\text{макс}}}{4\pi a_0^2 \cdot N_0 \cdot \upsilon_p \cdot C \cdot D}. \qquad (5)$$

Некоторое уточнение сделаем относительно коэффициента взаимной диффузии метана и водорода D. Табличные значения для D при нормальных условиях находятся в пределах 0,670-0,6902 см^2/с [13]. Однако расчеты, которые мы провели на основе экспериментальных данных, дают значение D = 0,972 см^2/с, что, по-видимому, объясняется содержанием в исходном газе побочных углеводородов.

Подставляя значение температурной зависимости коэффициента взаимной диффузии водорода и метана, и принимая $N_0 = 3/(4\cdot\pi\cdot a^3)$, C = 7,14·10^{-4} г/см^3, [13], после упрощения получим скорость осаждения пироуглерода в 1см^3 пористого тела:

$$V_{V,\text{п/у}} = \varepsilon = \frac{1{,}926 \cdot 10^{13} \cdot V_{S,\text{п/у}}}{a_0 \cdot \upsilon_p \cdot N_0 \cdot D \cdot T^2}, \text{ г/см}^3\cdot\text{ч} \qquad (6)$$

Тогда с учетом уравнения кинетики на внешнем контуре, полученного нами в [12], общий вид кинетического уравнения гетерогенной реакции пиролиза метана в объеме пористого тела будет иметь следующий вид:

$$V_{V,\text{п/у}} = \frac{6{,}433 \cdot 10^{13} \cdot \exp\left(\dfrac{-99{,}25}{R \cdot T}\right) \cdot P_{\text{CH}_4}}{\left(1 + 7{,}98 \cdot 10^{-11} \cdot \exp\left(\dfrac{246{,}12}{R \cdot T}\right) \cdot P_{\text{CH}_4} + 5{,}37 \cdot 10^{-4} \cdot \exp\left(\dfrac{85{,}3}{R \cdot T}\right) \cdot P_{\text{H}_2}{}^{\frac{1}{2}}\right) \cdot N_0 \cdot a_0 \cdot \upsilon_P \cdot T^2} \qquad (7),$$

где P_{CH_4}, P_{H_2} – парциальные давления метана и водорода, кПа; R – газовая постоянная, равная 8,3·10^{-3} кДж/(моль·К); T – температура, К;

Представлял интерес сравнения объемных скоростей осаждения пироуглерода, рассчитанных по выведенному уравнению, с данными других авторов. В табл.1 приведены такие сравнительные результаты, рассчитанные по уравнению (7), и экспериментальные данные, взятые из работ [14,15], приведенные к близким условиям осаждения (содержание водорода в смеси около 20 %, a_0= 1,5·10^{-3} см).

Таблица - Сравнительные данные по объемным скоростям осаждения, рассчитанным по уравнению (7) и данным других работ.

Т, К/ºС	V_v, г/см^{3}ч, рассчитанные по уравнению (7)	V_v, г/см^{3}ч, по данным работы [14]	V_v, г/см^{3}ч, по данным работы [15]
1073/800	0,00018	0,00062	–
1173/900	0,0033	0,0030	–
1273/1000	0,027	0,024	–
1323/1050	0,056	–	0,05
1373/1100	0,097	0,067	–
1473/1200	0,226	–	0,20

Как видно из табл.1, результаты, рассчитанные по уравнению (7) достаточно близки к данным, полученным другими авторами, что позволяет использовать полученное уравнение для моделирования технологических процессов осаждения пироуглерода в объеме пористого тела.

Зная скорость осаждения пироуглерода в объеме шликерного покрытия, можно рассчитать массу осевшего пироуглерода на момент времени τ.

$$\omega_{i\,\text{п/у}} = V_{V,\text{п/у}} \cdot \upsilon_{0i} \cdot \tau_i ,$$

а затем и плотность на этот момент времени $\rho_i(\tau_i) = \left(\omega_0 + \sum_{i=1}^{n} \omega_i(\tau_i) \right) \Big/ \upsilon_{0i}$.

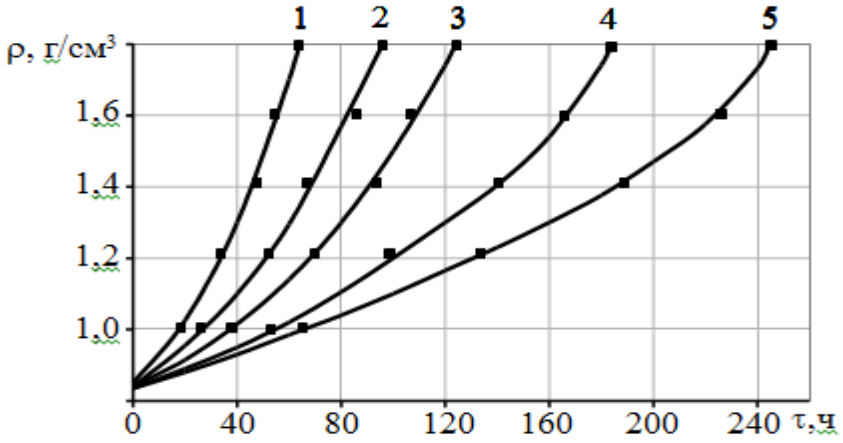


Рис. 1. – Зависимость плотности от длительности процесса насыщения пироуглеродом при общем давлении 2,7 кПа и температуре 920°С для толщин: 0,5(1); 0,75(2); 1,0 (3); 1,5 (4); 2,0 мм (5).

Расчет изменения плотности от длительности процесса по предложенной модели показал хорошее совпадение с экспериментом (данные обозначены точками) для различных толщин шликерного подслоя (рис. 1). Относительная ошибка составила 5-8%. Данные результаты показали, что для температуры процесса 920°С толщину шликерного покрытия

следует назначить 0,5-1мм, а время насыщения пироуглеродом до плотности 1,6 -1,8 г/см^3 90-130 часов.

Выводы: Получен кинетический закон объёмного насыщения пиро -углеродом пористой углеродной среды при пиролизе метана.

Проведена апробация выведенного уравнения при моделировании процесса насыщения шликерного подслоя пироуглеродом и показана хорошая сходимость полученных результатов с экспериментальными данными.

Список литературы:

1. *Бушуев В.М, Удинцев, П.Г, Чунаев В.Ю., Ершова А.Н.* Разработка и перспективы применения углеродных композиционных материалов в технологической оснастке, применяемой при проведении высокотемпературных процессов // Электрохимия, 2003, № 12, С.120-125.

2. *Бушуев В.М., Удинцев, П.Г, Чунаев В.Ю., Ершова А.Н.* Перспективы применения углеродных композиционных материалов в химическом аппаратостроении // Химическая промышленность, 2003,Т.80, №3.С.38-45

3. *Бушуев В.М., Щурик А.Г., Самарин А.В.* Разработка перспективных технологических процессов изготовления из УУКМ герметичных к расплавам солей и металлов тиглей различной конструкции и назначения // Перспективные материалы, 2008, Март, с. 71-76.

4. *Бушуев В.М., Синани И.Л., Хохлявин Н.А*. Разработка эффективной технологии изготовления герметичных к расплаву и парам кремния реторт, применяемых в процессе парофазного силицирования // Перспективные материалы, 2010, № 9а, С. 105-110.

5. *Бушуев В.М.* и др., Пат РФ 2235681 от 20.11.2003. Способ изготовления тиглей из УУКМ.

6. *Гурин В.А., Иванов В.Е.,. Зеленский В.Ф., Колендовский М.Г.* Объемное уплотнение графита пироуглеродом // Труды 1-й конференции по пирографиту. М, 1963. С. 267-272.

7. *Гурин В.А., Гурин Н.В., Фурсов С.Г.* Исследование газофазного уплотнения пироуглеродом пористых сред методом радиально движущейся зоны пиролиза // Вопросы атомной науки и техники ННЦ ХФТИ, Харьков, 1999, №5, С. 32-45.

8. *Ковалевский Н.Н.* Динамика объёмного пироуплотнения углеграфитовых материалов пироуглеродом и расчёт параметров процесса // Химия твёрдого топлива. 1975, № 2. С. 98-105.

9. *Ковалевский Н.Н., Рогайлин М.И., Фарберов И.Л. и др.* К теории объёмного уплотнения графита пиролитическим пироуглеродом // Химия твёрдого топлива. 1970, № 2, С. 141-148.

10. *Соколкин Ю.В. и др*. Технология и проектирование углерод-углеродных композитов и конструкций // М.: Наука, Физ. мат. лит., 1996, 239 с.

11. *Дельмон Б.* Кинетика гетерогенных реакций. Пер. с фр. Под ред. Болдырева В.В. М.: Мир, 1979, С. 150-152, с. 160-163.

12. *Синани И.Л. Бушуев В.М.* Кинетика кристаллизации пироуглерода при пиролизе метана// Коррозия, материалы, защита, 2012, №2, С. 37-42.

13. *Варгафтик И.Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Физмат, 1963. 708 С.

14. *Гурин В.А., Зеленский В.Ф.* Газофазные методы получения углеродных и углерод-углеродных материалов // Вопросы атомной науки и техники ННЦ ХФТИ, Харьков, 1999, С. 13-31.

15. *Абросимов Б.В., Кондратова А.С., Черных В.А.* Осаждение пироуглерода на угольное волокно // Конструкционные материалы на основе графита: Сборн. трудов М.: Металлургия, 1967, №3, С. 90-93.

05.16.06

В. М. Бушуев, Р. К. Мусин д.т.н., И. Л. Синани д.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
механико-технологический факультет
кафедра сварочного производства и технологии конструкционных материалов
Россия, г. Пермь
SinaniPGTU@yandex.ru

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПИРОУПЛОТНЕНИЯ ТКНЕПРОШИВНЫХ УГЛЕРОДНЫХ КАРКАСОВ В ТЕРМОГРАДИЕНТНОМ РЕЖИМЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Для изготовления герметичных конструкций из углерод-углеродных композиционных материалов, устойчивых в экстремальных условиях высокотемпературного и химического воздействий агрессивных металлических расплавов и химических сред, необходимо создание несущей основы с последующей ее герметизацией.. Экспериментально обоснованы технологические параметры процесса насыщения пироуглеродом ткане-прошивных каркасов термоградиентным способом, которые обеспечили высокую производительность технологических процессов; максимально возможную плотность и высокие механические свойства материала несущей основы. В качестве основного варианта несущей основы выбран композиционный материал на основе ткани УРАЛ ТМ-4.

Ключевые слова: термоградиентный метод, зона пиролиза, градиент температур, несущая основа, насыщение пироуглеродом, углеродный каркас, технологические параметры, плотность, пористость.

Широкие перспективы в химическом аппаратостроении открывает использование углерод-углеродных композиционных материалов устойчивых в условиях высокотемпературного и коррозионного воздействия металлических расплавов и химических сред. Коррозионная стойкость этих материалов в агрессивных расплавах солей в 4-10 раз превышает металлические сплавы и в 1.5-2 раза стойкость известных углеродных материалов [1-3].

Основным недостатком УУКМ, является то, что они проницаемы для жидкостей и газов. Однако нами впервые показано, что этот класс композиционных материалов с дополнительными герметизирующими слоями может с успехом применяться в различных отраслях народного хозяйства [4,5].

Целью настоящего исследования является установление режимных параметров насыщения тканепрошивных каркасов пироуглеродом в термоградиентном режиме с использованием радиально движущейся зоны пиролиза и выбор материала несущей основы [6,7].

Метод заключается в резистивном нагреве пористой среды с помощью молибденового или графитового стержня в потоке природного газа. Вокруг стержня создается узкая зона пиролиза (рис. 1). Координате X_1 соответствует некоторая критическая температура $T_к$, за пределы которой молекулы метана не диффундируют, так как участок X_0 - X_1 представляет уже уплотненный пироуглеродом пористый наполнитель. Координате X_2 соответствует пороговая температура $T_п$, при которой реакция разложения метана, практически, не протекает. Участок 0 - X_0 контактирует с источником нагрева.

Важным технологическим параметром, определяющим эффективность описанного процесса, является скорость движения зоны пиролиза по толщине углеродных каркасов. В наших экспериментах она варьировалась в пределах от 0.125 – до 0.5 мм/ч.

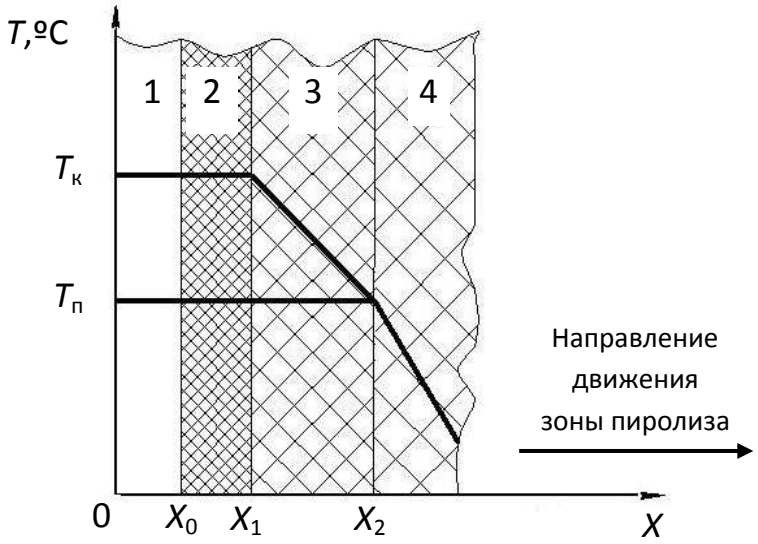


Рис. 1 - Распределение температуры по толщине уплотняемого пироуглеродом каркаса: 1 – зона нагрева; 2 – уплотненная часть; 3 – зона пиролиза; 4 – уплотняемый каркас.

В задачу настоящего исследования входило определение градиента температур по длине зоны пиролиза и скорости движения созданного фронта температур по толщине насыщаемого каркаса, которые бы обеспечили максимально возможную плотность УУКМ и высокую производительность технологического процесса.

Для проведения экспериментальных работ по разработке УУКМ, пригодных к герметизации, формировали малогабаритные пакеты в форме пластин и из низкомодульной ткани марки и высокомодульной ткани марки УТ-900. Затем пакет прошивали на швейной машине низкомодульной углеродной нитью марки УРАЛ-Н или УРАЛ-НШ с расстоянием между строчками 5-10 мм. Наличие в каркасе 3-й координаты позволяет повысить межслоевую прочность УУКМ.

В каждом из экспериментов на оправку-нагреватель, выполненную из графита в виде пластины, размещали с одной ее стороны каркас из ткани Урал-ТМ-4, с другой – каркас из ткани УТ-900. После их размещения на оправке нагревателя каркасы обматывали слоями асботкани марки АТ-3. После этого оправку-нагреватель с размещенными на ней каркасами монтировали в реакционном аппарате. Затем в одном из каркасов сверлили отверстие под кварцевый капилляр, который устанавливали до упора в оправку-нагреватель. Контроль температуры осуществляли хромель-алюмелевой термопарой, перемещаемой в течение процесса в кварцевом капилляре с заданной скоростью. После насыщения каркасов пластин пироуглеродом они обрабатывались механическим способом до размеров 200×830×10 мм. УУКМ полученному насыщением пироуглеродом каркаса из высокомодульной ткани УТ-900 было присвоено название «Луч», а из низкомодульной ткани УралТМ-4 название «Углекон». В качестве углеродсодержащего газа использовали сетевой газ по ГОСТ 5542-87, содержащий CH_4 – не менее 95 %. Непосредственно на пластинах измеряли среднюю плотность и открытую пористость полученных материалов. После этого пластины разрезали на стандартные образцы для исследования физико-механических свойств материала.

Для экспериментальной отработки технологического процесса насыщения каркасов, были проведены две серии экспериментов. При проведении первой серии экспериментов

изучали зависимости плотности и открытой пористости тканепрошивных каркасов от градиента температур при постоянной скорости движения зоны пиролиза. Температура в зоне пиролиза составляла $T_к$ = 980±15ºС, расход метана 4-5 м^3/час. Результаты этой серии экспериментов представлены на рис.2. Как можно видеть, с увеличением градиента температур плотность увеличивается линейно, а пористость уменьшается.

Зависимость плотности от градиента температур для этого случая может быть описана простым эмпирическим выражением:

ρ, г/см^3 = 0,0039 Δt + 1,358

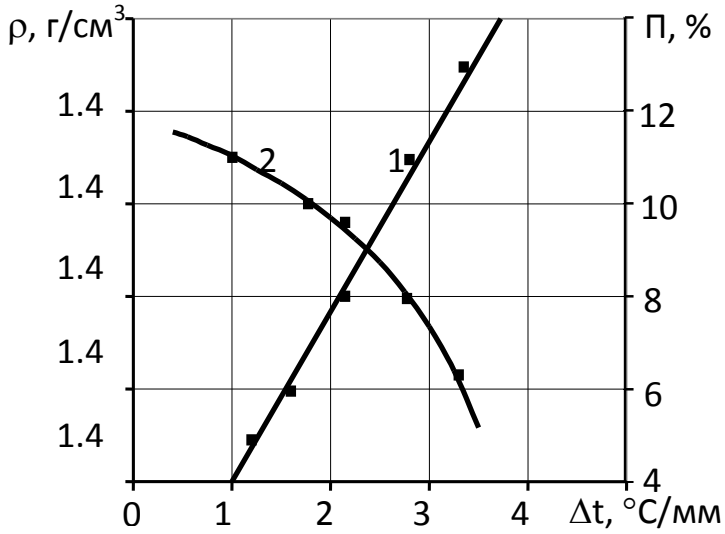


Рис. 2- Зависимость плотности (1) и открытой пористости (2) от градиента температур Δt, °С/мм, при скорости движения зоны пиролиза 0.25 мм/ч.

Во второй серии экспериментов температура $T_к$ и расход метана оставались прежними, а для трех градиентов температур 10, 20 и 30 ºС/мм исследовалась зависимость плотности от скорости движения зоны пиролиза. Результаты этой серии экспериментов приведены на рис. 3.

Как видно из рисунка, с увеличением скорости движения зоны пиролиза плотность материала уменьшается, и тем в большей степени, чем меньше градиент температур.

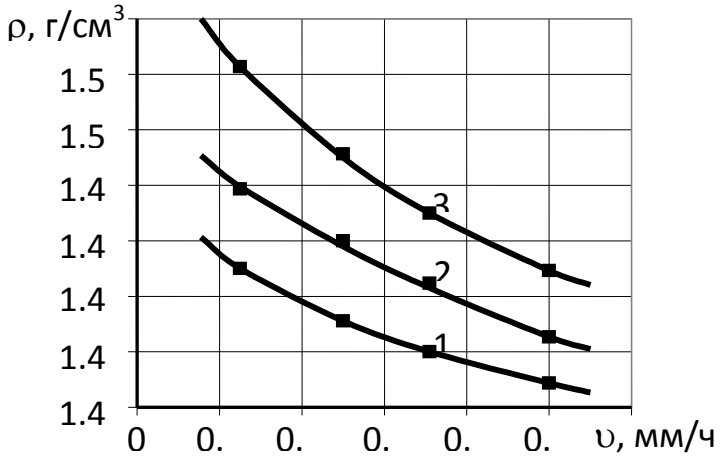


Рис. 3- Зависимость плотности от скорости движения зоны пиролиза при градиентах температур: 1– 10; 2 – 20; 3 – 30°С/мм.

Результаты этих исследований были обобщены и сведены в табл.1.

Таблица 1- Влияние параметров на производительность и качество УУКМ на основе ткани Урал ТМ-4 при градиенте температур 25 ºС/мм.

Скорость зоны пиролиза, мм/ч	Время насыщения каркаса, ч	Средний привес пироуглерода, г/ч	Средняя плотность, г/см^3
0.125	120	18.1	1.52
0.25	60	34.4	1.49
0.35	43	45.9	1.47
0.50	30	64.5	1.45

Анализ табличных данных позволяет заключить, что для сохранения сравнительно высокой плотности и производительности процесса насыщения каркасов пироуглеродом, скорость движения зоны пиролиза по толщине каркаса следует назначить 0.25-0.35 мм/ч, а градиент температур в пределах 20-30°С/мм.

При исследовании прочностных характеристик УУКМ установлено, что достаточно высокой прочностью обладают материалы с относительной плотностью не ниже 1.35-1.45 г/см^3, которую вполне обеспечивают выбранные выше параметры процесса. В связи с этим исследования проводились на образцах с плотностью не ниже указанной. Прочностные характеристики определялись стандартными методами и представлены в табл.2.

Исходя из уровня прочностных характеристик, в качестве материала несущей основы целесообразнее выбрать материал «Луч». Однако, после уплотнения ткани УТ-900 на основе высокомодульных волокон на материале, металлографическим путём, были зафиксированы трещины, (рис. 4,а), в то время как на УУКМ, изготовленном на основе ткани Урал-ТМ-4, прошедшей аналогичную обработку, дефектов не обнаружено (рис. 4,б)

Таблица 2- Физико-механические свойства УКМ различных типов.

№ п/п	Наименование характеристики	«Луч»	«Углекон»
1	Плотность, г/см^3	1.45-1.67	1.35-1.45
2	Открытая пористость, %	12.8-16.8	8.5-9.0
3	Предел прочности при растяжении, кг/мм^2, по ТУ 1916-007-07523132-2007 в осевом направлении в радиальном направлении	 11.0-17.8 14.6-17.0	 6.0-7.3 –
4	Предел прочности при сжатии, кг/мм^2, по ГОСТ 25602-80 в осевом направлении в радиальном направлении	 8.6-12.0 12.4-16.1	 11.6-15.5 Ср. 12.6
5	Предел прочности при изгибе, кг/мм^2, по ОСТ 92-1462-77 в осевом направлении в радиальном направлении	 15.1-20.4 15.4-22.0	 Ср. 11.4 5.9-8.9

6	Модуль упругости при растяжении, Е·10, кг/мм$^{-3}$, по ОСТ 92-1461-77	4.02-4.45	1.55-1.96
7	Ударная вязкость, кгс·см/см^2, по ГОСТ 4647-80 (по Шарпи) в осевом направлении в радиальном направлении	 8.1-11.4 12.8-14.1	 8.0 7.5
8	Коэффициент линейного термич. расширения, $\alpha\times10^6$, град$^{-1}$ по методике 934.004-2008М в осевом направлении 20-1000 °С 20-2000 °С в радиальном направлении 20-1000 °С 20-2000 °С	 0.95-1.60 3.20 1.32 1.81	 2.80 4.40 2.75-2.80 3.30
9	Теплоемкость, кДж/кг·°С, по эксплуатационной документации на измеритель теплоемкости ИТ-С-400	0.66	0.69-0.73

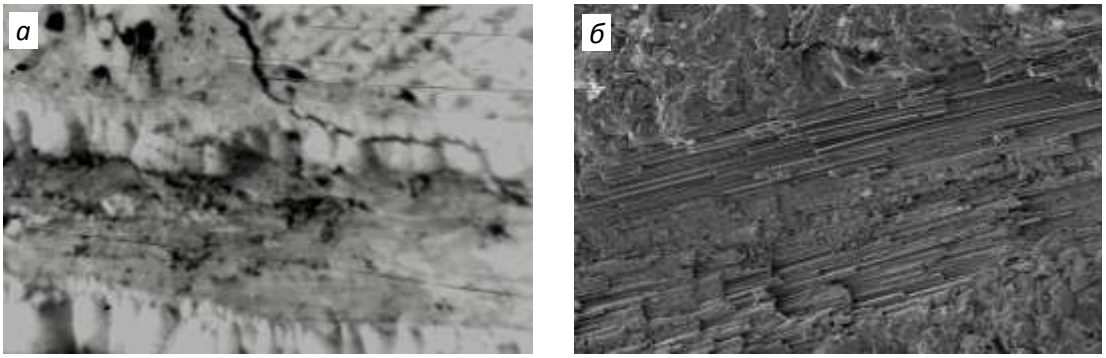


Рис. 4- Микроструктура УУКМ после насыщения пироуглеродом, х1000; а) образование трещин в материале «Луч»; б) отсутствие трещин в материале «Углекон».

Этот факт можно объяснить тем, что ткань Урал-ТМ-4, как материал наполнителя, имеет хорошую совместимость с материалом матрицы (пироуглеродом) по таким основным критериям как коэффициент линейного термического расширения (клтр), хорошая адгезия на границе матрицы и армирующего элемента, термодинамическая устойчивость при работе в условиях высоких температур. Из сравнения клтр материалов «Углекон» и «Луч» с клтр пироуглеродной матрицы следует, что клтр низкомодульного материала «Углекон» близок к клтр пироуглеродного покрытия

Кроме того, каркасы, сформированные из низкомодульной ткани, отличаются высокой технологичностью и, в первую очередь, деформативностью. Из этой ткани могут быть изготовлены каркасы сложнопрофильных деталей, обеспечивая надежность в эксплуатации герметичных конструкций.

На основании этих исследований можно заключить следующее. Несмотря на высокий комплекс физико-механических свойств материала «Луч» его использование для материала несущей основы герметичных конструкций не представляется возможным, и в качестве основного варианта для изготовления несущей основы был выбран материал «Углекон»,

изготовленный из ткани УралТМ-4. Как показали дальнейшие исследования, наши выводы полностью оправдались, и несущая основа из материала «Углекон» с нанесенными на нее герметизирующими слоями обеспечила надежную работоспособность изделий в экстремальных условиях высокотемпературного и химического воздействий агрессивных сред [3,4].

Выводы

1. Для достижения высокой плотности и производительности термоградиениного процесса насыщения пироуглеродом каркаса из ткани Урал ТМ-4 скорость движения зоны пиролиза по толщине каркаса следует назначить 0.25-0.35 мм/ч, а градиент температур в пределах 20-30 ºС/мм.

2. В качестве несущей основы герметичных конструкций из УУКМ выбран материал «Углекон», изготовленный из ткани УралТМ-4 с плотностью 1.45-1.49 г/см^3, что обеспечивает высокие механические свойства материала несущей основы и её эксплутационные характеристики.

Список литературы:

1. *В.М. Бушуев, П.Г. Удинцев, В.Ю. Чунаев, А.Н. Ершова*. Перспективы применения углеродных композиционных материалов в химическом аппаратостроении // Химическая промышленность. 2003. т. 80., № 3. С.38-45.

2. *Колесников С.А.* // Сб. «Конверсия в машиностроении». Нагреватели электровакуумных печей из углерод - углеродных композиционных материалов – М.: ТОО Информконверсия, 1993, №3, С.69-73.

3. *В.М. Бушуев, П.Г. Удинцев, В.Ю. Чунаев, А.Н. Ершова*. Разработка и перспективы применения углеродных композиционных материалов в технологической оснастке, применяемой при проведении высокотемпературных процессов // Электрохимия.2003, № 12. С. 120-127.

4. *В.М. Бушуев, И.Л. Синани, Н.А. Хохлявин*. Разработка эффективной технологии изготовления герметичных к расплаву и парам кремния реторт, применяемых в процессе парофазного силицирования / Перспективные материалы. 2010 г. № 9а, С. 105-110.

5. *В.М. Бушуев, А.Г. Щурик, П.Н.Панов*. Блокирование микропримесей в деталях тепловых узлов из УУКМ // Перспективные материалы. 2011. №6, С. 191-195.

6. *Гурин В.А., Зеленский В.Ф.* Газофазные методы получения углеродных и углерод-углеродных материалов // Вопросы атомной науки и техники / ННЦ ХФТИ. – Харьков, 1999. – С. 13-31.

7. *Гурин В.А.* и др. Исследование газофазного уплотнения пироуглеродом пористых сред методом радиально движущейся зоны пиролиза / В.А. Гурин, Н.В. Гурин, С.Г. Фурсов // Вопросы атомной науки и техники / ННЦ ХФТИ. – Харьков, 1999. – С. 32-45.

05.02.08

Р. И. Валиев, В. И. Ильин к.т.н., Б. Ю. Шакиров, Ю. И. Шакиров к.т.н.

Камская государственная инженерно-экономическая академия
автомеханический факультет
кафедра электротехника и электроника
Россия, г. Набережные Челны
jamash87@mail.ru

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ С ЖИДКИМ ЭЛЕКТРОДОМ

Разработана система управления и плазменная электротермическая установка (ПЭТУ) с жидким катодом. Исследованы и отработаны режимы очистки с поверхности изделий, снятия заусенцев с деталей сложной конфигурации после механической обработки.

Ключевые слова: плазменная электротермическая установка, очистка поверхности изделий, снятия заусенцев, система управления.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных технологических операций при изготовлении и восстановлении изношенных деталей в машиностроении является операция очистки поверхности и снятия заусенцев после механической обработки. Операцию очистки поверхности полупроводников приходится выполнять в приборостроении и электронике. Удаление заусенцев определяет качество и надежность работы агрегата, повышает его эксплуатационные свойства, товарный вид. После механической обработки (отрезка резцом или фрезой, строгание, фрезерование и т.д.) достигается (класс шероховатости 1÷5 (R_a = 80÷3,2 мкм, R_z= 320÷ 15 мкм)).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПЭТУ С ЖИДКИМ ЭЛЕКТРОДОМ

Для оптимизации процесса очистки и снятия заусенцев разработана экспериментальная ПЭТУ с жидким электродом [1] (рис.1). Ванна изготовлена из медных пластин и имеет рубашку охлаждения. Она заполняется исследуемыми электролитами необходимой концентрации. Ванна соединена с одной из клемм источника питания. Верхний твердый электрод присоединяется к другой клемме источника. Этот электрод установлен на координатном устройстве, позволяющем регулировать межэлектродные расстояния и по координатам X, Y. В качестве электролита использовались NaCl, $CuSO_4$, NH_4NO_3,

Экспериментальная установка предназначена для исследования электрического разряда в диапазоне параметров U_p =0,3 – 3000 В, токов I=0,01÷200 А, $j_э$ =0,1 - 25 А/см^2**,** межэлектродных расстояний l = 0,1 – 100 мм. Система охлаждения установки служит для охлаждения электролита. Она питается из магистральной водопроводной сети, а подача электролита осуществляется из специального бака.

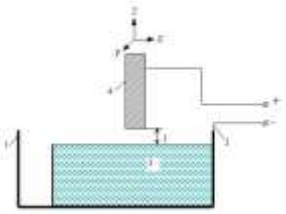


Рис.1 - Схема электролитической ванны с проточным электролитическим катодом: 1 - металлическая элекролитическая ванна; 2 - токоподвод; 3 - электролит; 4 - металлический анод.

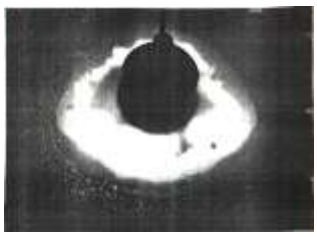


Рис. 2 - Образование парогазовой оболочки в электрическом разряде между электролитом и обрабатываемой деталью.

ПАРОГАЗОВАЯ ОБОЛОЧКА

Прохождение тока через электролитическую ячейку, в которой поверхность анода гораздо меньше, чем у катода. При небольших напряжениях прохождение тока в объеме раствора описывается законом Ома, а процессы на электродах - законами Фарадея. Увеличение напряжения приводит к разогреву электролита преимущественно в прианодной зоне, поскольку в ней сосредоточено почти все сопротивление электролитической ячейки.

Переходы от одного режима прохождения тока к другому происходят при достижении критических значений напряжения. Для образования сплошной парогазовой оболочки (рис.2), хотя бы и неустойчивой, необходимо обеспечить выделение в прианодной зоне энергии, достаточной для вскипания электролита в некотором объеме.

Для образования парогазовой оболочки необходимо нагреть прианодный слой раствора до точки кипения. Рассмотрим вскипание раствора на примере вертикальной цилиндрической ячейки (рис.3).

Для того чтобы поверхности электродов были равнодоступными, анод выдвигается через уплотненное отверстие в диэлектрическом основании ячейки. Такая конструкция обеспечивает равномерное распределение плотности тока по поверхностям электродов. Вольтамперные характеристики (ВАХ) ячейки записаны с помощью двухкоординатного самописца ПДП-4-002 при подаче напряжения, возрастающего по линейному закону с постоянной скоростью в интервале от 1 до 30 В/с и представлены на рис.4.

Полученные зависимости оказались, как правило, линейными. В растворах высоких концентраций сопротивление ячейки практически постоянно во всем диапазоне напряжений (кривые 1 и 2 на рис.4).

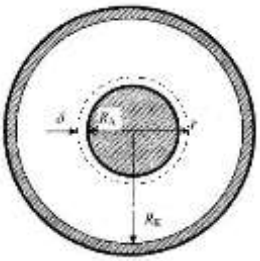


Рис.3 – Вертикальная электролитическая ячейка.

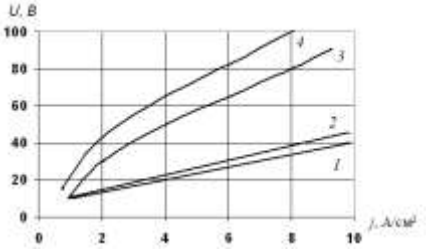


Рис.4 – ВАХ цилиндрической ячейки. Концентрация NH_4NO_3 (%):1, 2 - 25; 3, 4 - 5. Скорость роста напряжения (В/с): 1 - 1,3; 2 - 10,9; 3 - 4,0; 4- 25,0.

Для того чтобы оценить влияние параметров системы на скорость вскипания и первое критическое напряжение, рассмотрим тепловой баланс в цилиндрической ячейке, изображенной на рис.3. Распределение потенциала в среде между двумя коаксиальными цилиндрами находится решением уравнения Пуассона, если принять потенциал анода равным U, а катода - нулю:

$$\varphi(r) = U\,\frac{\ln(R_K/r)}{\ln(R_K/R_A)} \qquad (1)$$

где r - радиальная координата. Тогда согласно закону Ома плотность тока в растворе определяется выражением

$$j = \sigma\frac{d\varphi}{dr} = \frac{\sigma U}{r\ln(R_K/R_A)} \qquad (2)$$

где σ - удельная электропроводность раствора. Ток через цилиндрическую поверхность с высотой h, радиусом r и площадью S равен

$$I = jS = j2\pi rh = \frac{2\pi h\sigma U}{\ln(R_K/R_A)} \qquad (3)$$

и, естественно, не зависит от r. В прианодном слое толщиной $\delta = r - R_A$ будет выделяться электрическая мощность

$$\mathrm{P} = \mathrm{I}[\mathrm{U} - \varphi(\mathrm{r})] = \frac{2\pi h\sigma\,\mathrm{U}^2\ln(r/R_A)}{\ln^2(R_k/R_A)} \qquad (4)$$

Масса тонкого прианодного слоя толщиной δ для $\delta << R_A$

$$m = \gamma V = \pi\gamma(r^2 - R_A^2)h = \pi\gamma h[(R_A+\delta)^2 - R_A^2] \approx 2\pi\gamma h\delta R_A \qquad (5)$$

где V - объем слоя, γ - плотность электролита.

Предположим, что вся выделяемая в слое мощность будет истрачена на его нагрев до кипения и испарение. Пренебрегая отводом тепла из слоя в анод и в раствор, получим:

$$mc(T_S - T_0) + m\lambda = P\Delta t \qquad (6)$$

где c - удельная теплоемкость раствора, T_s - точка кипения раствора, T_0 - начальная температура, λ - удельная теплота парообразования, Δt - продолжительность нагрева до вскипания.

Подстановка (4) и (5) в (6) с учетом того, что $\ln(1+\delta/R_A) \approx \delta/R_A$, позволяет найти время наступления прерываний:

$$\Delta t = \frac{\gamma R_A^2(c\Delta T + \lambda)\ln^2(R_K/R_A)}{\sigma U^2} \qquad (7)$$

где $\Delta T = T_S - T_0$ из этого следует:

чем больше напряжение, тем быстрее наступит вскипание, тем справедливее пренебрежение отводом тепла из ячейки и сама формула (7).

В случае $U = f \cdot t$, где f - постоянная скорость роста напряжения, можно сравнить измеренные время до начала прерываний и первое критическое напряжение U_c с расчетными данными.

Поскольку $U_c = f\Delta t$,

$$\Delta t = \sqrt[3]{\frac{\gamma R_A^2 (C\Delta T + \lambda) \ln^2 (R_K / R_A)}{f^2 \sigma}} \qquad (8)$$

Соответственно, первое критическое напряжение будет равно:

$$U_C = \sqrt[3]{\frac{f\gamma R_A^2 (C\Delta T + \lambda) \ln^2 (R_K / R_A)}{\sigma}} \qquad (9)$$

При более значительных напряжениях поверхность раствора приобретает заметный отрицательный заряд, обусловленный повышенной концентраций анионов. Отметим, что здесь не рассматривается двойной слой, существующий на межфазной границе в отсутствие внешнего электрического поля. Для оценки величины поверхностного заряда предположим, что изменение концентрации ионов в зависимости от потенциала описывается законом Больцмана [2] (рис.5).

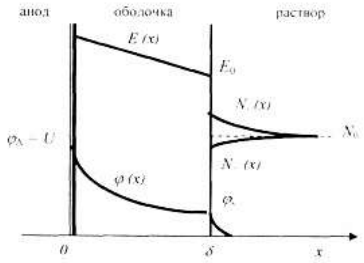


Рис.5 - Поверхностный слой раствора и электрическое поле в оболочке.

Вольтамперная характеристика парогазовой оболочки постоянной толщины может быть рассчитана с помощью стандартной системы уравнений, в которых учитывается возможная роль пространственного заряда, а зависимость плотности тока j от напряженности поля E считается линейной:

$$\begin{aligned} &\varepsilon_0 \, div \, \bar{E} = -\rho_e \\ &\bar{j} = \mu \rho_e \bar{E} \\ &div \, \bar{j} = 0 \end{aligned} \qquad (10)$$

где ρ_e - объемная плотность зарядов, μ - подвижность ионов.

Для одномерной задачи в соответствии с рис.5 получим

$$\frac{dj}{dx} = \mu E \frac{dp_e}{dx} + \mu \rho_e \frac{dE}{dx} = 0 \qquad (11)$$

откуда

$$E \frac{d^2 E}{dx^2} + \left(\frac{dE}{dx}\right)^2 = 0 \qquad (12)$$

Предположим, что потенциал поверхности раствора φ_s пренебрежимо мал по сравнению с потенциалом анода, равным величине напряжения U. На поверхности $x = \delta$ должно сохраняться поле E_0, обеспечивающее эмиссию избыточного заряда.

Интегрированием (12) и решением уравнения при условиях φ (δ) = 0 и φ (0)=U получим вольтамперную характеристику в виде:

$$j = \frac{9\mu\varepsilon_0 U^2}{8\delta^3} \qquad (13)$$

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТ

Полученные ВАХ и расчеты позволяют разработать ПЭТУ для очистки и снятия заусенцев с поверхности изделий.

Нами предлагается процесс очистки поверхности полупроводников, цветных металлов и сталей с помощью плазменной электротермической установкой (рис.6), горящего между жидким катодом – 20 ÷ 25 % -ным водным раствором NaCl и погруженным в нее твердым анодом - очищаемым изделием, методы удаления заусенцев и чистовой обработки.

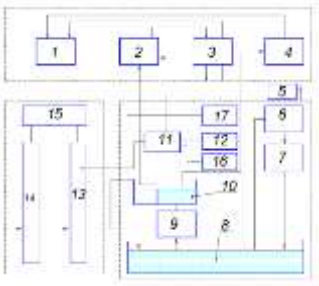
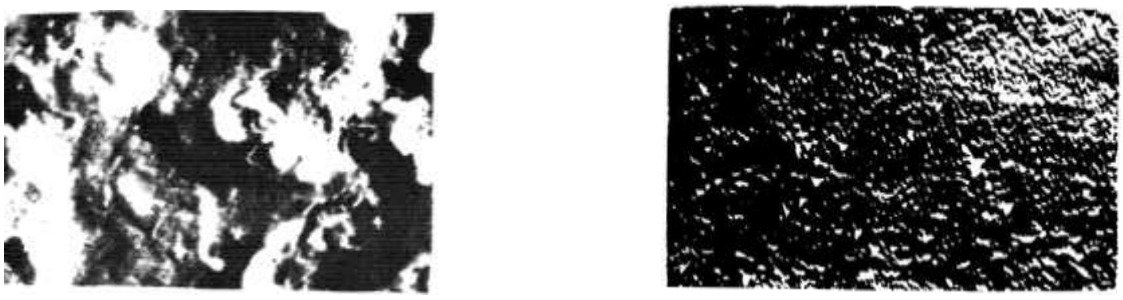


Рис. 6 - Структурная схема ПЭТУ с жидким электродом.

1 - стабилизатор напряжения; 2 - система контроля МЭЗ; 3 - система контроля параметров электролита; 4 - система контроля электрических параметров разряда; 5 - вытяжная вентиляция; 6 - насос перекачки электролита; 7 - фильтр для очистки электролита; 8 - емкость с электролитом; 9 - насос подачи электролита в электролитическую ванну; 10 - электролитическая ванна; 11 - обрабатываемая деталь; 12 - координирующее устройство; 13 - блок выпрямителя; 14-трансформатор; 15 - регулятор напряжения; 16 - крепление детали; 17 – счетчик количества электричества.

В этом случае при $U > U_k$, где U_k - катодное падение напряжения, горит высоковольтный разряд в образовавшиеся на поверхности электролита парогазовой среде. Этот разряд состоит из множества микроразрядов в коллоидной среде с пористо капиллярной структурой. Наблюдения показали, что эти микроразряды очищают поверхность полупроводников за 20-30 сек (рис.7), цветных металлов, таких, как медь, латунь, бронза, алюминий за время 30-40 сек.



а б

Рис. 7 - Очистка поверхности полупроводника (германий, увеличение - х 180)
а - необработанная поверхность; б - обработанная поверхность.
Время обработки Т = 25 сек.

Наиболее качественная очистка поверхностей осуществляется, если в раствор NaCl добавлять борную или лимонную кислоты, уменьшающие защелочивание электролита. Это тем более важно, что величина pH влияет не только на анодную плотность тока j_a, но и на параметр R_a шероховатости поверхности.

Добавление нитрита натрия служить как ингибитор коррозии и после обработки очищенная поверхность становится коррозиостойкой. Напряжение разряда (≈ 120 В) практически не влияет на параметры качества поверхности и на скорость очистки детали. Плотность же анодного тока влияет и на качество обработки и на продолжительность обработки. Например, за 20 сек обработки детали током плотностью 1 А/см^2 при глубине погружения $h=0{,}5\cdot10^{-3}$, мы получили шероховатость поверхности 8 класса. Увеличение плотности тока до 3 А/см^2 (при продолжительности времени обработки 15сек) позволило еще улучшить качество очистки поверхности. Шероховатость поверхности по ГОСТ 2789 - 73 соответствовала классу 9-10. Дальнейшее увеличение плотности тока или времени обработки практически не влияет на класс шероховатости поверхности. Температура электролита влияет на качество обработанной поверхности. Исследования показали, что с увеличением температуры электролита уменьшается производительность процесса. Поэтому мы охлаждали электролит с помощью проточной водопроводной воды. На (рис. 8) приведены результаты исследований зависимости параметра R_z качества обработанных поверхностей деталей из меди М1 (кривая 1 при U = 120В и времени обработки t = 40сек) и стали 25ХНВА (кривая 2, магнитопроводная сталь, U = 90В, t = 60 сек) при обработке разрядом с жидким электродом (температура электролита 300К) в зависимости от плотности тока на твердом электроде. Видно, что при увеличении плотности тока более, чем 3÷4 А/см^2 заметного улучшения качества поверхностей не наблюдается.

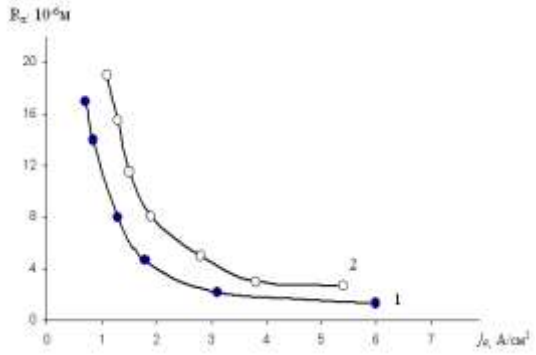


Рис. 8 - Качество поверхностей после обработки плазмой разряда с жидким электродом. Давление $P=10^5$Па, температура электролита $t_э$=300К.

Методы удаления заусенцев и чистовой обработки повышают класс шероховатости до 8÷10, а алмазная обработка, полирование пастой, электрохимическая обработка позволяют достичь класс шероховатости 13÷14. Эти методы не всегда бывают надежны, они характеризуются низкой производительностью, трудоемкостью и неравномерностью съема по кромкам, т.е. процесс формирования геометрических характеристик поверхности является трудноуправляемым процессом.

Достигнуто эффективное удаление заусенцев, оставшихся после механической обработки, с кромок деталей сложной конфигурации, электрическим разрядом между обрабатываемой деталью и жидким электродом. Площадь парогазового слоя начинает расширяться со скоростью 0,005÷0,01м/с. Ток растет, и через 8÷12сек, при критических условиях слой разрывается взрывом, далее процесс повторяется. При $h = 10^{-3}$ м, площадь поверхности слоя доходит до 0,012÷0,015м^2, а ток разряда до 200А. Исследования показали,

что процесс снятия заусенцев следует вести при 4 А/см^2 < j_a <13А/см^2, напряжении 80В <U_p< 120 В и температура ~ 800 ^{0}С. В электролите из раствора $CuSO_4$ парогазовый слой не образуется, но заусенцы также удается удалить. В этом случае потребляемая энергия на единицу удаленного материала в 2÷3 раза больше, чем для электролита из раствора NaCl.

Процесс снятия заусенцев целесообразно вести по возможности, при небольших глубинах погружения детали в электролит и в условиях горения разряда. При больших h начинается обычное ЭХУЗ с притуплением острых кромок, осуществляющийся за счет съема металла электролизом. Интенсивность процесса снятия заусенцев зависит от состава электролита, напряжения источника питания, плотности тока, природы обрабатываемого материала. Время обработки определяется исходной средней высотой заусенцев и требуемой чистотой кромок.

В предлагаемом процессе удаления заусенцев с помощью разряда в парогазовой среде плотность тока j_a оказалась меньше плотности тока чем при электрохимическом удалении заусенцев. Другие потери энергии также оказались меньше, чем при ЭХУЗ. Поэтому у предлагаемого метода есть определенные преимущества не нужен второй электрод (электроинструмент), поэтому он не изнашивается. Разряд горит преимущественно около кромок детали можно снимать заусенцы и на труднодоступных для других способов участках деталей.

Для качественной обработки нами разработана система управления и автоматизация процесса очистки и снятия заусенцев. Исследования показали нужно обеспечить определенную температуру электролита, его чистоту, состав и удалять посторонние продукты (гидрат окиси металла, газообразные вещества и т.д.).

В рассматриваемой системе автоматизации степень выработки электролита оценивается по удельному количеству электричества, прошедшему через RS1 и измеряется счетчиком количества электричества (СКЭ).

Счетчик имеет уставки частичной и полной выработок электролита. Этот СКЭ состоит из входного усилителя (ВУ), детектора среднего значения (ДСЗ), усредняющего фильтра (УФ) с подключенным на выходе буферным повторителем, преобразователя напряжение - частота (ПНЧ), однокристальной ЭВМ (ОЭВМ) или микроконтроллера, энергонезависимого оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), устройства индикации (УИ), клавиатуры, выходного ключа (ВК), нагрузкой которого является электромагнитное реле К1. Датчиком тока СКЭ (рис. 9) служит стандартный измерительный шунт RS1, включенный последовательно в выходную цепь U1.

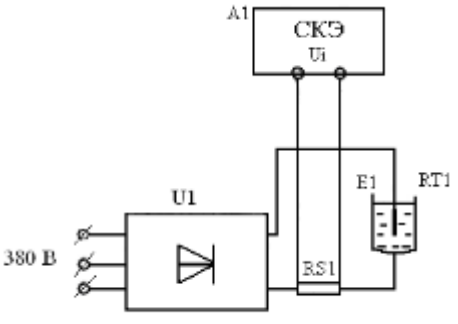


Рис. 9 - Входные цепи счетчика количества электричества.

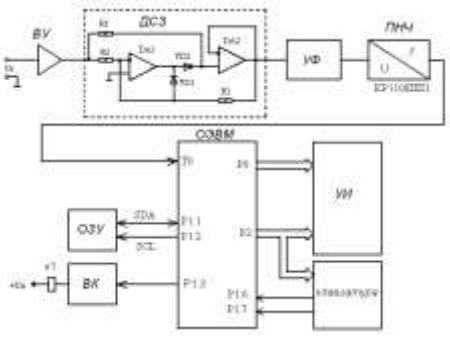


Рис. 10- Функциональная схема счетчика количества электричества.

Сигнал U_i от датчика тока (рис.10) после усиления в ВУ подвергается двухполупериодному выпрямлению в ДСЗ и усредняется в УФ, на выходе которого формируется напряжение, пропорциональное среднему значению тока, протекающего в

разряде - нагрузке Е1 (рис.9). Схемотехническое решение ДСЗ обеспечивает нелинейность характеристики преобразования менее 0,2 %. Учитывая, что в процессе очистки и снятия заусенцев скорость изменения среднего значения тока через нагрузку сравнительно невысока, использован ПНЧ, выполненный на интегральной схеме КР1108ПП1, с крутизной преобразования 1 кГц/В, что позволяет при низкой стоимости ПНЧ обеспечить нелинейность преобразования менее 0,01 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Чем больше напряжение, тем быстрее наступит вскипание, тем справедливее пренебрежение отводом тепла из ячейки и сама формула (7).

2. В случае $U = f \cdot t$, где f - постоянная скорость роста напряжения, можно сравнить измеренные время до начала прерываний и первое критическое напряжение U_c с расчетными данными.

3. Эмиссионный механизм проводимости парогазовой прианодной оболочки позволяет объяснить следующие экспериментальные данные и закономерности:

– снятия заусенцев и очистка достигается лишь в растворах с достаточно высокой удельной электропроводностью (свыше 0,05 $Ом^{-1} \cdot см^{-1}$), поскольку поверхностный слой электролита должен содержать необходимое число ионов, обеспечивающих избыточный заряд.

– предельная температура для снятия заусенцев и очистки (~ 800 °С), исключающая оплавление стальных изделий, связана с ограниченной эмиссионной способностью кипящего раствора.

– экспериментально наблюдаемое осаждение компонентов раствора на поверхности анода связано с эмиссией в парогазовую оболочку ионов обоих знаков с преобладанием отрицательных. Вне раствора взаимодействие ионов противоположных знаков уже не будет ослаблено гидратацией, что приведет к кристаллизации нелетучих компонентов раствора. Кристаллизовавшиеся соединения будут уходить в атмосферу вместе с парами, накапливаться на стенках рабочей камеры или осаждаться на аноде сплошным слоем. В ряде случаев осаждение на аноде может привести к постепенному уменьшению тока, а вследствие этого, и к снижению температуры анода вплоть до конденсации оболочки и к прекращению процесса.

4. Применение системы управления автоматизированного процесса обработки позволяет повысить качество поверхностного слоя изделий.

Список литературы:

1. Гайсин Ф.М., Шакиров Ю.И., Хакимов Р.Г. Исследование разряда между твердым и жидким электродами // Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции КамАЗ-КамПИ, Наб. Челны 1990.-С161.

2. Дамаскин Б.Б. Введение в электрохимическую кинетику //Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий.-М.:Высш. шк. 1983-400с.

05.23.11

В. П. Валуйских д.т.н., Ф. Н. Захаров

Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых
кафедра «Сопротивление материалов»
Россия, г. Владимир
zaharof2010@yandex.ru

КОНСТРУКТИВНЫЙ РЯД ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Рассматривается конструктивный ряд водопропускных труб с различным строительным подъёмом для автомобильных дорог. Предлагаются оригинальные, защищённые патентами, конструктивные решения полуэллиптических и полукольцевых железобетонных труб, позволяющие на 30÷45% снизить затраты материала по сравнению с широко распространёнными кольцевыми трубами.

Ключевые слова: железобетонные водопропускные трубы, полуэллиптические, полукольцевые, пространственно соединённые звенья.

Большинство водопропускных труб (ВПТ) в автодорожных насыпях [1] имеют кольцевое (ВПТ-К) очертание, наиболее технологичное в изготовлении, но при монтаже весьма затрудняющее уплотнение грунта ниже горизонтальной оси трубы. В результате уже в первые годы эксплуатации автомобильных дорог (АД) вследствие неравномерных осадок насыпи и дорожного полотна возникает необходимость их локального ремонта.

Разработанные нами ранее ([2] и наш патент [3]) ВПТ полукольцевого (ВПТ-ПК: верхний элемент - полуцилиндрический контур; нижний элемент - плоская плита) очертания лишены ряда недостатков ВПТ-К, однако обладают большей материалоёмкостью.

ВПТ-ПК [2] по строительным затратам экономичнее ВПТ-К только в случае, когда сумма строительного подъёма ВПТ-К и минимальной высоты насыпи над шелыгой больше проектной высоты насыпи.

Производство ВПТ-ПК (проект 1995 г.) было организовано на Ковровском заводе ЖБИ ГУП ДСУ-3 и с 1996 года на дорогах Владимирской области установлены десятки таких труб. За прошедшие годы накоплен значительный опыт эксплуатации ВТП-ПК, в частности, установлено, что разрывов дорожного полотна, характерных для ВПТ-К в первый год эксплуатации АД, над ВПТ-ПК не происходит. Однако, при обследовании ВПТ-ПК, нами были обнаружен ряд конструктивных и технологических недостатков.

В качестве примера проявления указанных выше недостатков, представим некоторые результаты обследования [4] ВПТ-ПК (31 км АД «Владимир – Юрьев-Польский», длина трубы 18 м, высота насыпи над шелыгой 0,75 м), получившей значительные осевые и вертикальные деформации – рис. 3.

а) *б)*

Рис. 1 - Эксплуатационные деформации полукольцевых водопропускных труб: *а)* раздвижка элементов трубы вдоль оси, *б)* осадка полуколец трубы у шелыги

Основной причиной осадок насыпи и разрывов дорожного полотна, по нашему мнению, являются не качественная подготовка основания (песчаной подушки под опорной плитой) и установка элементов ВПТ без их монтажного соединения.

Раздвижка (рис. 1а) и осадка (рис. 1б) полуколец трубы нарушили гидроизоляцию ВПТ и позволили грунтам насыпи проникать внутрь трубы, приводя к дополнительным осадкам насыпи и разрывам дорожного полотна.

Промежуточным (по технико-экономическим показателям) между ВПТ-К и ВПТ-ПК вариантом проектного решения может быть полуэллиптическая (ВПТ-ПЭ) труба (верхний элемент - ПЭ оболочка; нижний элемент - плоская плита; рис. 2) – наш патент [5].

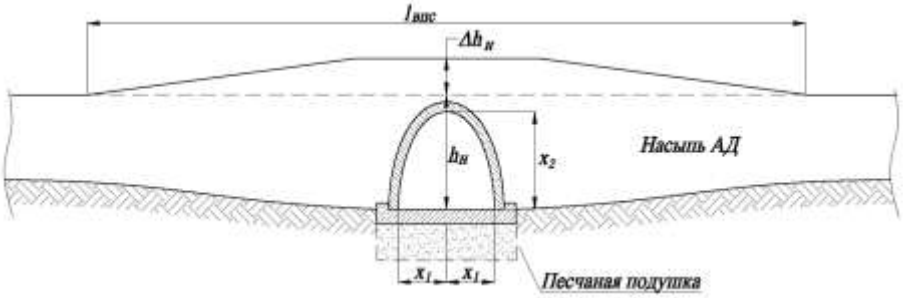


Рис. 2– Полуэллиптическая водопропускная труба под АД.

Выполненное оптимальное проектирование [6, 7] ВТП-ПЭ и ВПТ-ПК позволило снизить затраты материала на производство труб на 30-45% по сравнению с ВТП-К.

Исследованиями [6] установлено, что в достаточно широком диапазоне соотношений x_1/x_2 (см. рис. 4) варьируемых параметров x_1 и x_2 расчётные усилия и проектная стоимость арки ПЭ-ВПТ изменяются незначительно (в пределах 3÷5%), поэтому при проектировании принималось соотношение x_1/x_2 , обеспечивающее для ПЭ-ВПТ строительный подъём средний между ВПТ-ПК и ВПТ-К.

Дополнительная экономия материальных и финансовых ресурсов обеспечивается при $\Delta h_н=0$ (см. рис. 2), которое имеет место при $h_н > h_0+ h_{ВПТ}$ (где: $h_н$ - проектная высота насыпи; h_0 – минимальная нормативная высота насыпи над ВТП; $h_{ВПТ}$ - габаритная высота ВПТ), следовательно, изменений в продольном профиле АД выполнять нет необходимости.

При $h_н < h_0+ h_{ВПТ}$ (характерного для областей, в частности - Владимирской, с равнинным рельефом местности, когда насыпи проектируются минимально допустимой

высоты) - выбор типа ВПТ ограничен и приходится учитывать наличие областей рационального использования ВПТ.

В указанных условиях стоимость устройства ВПТ может быть определена следующим образом:

$C = C_{ВПТ} + \Delta C_н + \Delta C_{ВПТ} \rightarrow min$ (1)

где $C_{ВПТ}$ - стоимость устройства ВПТ при $\Delta h_н = 0$ (при этом: $\Delta C_н = \Delta C_{ВПТ} = 0$);

$\Delta C_н$ - стоимость дополнительных земляных работ, выполняемых при необходимости подъёма красных отметок продольного профиля АД над ВПТ;

$\Delta C_{ВПТ}$ - дополнительная стоимость устройства ВПТ при $\Delta h_н > 0$ за счёт увеличения длины ВПТ в теле насыпи.

Разработка конструктивного ряда ВПТ (рис. 3) с одинаковой водопропускной способностью и различным строительным подъёмом (табл. 1) в значительной степени снимает остроту этой проблемы, дают проектировщику АД варианты проектных решений.

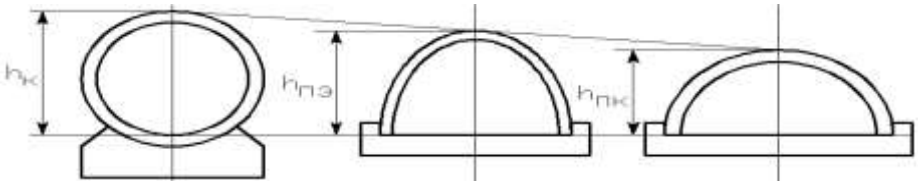


Рис. 3 - Конструктивный ряд водопропускных труб с различным СП.

Таблица 1 – Строительный подъём для двух вариантов ВПТ

№ п.п.	Водопропускная площадь, $м^2$	Строительным подъёмом, м/ %		
		ВПТ-К	ВПТ-ПЭ	ВПТ-ПК
1	0,7854	1,12 / 100	1,00 / 89	0,87 / 78
2	1,7672	1,66 / 100	1,46 / 88	1,22 / 73

Приведенные данные позволяют сделать вывод, что существующее ограничение на применение в основном кольцевых ВПТ сужает возможности проектировщика и неизбежно ведёт к увеличению затрат на строительство и эксплуатацию АД.

Результаты обследования ПК-ВПТ (см. рис. 3) навели нас на мысль, что надёжная работа всех элементов любых ВПТ может быть обеспечена только при объединении их в единую пространственную систему.

Объединение полуэллиптических или полукольцевых арок с опорной плитой и отдельных звеньев между собой выполняется при монтаже ВПТ путём сварки закладных деталей и арматурных стержней – наш патент [8].

Ещё более надёжное соединение элементов ВПТ может быть обеспечено при смещении стыков арок и опорных плит (ОП) путём деления, например, одной из опорных плит на две части – наш патент [9].

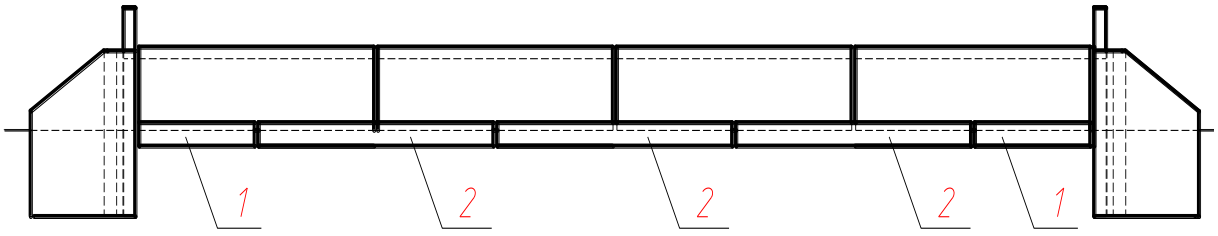


Рис. 3 - Схема членения ОП, 1- половинная ОП, 2- цельная ОП.

В этой связи, в проектах ВПТ-ПК и ВПТ-ПЭ предусматривается [8, 9] установка закладных деталей в плитах и ПК или ПЭ оболочках, позволяющих соединять арки с опорной плитой, отдельных звеньев трубы между собой и оголовком. Эти конструктивные меры обеспечивает пространственную работу системы ВПТ и противодействие деформациям в земляном полотне, особенно активно протекающих в первые годы эксплуатации АД.

Как отмечено выше, строительный подъём $h_{ВПТ}$ ($h_К$, $h_{ПЭ}$, $h_{ПК}$ - рис. 3) часто определяет необходимость подъёма красных отметок АД и выполнение дополнительных объёмов земляных работ.

Результаты оптимизации и проектирования ВПТ-ПЭ и ВПТ-ПК и сопоставление с проектными решениями ВПТ-К представлены в табл. 2.

Из анализа табл. 2 следует, что в результате оптимизации удалось получить снижение стоимости $\boldsymbol{C_{ВПТ}}$ по сравнению: кольцевой ВПТ - на 35÷45%; полукольцевой ВПТ проекта 2011 года – на 13÷14%.

Основной эффект оптимизации в проекте полуэллиптической ВПТ (по сравнению с ВПТ-ПК) достигается за счёт: рационального распределения усилий в арке; уменьшения пролёта (ширины) опорной плиты. Широкое использование инновационных решений ВПТ [3, 5, 8, 9] позволят значительно снизить затраты на строительство и эксплуатацию АД.

Таблица 2 - Технико-экономические и геометрические параметры ВПТ.

В	№ п.п.	Технико-экономические и геометрические параметры	ВПТ-К	Проекты 2011 года	
				ВПТ-ПЭ	ВПТ-ПК
1	1	Водопропускная площадь, $м^2$	0,785	0,774	0,883
	2	Строительный подъём, *м*	1,120	1,000	0,870
	3	Относительная стоимость трубы	1,0	0,700	0,860
	4	Относительная стоимость портала	1,0	0,490	0,430
	5	Относительный эффект проекта строит. затраты / + экспл. затраты	1,0	0,65 / 0,61	0,78 / 0,72
2	1	Водопропускная площадь, $м^2$	1,766	1,767	1,900
	2	Строительный подъём, *м*	1,660	1,460	1,220
	3	Относительная стоимость трубы	1,0	0,590	0,730
	4	Относительная стоимость портала	1,0	0,510	0,580
	5	Относительный эффект проекта строит. затраты / + экспл. затраты	1,0	0,55 / 0,54	0,69 / 0,65

Список литературы:

1. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы // М.: Госстрой СССР, 1996.
2. *Валуйских В.П., Аникин В.И., Кураго П.А.* Арочные водопропускные сооружения в земляном полотне АД // Актуальные проблемы транспорта. Вып. 2. – Саратов: СГТУ, 1999. – С. 140-141.
3. *Валуйских В.П., Захаров Ф.Н., Кураго П.А.* Водопропускная труба под дорожной насыпью // Патент России № 110385. 2011.
4. *Захаров Ф.Н., Мясников Е.П.* Некоторые результаты обследования полукольцевых водопропускных сооружений на автомобильных дорогах Владимирской области // Итоги строительной науки: М-лы VI МНТК. – Владимир: ВлГУ, 2010. – С. 192-197.
5. *Захаров Ф.Н., Валуйских В.П.* Водопропускная труба под дорожной насыпью // Патент России № 104564. 2011.
6. *Валуйских В.П., Захаров Ф.Н.* Поиск рациональных геометрических параметров контура водопропускных труб // Итоги строительной науки 2010: М-лы МНТК. – Владимир: ВлГУ, 2010. – С. 253-256.
7. *Валуйских В.П., Захаров Ф.Н.* Рациональные водопропускные трубы для автомобильных дорог // Инновации в строительстве и архитектуре: Монография. – Владимир: ВлГУ, 2011. – С. 149-161.
8. *Валуйских В.П., Захаров Ф.Н., Сухарев А.В.* Водопропускная труба под дорожной насыпью // Патент России № 111544. 2011.
9. *Валуйских В.П., Захаров Ф.Н., Лопатин В.А., Васильев А.Н.* Водопропускная труба под дорожной насыпью // Патент России № 111859. 2011.

05.14.04

Д. Б. Вафин д.т.н., А. В. Садыков к.т.н, Д. А. Садыкова

Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ»
Россия, г. Нижнекамск
sadykov@land.ru

ТРЕХМЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ АЭРОДИНАМИКИ И ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ

Проведены численные исследования пространственного распределения температуры, осредненных значений скоростей турбулентного течения продуктов сгорания газообразного топлива в топочных камерах трубчатых печей цилиндрического типа нефтехимической промышленности. Сложный теплообмен в камере радиации моделируется трехмерными дифференциальными уравнениями сохранения энергии, компонентов количества движения, неразрывности, $k-\varepsilon$ модели турбулентности, одноступенчатой модели горения, интегро-дифференциальным уравнением переноса энергии излучения. Изучено влияние трехмерного изменения параметров потока на распределение плотностей тепловых потоков по трубчатому экрану, и др. параметров.

Ключевые слова: теплообмен, излучение, турбулентность, трубчатые печи.

Тепловые расчеты топок трубчатых печей цилиндрического типа в основном проводятся по интегральным методам или в двумерном приближении. Из-за дискретного расположения горелок и труб течение в топочных камерах имеет пространственный характер. Поэтому представляет интерес изучение эффектов трехмерного изменения различных параметров потока в топочных камерах трубчатых печей на тепловые режимы реакционных труб. Упрощенная схема камеры радиации трубчатой печи цилиндрического типа и система координат представлены на рис.1. Трубчатый экран печи заменяется сплошной непрозрачной для излучения цилиндрической поверхностью с эффективной степенью черноты $\varepsilon_{эф}$, проходящей по осям труб.

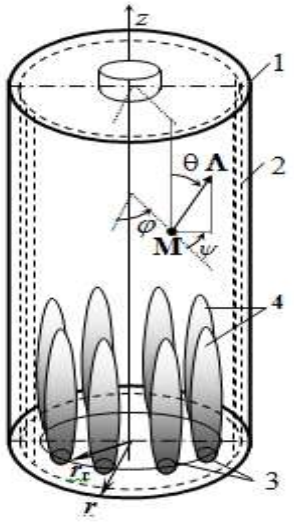


Рис. 1–упрощенная схема топочной камеры и система координат: 1-футеровка, 2-трубча-тый экран, 3-горелки, 4-факел.

Для нахождения поля температур в объеме топочной камеры решается уравнение сохранения энергии

$$\mathrm{div}(\rho c_p T\mathbf{v}) = \mathrm{div}(\lambda_{эф}\ \mathbf{grad}\ T) + S_\mathrm{T},\quad S_\mathrm{T} = Q - \mathrm{div}\ \mathbf{q}_\mathrm{P},\qquad (1)$$

где $\lambda_{эф} = \lambda + \lambda_T$, λ, λ_T – коэффициенты эффективной, молекулярной и турбулентной теплопроводности соответственно; c_P – удельная теплоемкость; $\mathbf{v}$ – вектор скорости течения; ρ – плотность; T – температура дымовых газов в точке $\mathbf{M}$; Q – объемная плотность тепловыделения в результате сгорания топлива; $\mathbf{q}_P$ – вектор плотности интегрального по спектру лучистого потока тепла.

Для нахождения дивергенции лучистых потоков решается уравнение переноса энергии излучения

$$\mathbf{\Lambda}\nabla I_\lambda(\mathbf{M},\mathbf{\Lambda}) + k_\lambda(\mathbf{M})\, I_\lambda(\mathbf{M},\mathbf{\Lambda}) = \alpha_\lambda(\mathbf{M}) I_{b\lambda}(T) + \frac{\beta_\lambda(\mathbf{M})}{4\pi}\int\limits_{4\pi} I_\lambda(\mathbf{M},\mathbf{\Lambda})\gamma_\lambda(\mathbf{\Lambda},\mathbf{\Lambda}')\mathbf{\Lambda}'d\Omega,\qquad (2)$$

где $I_\lambda(\mathbf{M},\mathbf{\Lambda})$ – спектральная интенсивность излучения в точке $\mathbf{M}$ в направлении $\mathbf{\Lambda}$; $I_{b\lambda}(T)$ – спектральная интенсивность излучения черного тела при температуре T; $k_\lambda(\mathbf{M}) = \alpha_\lambda + \beta_\lambda$ – спектральный коэффициент ослабления; $\alpha_\lambda(\mathbf{M})$, $\beta_\lambda(\mathbf{M})$ – спектральные коэффициенты поглощения и рассеяния; $\gamma_\lambda(\mathbf{\Lambda},\mathbf{\Lambda}')$ – индикатриса рассеяния.

На границе области учитывается излучение и отражение стенки

$$I_\lambda(\mathbf{M},\mathbf{\Lambda}) = \varepsilon_\lambda(\mathbf{M},\mathbf{\Lambda}) I_{b\lambda}(T_w) + \frac{1}{\pi}\int\limits_{\mathbf{\Lambda}'\mathbf{n}>0} I_\lambda(\mathbf{M},\mathbf{\Lambda}') r_w(\mathbf{M},\mathbf{\Lambda}')\, p_\lambda(\mathbf{M},\mathbf{\Lambda}',\mathbf{\Lambda})\mathbf{n}\mathbf{\Lambda}'d\Omega\qquad (3)$$

при $\mathbf{\Lambda}\mathbf{n} < 0$. Здесь $\varepsilon_\lambda(\mathbf{M},\mathbf{\Lambda})$, $r_w(\mathbf{M},\mathbf{\Lambda}')$ – спектральные степень черноты и отражательная способность стенки в граничной точке $\mathbf{M}$; $p_\lambda(\mathbf{M},\mathbf{\Lambda},\mathbf{\Lambda}')$ – индикатриса отражения стенки.

Поле скоростей находится путем решения трехмерных уравнений движения и неразрывности. Состояние дымовых газов рассматривается в приближении идеального газа. Для замыкания уравнений движения используется k–ε модель турбулентности. Горение рассматривается в рамках модели простой химической реакции. Скорость химической реакции определяется моделью вихревой диссипации.

Уравнения сохранения можно записать в единой обобщенной форме

$$\mathrm{div}(\rho\, \Phi\, \mathbf{v}) = \mathrm{div}(\Gamma_\Phi\, \mathbf{grad}\ \Phi) + S_\Phi\,.\qquad (4)$$

Здесь Φ – обобщенная неизвестная, вместо которой могут стоять осредненные по времени компоненты вектора скорости $\mathbf{v}$, кинетическая энергия турбулентности k и др. Различие уравнений обусловлено источниковыми членами S_Φ, коэффициентами диффузии Γ_Φ.

Для получения дискретных аналогов уравнений использован метод контрольного объема в сочетании с методом конечных разностей [1, 2].

Уравнения дополняются граничными условиями. Для уравнения энергии, уравнений движения, уравнений модели турбулентности, уравнений модели горения на входном участке в топку ставится граничное условие 1 рода. На оси симметрии или плоскости симметрии задается условие симметрии. Для уравнений движения на твердой границе ставятся условия «прилипания» и «непроницаемости». На жесткой стенке для уравнений модели горения задается условие отсутствия потока. Для уравнения энергии на поверхности нагрева ставится граничное условие 3-рода. Считается, что температура нагреваемого продукта внутри труб меняется по линейной зависимости. На торцах задается граничное условие с учетом отвода тепла через стенку при известной температуре окружающей среды. С внутренней стороны стены футерованы каолиновой ватой. На выходе из топки для большинства параметров задается условие нулевого градиента. На твердой границе диффузионный поток кинетической энергии турбулентности полагается равным нулю.

Перенос излучения рассматривается в рамках S_2–приближения метода дискретных ординат (МДО). Интегральный по спектру коэффициент поглощения газообразных продуктов сгорания вычисляется по модели взвешенной суммы серых газов [3].

Алгоритм расчета турбулентного течения дымовых газов основан на процедуре SIMPLE и подробно описан в [1, 2, 4]. Для описания турбулентного течения и теплообмена вблизи твердой границы используется метод пристеночных функций [4]. Решение задачи также как в [1] проводится по итерационной схеме.

Расчеты проведены для трубчатой печи типа ВА-301, которая используется на нефтеперерабатывающих заводах для нагрева сырья. Печь – вертикальнофакельного сжигания газового топлива, с вертикальным расположением труб змеевика в одной камере радиации (рис.1). По периметру камеры радиации на расстоянии 2.074м от оси установлен однорядный трубчатый экран, который состоит из 4 змеевиков. Каждый из этих змеевиков располагается в четвертой части камеры радиации. Нагреваемый продукт подается четырьмя потоками в эти змеевики. В поду печи симметрично расположены 8 горелок диффузионного горения. Симметричное расположение горелок и наличие осевой симметрии позволяют разбить объем топки на 4 одинаковые части, в каждой из которых расположены 2 горелки и один змеевик. Поэтому достаточно провести расчет для одной такой части.

Эффективная степень черноты поверхности нагрева, определенная по методике, описанной в [2], равна $\varepsilon_{эф}$= 0.65. В качестве газообразного топлива используется природный газ, а в качестве окислителя – воздух.

Для исследования трехмерных эффектов проведены 4 варианта расчетов, результаты которых приведены ниже. В первом варианте количество горелок совпадает с проектным значением (8 горелок), во втором варианте – 12 горелок. В третьем варианте используется одна горелка в центре, площадь сечения амбразуры которой равна суммарной площади выходных сечений амбразур 8 проектных горелок. В четвертом варианте горелок 8, но они расположены ближе к поверхности нагрева на 0.3м по сравнению с первым вариантом. При этом массовый расход горючей смеси на печь остается одинаковым (4.797 кг/с).

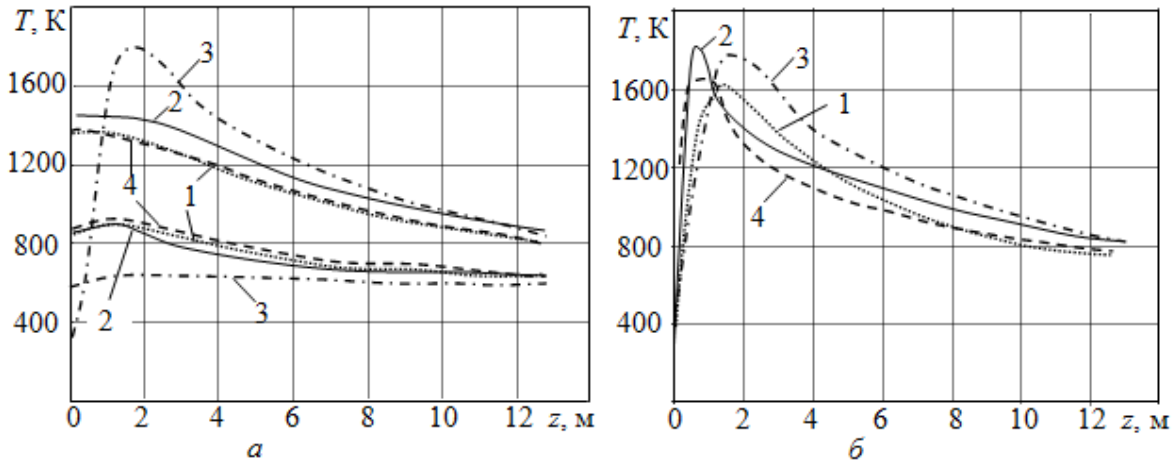


Рис. 2- Распределения температуры газов по высоте топки: *а*) температура продуктов сгорания на оси симметрии (верхние кривые) и у труб (нижние кривые); б) температура газов вдоль вертикали, проходящей через ось горелки. Обозначения: 1 – 8 горелок; 2– 12 горелок; 3 – одна горелка в центре; 4 – 8 горелок, смещенных к поверхности нагрева на 0.3м.

На рис. 2 приведены распределения температуры продуктов сгорания на оси симметрии цилиндрической топки и у труб (рис. 2*а*), а также температуры вдоль оси одной из горелок (рис. 2*б*) по высоте топки для четырех вариантов. На оси симметрии топки для 3-го варианта наблюдается ярко выраженный пик в распределении температуры (рис. 2*а*). Начиная с высоты z =1.2м, температура на оси для этого варианта существенно выше. Но ближе к выходу кривые практически выравниваются. Максимальная температура на оси горелки наблюдается для 2-го варианта (рис. 2*б*) на расстоянии 0.7м от пода печи. При этом

для 3-го варианта ось горелки совпадает с осью симметрии топки. При смещении горелок к поверхности нагрева температура труб повышается на начальном участке. С удалением от горелок (z > 8м) кривые 1 и 4 практически совпадают. В третьем варианте (один факел в центре) температура поверхности нагрева получается более равномерной.

На рис. 3*а* показаны распределения поверхностных плотностей лучистых тепловых потоков к поверхности нагрева по высоте топки. Для вариантов 1, 2, 4 эти распределения соответствуют вертикальной плоскости, проходящей через ось симметрии под углом $\varphi = 45^{\circ}$ (см. рис. 1). В 4-м варианте имеется острый пик примерно на высоте z = 0.7м. При расположении горелок ближе к поверхности нагрева (кривая 4) максимумы плотностей лучистых тепловых потоков смещаются ближе к поду и являются более выраженными. На расстояниях z < 4м наблюдается сильное различие в распределениях плотностей тепловых потоков. При расположении одной горелки в центре печи распределения температур и плотностей лучистых тепловых потоков по длине труб получаются более равномерными.

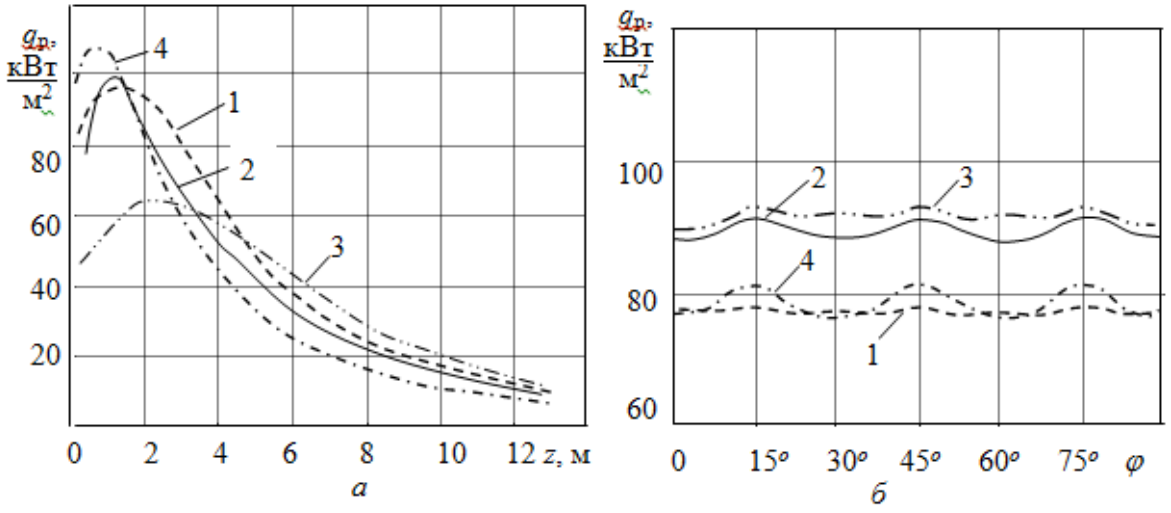


Рис. 3. Распределения поверхностных плотностей лучистых тепловых потоков $q_р$ к трубчатому экрану: *а*) по высоте топки, обозначения как на рис 2; *б*) по периметру топки в случае 12 горелок на разных высотах z: 1 – z = 0.136м; 2 – z = 0.53м; 3– z = 1.56м; 4 – z = 2.13м.

Проанализированы распределения поверхностных плотностей лучистых тепловых потоков к поверхности нагрева q_p и температур по периметру трубчатого экрана на разных высотах z. В их распределениях наблюдается периодический характер с локальными экстремумами, связанный с дискретным расположением горелок. В первом варианте (8 горелок) локальные максимумы расположены посередине между горелками. Колебания температур на одинаковой высоте составляют 10–15°С, а колебания плотностей q_p – 7–10 кВт/м^2. При $z \geq 5$ м профили температур по периметру топки выравниваются. Максимальное значение q_p (88930 Вт/м^2) наблюдается при z = 1.5–2м и находится посередине между горелками.

При смещении горелок ближе к поверхности нагрева (на 0.3м) локальные максимумы в распределениях q_p, T по периметру расположены напротив горелок. В области z < 2.1м наблюдается ярко выраженный периодический характер в распределениях. При z > 1.65м амплитуды колебаний уменьшаются, а при z > 5.82м профили q_p , T выравниваются. Максимальные значения q_p наблюдаются примерно при z ≈ 0.83м.

Во втором варианте (12 горелок) в распределениях q_p (рис. 3б), T также наблюдается периодический характер. На малых высотах максимумы (рис. 3*б*) расположены напротив горелок и посередине между ними. При высотах z > 0.52м максимумы q_p располагаются напротив горелок. На высоте z = 1.56м имеются малые и большие пики в распределениях q_p. При этом большие пики находятся напротив горелок, малые–посередине между горелками. Максимальные значения q_p (102 кВт/м^2) наблюдаются примерно при z=1–1.5м. Наибольшие колебания q_p составляют 5940 Вт/м^2 при z = 2.13м. По мере удаления от пода амплитуда колебаний уменьшается. При z > 8м распределение q_p по периметру почти выравнивается, с малыми локальными максимумами напротив горелок и посередине между ними. В распределениях температур по периметру наблюдается аналогичная картина.

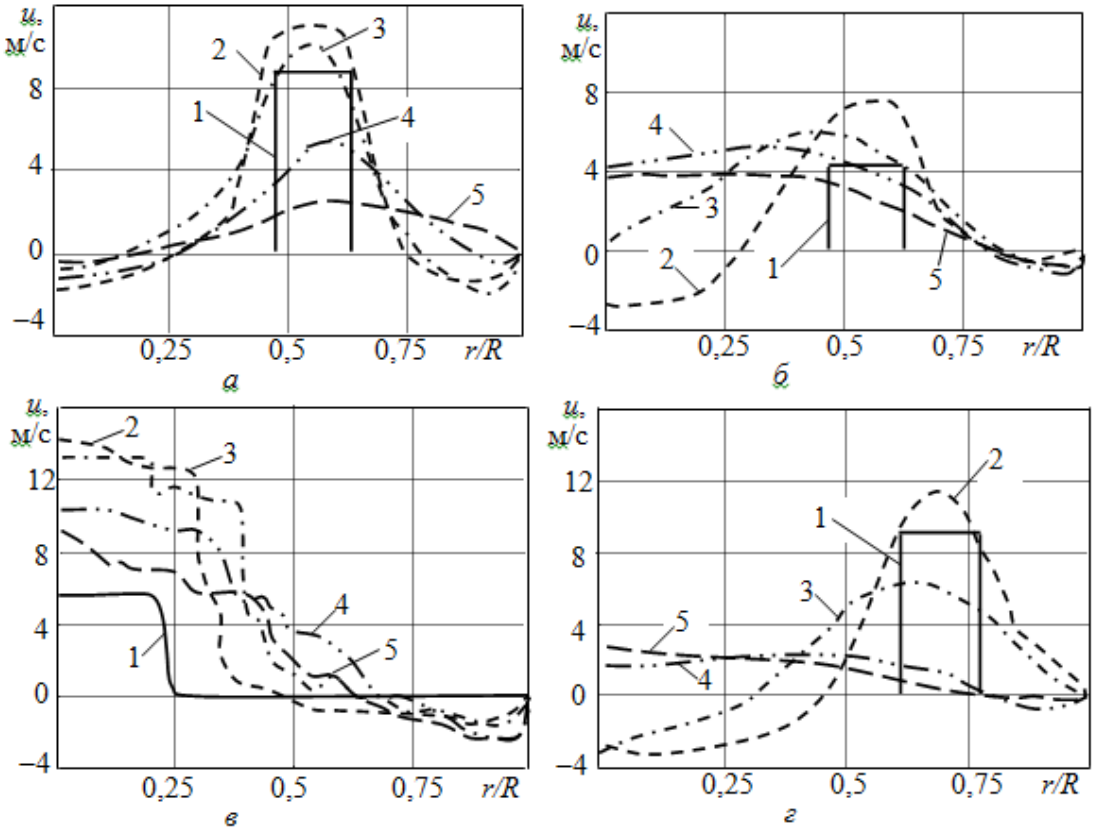


Рис. 4. Профили продольной скорости продуктов сгорания на разных высотах z: 1 – z = 0; 2 – z = 0.5м; 3 – z = 1.5м; 4 – z = 3м; 5 – z = 4.5м. *а* - 8 горелок; *б* - 12 горелок; *в* - одна горелка в центре; *г* - 8 горелок, смещенных к поверхности нагрева.

На рис.4 приведены профили продольной скорости поперек печи для плоскости, проходящей через ось симметрии и ось горелки. В 3-м варианте зона обратных токов возникает только около поверхности нагрева. В 1-м и 2-м вариантах зоны обратных токов возникают как в центре, так и возле поверхности нагрева. При расположении 8 горелок ближе к трубам зона обратных токов около поверхности нагрева получается достаточно короткой, а в центре она более широкая по сравнению с первыми двумя вариантами. Увеличение количества горелок приводит к более коротким зонам обратных токов. При большем количестве горелок характер течения быстрее становится двухмерным.

При двухмерном моделировании невозможно определить неравномерность обогрева труб по периметру топки. В то же время распределения q_p по высоте топки в трехмерном и двухмерном случаях получаются почти одинаковыми. Отличия q_p наблюдаются вблизи устьев горелок и вблизи торцов. При z>4м графики почти совпадают. Трехмерные расчеты

теплообмена можно использовать для выбора оптимальных решений при проектировании и реконструкции цилиндрических трубчатых печей. Необходимые распределения тепловых потоков к поверхности нагрева по условиям протекания процессов, допустимую температуру труб можно обеспечить путем выбора горелок соответствующей мощности, конструкции, а также путем их оптимального расположения.

Список литература:

1. *Вафин Д. Б., Садыков А.В.* Трехмерная математическая модель внешнего теплообмена в топках трубчатых печей // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2010.– №2. – С.18–23.

2. *Вафин Д.Б.* Сложный теплообмен: радиационный теплообмен в энергетических установках / Данил Вафин. – Saarbrűcken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing , 2011. – 251 с.

3. *Smith T. F.* Evaluation of Coefficients for the Weighted Sum of Gray Gases Model / T. F Smith, Z. F Shen, J. N. Friedman // J. Heat Transfer. – 1982. – №104. – P. 602– 608.

4. *Белов И.А., Кудрявцев Н.А.* Теплоотдача и сопротивление пакетов труб. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 223 с.

05.17.06

Н. Н. Волкова, В. А. Куничан к.т.н., А. И. Легаев к.т.н., Д. В. Чащилов к.т.н.

Бийский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
(БТИ АлтГТУ)
факультет химической технологии и машиностроения
кафедра машины и аппараты химических и пищевых производств
Россия, г. Бийск
mahipp@bti.secna.ru

ДЕСТРУКЦИЯ ХЛОПКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ПРОЦЕССЕ ГИПОХЛОРИТНОЙ ОТБЕЛКИ

В работе представлено описание процесса деструкции целлюлозы в процессе отбелки. Изложен механизм деструкции, связанный с разрушением «легкодоступных» и «труднодоступных» для деструктирующего агента связей в макромолекуле целлюлозы. Экспериментально определены константы скоростей деструкции при гипохлоритной отбелке хлопковой целлюлозы.

Ключевые слова: хлопковая целлюлоза, гипохлоритная отбелка, деструкция, математическая модель.

Хлопковая целлюлоза (ХЦ) является одним из важнейших видов химического сырья. Она находит широкое применение для производства различных эфиров, таких как нитраты целлюлозы, натрий-карбоксиметилцеллюлоза микрокристаллическая целлюлоза и т.д. Одним из показателей качества таких эфиров целлюлозы является вязкость их растворов, определяемая средней степенью полимеризации [4].

При выработке ХЦ для химической переработки на отечественных заводах исходное целлюлозное сырьё подвергается щелочной варке и гипохлоритной отбелке. При этом степень полимеризации (СП) исходной целлюлозы, как природного полимера, на всех стадиях обработки, понижается [5].

Требуемая степень полимеризации целлюлозы достигается в промышленных условиях варьированием режимов обработки, в основном на стадиях варки и отбелки [2]. Необходимость целенаправленного получения заданных марок целлюлозы требует сведений о кинетике процессов деструкции на всех стадиях технологического процесса. Для стадии щелочной варки хлопковой целлюлозы было разработано математическое описание на основе представления о связях различной доступности, обусловленных надмолекулярной структурой природной целлюлозы [1].

Целью настоящей работы является описание процесса деструкции хлопковой целлюлозы на стадии гипохлоритной отбелки. Задачами исследования являются выбор формы математического описания, с учётом предполагаемого кинетического механизма деструкции макромолекул целлюлозы, определения коэффициентов скорости реакции, проверка адекватности полученной математического описания.

Деструктирующими влияющими факторами, как правило, выступает температура белящего раствора и концентрация реагентов, длительность обработки.

При обработке целлюлозы в гетерогенных условиях надмолекулярная структура обуславливает разную степень доступности, как самих макромолекул целлюлозы, так и отдельных их участков, для молекул гидролизующего агента. Из-за возможных дефектов в строении макромолекулы [5] ближайшие к дефектам гликозидные связи химически

неравноценны прочим связям и имеют неодинаковую с ними прочность. Таким образом, в макромолекуле целлюлозы можно условно выделить «легкодоступные» и «труднодоступные». Этот фактор проявляется в том, что деструкция протекает ступенчато – сравнительно быстро в начальные промежутки времени действия деструктирующего фактора, и существенно медленнее – в последующие, что подтверждается наблюдениями [2].

Двухстадийный кинетический механизм используется при описании процесса деструкции в процессах варки целлюлозы [1], получения и обработки производных целлюлозы [3, 6]. Справедливо будет предполагать, что количество «легкодоступных» связей в макромолекулах целлюлозы не является заранее предопределённой, конечной и неизменной величиной, зависящей от числа химически ослабленных связей в исходных макромолекулах целлюлозы. При различных видах обработки, как целлюлозного сырья, так и целлюлозы как полуфабриката для последующей обработки, очевидно, происходит ослабление связей, являющихся «легкодоступными» для деструктирующих агентов при последующей обработке. Это может выражено через степень полимеризации, достигаемую при соответствующей обработке. При этом каждый вид обработки определяет некоторое общее число таких «легкодоступных» связей в макромолекулах целлюлозы, определяющих скорость «быстрой» стадии деструкции.

Исходя из вышесказанного, процесс деструкции хлопковой целлюлозы на стадии отбелки описан уравнениями (1-3), показывающие изменение количества разрывов связей соответствующего типа от параметров процесса

$$z_{л} = \frac{1}{P_{в}} + \left(\frac{1}{P_{в} b_{л}} - \frac{1}{P_{в}} \right) \left(1 - \exp\left(- K_{л} c \tau\right)\right), \quad (1)$$

$$z_{ò} = \frac{1}{P_{â}} + \left(\frac{1}{P_{â} b_{ò}} - \frac{1}{P_{â}} \right) \left(1 - \exp\left(-K_{ò} \tilde{n} \tau\right)\right), \quad (2)$$

$$P = \frac{1}{z_{л} + z_{m}}, \quad (3)$$

где $z_{л}, z_{m}$ – число разрушенных, соответственно, «легкодоступных» и «труднодоступных» связей;

P - степень полимеризации;

$P_{в}$ – начальная степень полимеризации (после варки целлюлозы);

$b_{л}, b_{m}$ – коэффициенты, учитывающие соотношение разрушаемых связей, соответственно, «легкодоступных» и «труднодоступных» связей;

$K_{л}, K_{m}$ – константы скорости реакции деструкции, соответственно, для «легкодоступных» и «труднодоступных» связей, м^3/(кг·с);

τ – продолжительность процесса, с;

c – концентрация активного хлора в белящем растворе, кг/м^3;

$$K_{л} = A_{л} \exp\left(- \frac{E_{л}}{RT} \right), \; K_{m} = A_{m} \exp\left(- \frac{E_{m}}{RT} \right),$$

где $A_{л}, A_{m}$ – предэкспоненциальный множитель уравнения Аррениуса для «легкодоступных» и «труднодоступных» связей, соответственно, м^3/(кг·с);

$E_{л}, E_{m}$ – энергия активации скорости деструкции для «легкодоступных» и «труднодоступных» связей, соответственно, Дж/моль;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

T – температура белящего раствора, К.

Для проверки разработанного математического описания были проведены эксперименты по изучению кинетики деструкции целлюлозы в лабораторных условиях.

В ходе изучения кинетики деструкции целлюлозы в процессе отбелки в условиях заданной температуры было исследовано влияние концентрации гипохлорита на степень деструкции готового продукта. На рисунке а) и б) линиями изображены расчетные зависимости СП целлюлозы, а точками показаны экспериментальные значения.

Рис.1

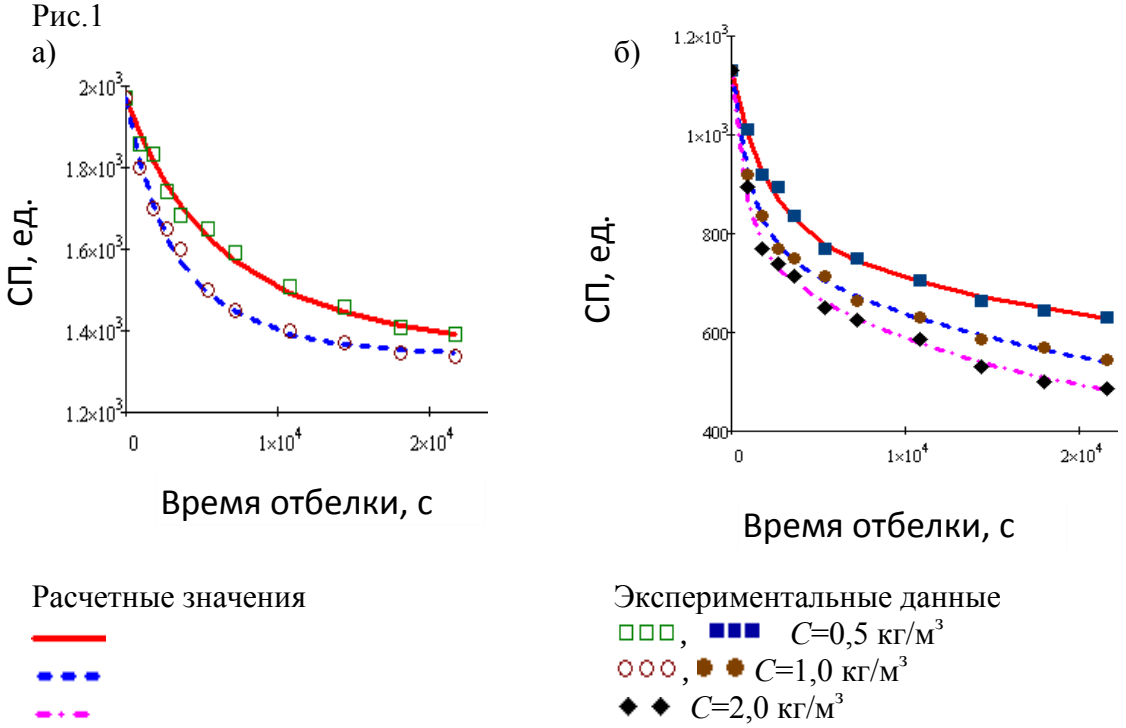


Рис. 1 – Кинетика деструкции целлюлозы в процессе отбелки при температуре 293 К с начальной степенью полимеризации: а) 1970 единиц; б) 1390 единиц.

Таким образом, в результате исследования было разработано математическое описание, которое позволяет хорошо описывать лабораторные эксперименты по деструкцию хлопковой целлюлозы в процессе отбелки и прогнозировать ожидаемый конечный результат с достаточной точностью.

Выводы

Процесс деструкции целлюлозы при гипохлоритной отбелке хлопковой целлюлозы протекает в две стадии – разрушение «легкодоступных» и «труднодоступных» для деструктирующего агента связей в макромолекуле целлюлозы, и может быть описан как реакция гидролиза первого порядка. Конечная степень полимеризации целлюлозы определяется, в основном, концентрацией и температурой отбельного раствора, длительностью отбелки, начальной степенью полимеризации. Предложенная модель процесса деструкции целлюлозы при отбелке может быть использована для оценки степени полимеризации хлопковой целлюлозы при её производстве.

Список литературы:

1. *Волкова, Н.Н.* Моделирование деструкции хлопковой целлюлозы в процессе щелочной варки /Н.Н.Волкова, М.В. Обрезкова, А.И. Легаев, Г.И. Севодина, В.А. Куничан // Современные проблемы технической химии: матер. докл. Всерос. научн-техн. и метод. конф. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2009. – С.140-143.

2. *Забелин, Л.В.* Хлопковая целлюлоза // Л.В. Забелин, А.П. Закощиков, В.К. Постников. – М: ЦНИИНТИ, 1976. – 279с.

3. *Обрезкова, М.В.* Деструкция карбоксиметилцеллюлозы в процессе синтеза твёрдофазным способом / М.В. Обрезкова, Н.Н.Волкова, А.И. Легаев, Г.И. Севодина, В.А. Куничан // Деп. в ВИНИТИ 25.03.2009 №157 – В2009. – 2009. – 7с.

4. *Ровкина, Н.М.* Полимеры на основе целлюлозы и её производных //Н.М. Ровкина, А.А. Ляпков. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 128с.

5. *Роговин, З.А.* Химия целлюлозы. – М: Химия, 1972. – 520с.

6. *Чащилов, Д.В.* Математическая модель гидротермической деструкции нитратов целлюлозы / Д.В. Чащилов, В.А. Куничан // Межвузовский сборник научных статей «Общие проблемы естественных и точных наук: региональный аспект». - Бийск: НИЦ БиГПИ, 1998, - С. 65-71.

05.13.18

Е. В. Десяев, Т. Ф. Мамедова к.ф.-м.н.

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева
математический факультет, кафедры прикладной математики
Россия, г. Саранск
desyaev@rambler.ru, mamedova@math.mrsu.ru

О ПОСТРОЕНИИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматривается задача об управляемости за бесконечное время в некотором классе допустимых управлений для нелинейных динамических систем. Получены достаточные условия существования управлений.

Ключевые слова: система обыкновенных дифференциальных уравнений, управляемость за бесконечное время, асимптотическая эквивалентность по Брауеру.

Проблемы управляемости динамических систем являются важнейшими в теории автоматического управления. Математические основы их решения были созданы Р. Калманом, Н.Н. Красовским, В.И. Зубовым, Е.В. Воскресенским и другими.

Как известно, существует большое число различных видов управляемости за конечное время. В работах В.И Зубова, Е.В. Воскресенского и других рассматривается понятие управляемости за бесконечное время.

При управляемости за конечное время произвольная фиксированная точка переводится в другую произвольную точку за определенное время **T**, в случае управляемости за бесконечное время фиксированная точка переводится в сколь угодно малую окрестность другой точки, причем в дальнейшем из этой окрестности переводимая точка не выходит.

В данной работе продолжены исследования Е.В. Воскресенского об управляемости за бесконечное время и на основе метода сравнения получены новые достаточные условия об управляемости для нелинейных динамических систем.

Рассмотрим линейную управляемую систему

$$\frac{dy}{dt} = Ay + Bu, \qquad (1)$$

где A- постоянная $(n \times n)$ матрица, B-постоянная $(n \times m)$ матрица, $y \in R^n$, $u \in K_0 \subset C([t_0,+\infty) \times R^n, R^m)$.

С помощью управлений u, входящих в класс допустимых управлений K_0 для линейной системы дифференциальных уравнений (1), Воскресенским Е.В.[1], Зубовым В.И.[3] решена задача о переводе точки (t_0, y_0) в точку $(+\infty, y^*)$ за бесконечное время. Это означает, что существует $u \in K_0$:

$$\lim_{t \to +\infty} y(t : t_0, y_0, u) = y^*,$$

где для любого $\varepsilon > 0$ существует $T = T(\varepsilon, u) > 0$ такое, что $\left\| y(t : t_0, y_0, u) - y^* \right\| \le \varepsilon$ как только $t \ge T$.

Рассмотрим нелинейную систему дифференциальных уравнений

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu + f(t, x, u), \qquad (2)$$

где A- постоянная $(n\times n)$ матрица, B-постоянная $(n\times m)$ матрица, $u\in K_1\subset C([t_0,+\infty)\times R^n,R^m)$, $f\in C([t_0,+\infty)\times R^n\times R^m,R^n)$.

Сформулируем условия, при которых для уравнения (2) можно построить класс K_1 допустимых управлений, с помощью которых может быть решена задача о переводе точки (t_0,x_0) в точку $(+\infty,y^*)$ за бесконечное время по интегральным кривым уравнения (2).

Допустим, данная задача решена для уравнения (1). Класс K_0 допустимых управлений построен и имеет вид $K_0=\{u=Cy+v(t,y)\}$ $C-$ постоянная $(m\times n)-$ матрица, где матрица C удовлетворяет условию, что линейная система

$$\frac{dz}{dt}=(A+BC)z, \qquad (3)$$

где $z\in R^n$, устойчива.

Существование такой матрицы C обеспечивается выполнением условий следующей классической теоремы.

Теорема 1 [3]. Пусть векторы $B, AB, A^2B, \ldots, A^{n-1}B$, линейно независимы. В этом случае всегда можно построить управление вида $u=Cy$, доставляющие системе (3) любые наперед заданные собственные числа.

Введем дополнительные ограничения на функцию $v(t,x)$

$$\|v(t,x_1)-v(t,x_2)\|\le\psi_3(t)\|x_1-x_2\|,\ t\ge t_0,\ \forall\ x_1,x_2\in R^n. \qquad (4)$$

Пусть функция f удовлетворяет условию

$$\|f(t,x_1,u_1)-f(t,x_2,u_2)\|\le\psi_1(t)\|x_1-x_2\|+\psi_2(t)\|u_1-u_2\|, \qquad t\ge t_0, \qquad (5)$$

$\forall\ x_1,x_2\in R^n, u_1,u_2\in K_0$.

В этом случае, при соответствующих ограничениях на функции $\psi_1(t),\psi_2(t),\psi_3(t)$, будут справедлива следующая теорема.

Теорема 2. Системы (2) и (3) при управлении $u=Cx+v(t,x)$ асимптотически эквивалентную по Брауеру [1], если выполняются следующие условия:

1. система (3) устойчива;

2. $\|f(t,x,u)\|\le\lambda(t,\|x\|)$, $\lambda\in C([T,+\infty)\times[0,+\infty),[0,+\infty))$, $\lambda(t,\alpha_1)\le\lambda(t,\alpha_2)$ при любом $t\in[T,+\infty)$ и $\alpha_1\le\alpha_2$;

3. $\int\limits_T^{+\infty}\lambda(t,\alpha)dt<+\infty$ для любого $\alpha\in R^1_+$, $\int\limits_a^{+\infty}\frac{d\alpha}{\mathrm{I}(\alpha)}=+\infty$;

4. функция $q(t,\alpha)=\int\limits_T^t\frac{\lambda(t_1,\alpha)}{\mathrm{I}(\alpha)}dt_1$, имеет непрерывную и неотрицательную частную производную $q'_\alpha(t,\alpha)$

В данной теореме асимптотическая эквивалентность по Брауеру означает существование отображений $P_i:R^n\to R^n$, $i=1,2$ таких, что

$x(t:t_0,x_0)=y(t:t_0,P_1x_0)+o(1)$ при $t\to+\infty$

и наоборот

$y(t:t_0,y_0)=x(t:t_0,P_2y_0)+o(1)$ при $t\to+\infty$

для всех $x_0,y_0\in R^n$.

Заметим, что для систем (1) и (3) также будут справедливы условия теоремы 2 в этом случае $f(t,x,u)=Bv(t)$. Т.е. системы (1) и (3) асимптотически эквивалентны по Брауеру.

При выполнении условий теоремы 2 и при любых $u \in K_1$, $x_0 \in R^n$ выполняется равенство

$x(+\infty : t_0, x_0, u) = y(+\infty : t_0, P_{T,u} x_0, u)$,

где

$$P_{T,u} x_0 = x_0 + \int_{t_0}^{+\infty} Y^{-1}(s) f(s, x(s), u(s, x(s)) ds,$$

где $Y(t)$ - фундаментальная матрица уравнения (3) нормированная в точке $t = 0$.

Теорема 4. Пусть выполняется условие (5) для любых

$x_1, x_2 \in R^n$, $v_1, v_2 \in R^m$, $t \geq 0$, $\psi_i \in C([t_0, +\infty), [t_0, +\infty))$, $i = 1,2$ и $\int_{t_0}^{+\infty} \varphi_1(s) ds < +\infty$, $\int_{t_0}^{+\infty} \varphi_2(s) ds < +\infty$,

где $\varphi_1(t) = \|Y^{-1}(t)\| \|Y(t)\| (\psi_1(t) + \psi_2(t) \|C\|)$, $\varphi_2(t) = \|Y^{-1}(t)\| (\psi_3(t) \|B\| + \psi_2(t))$. Тогда для решений $x_1(t) = x(t : t_0, x_1, u_1)$, $x_2(t) = x(t : t_0, x_2, u_2)$ справедливо неравенство

$\|x_1(t) - x_2(t)\| \leq R_0 \|Y(t)\| \|y_1 - y_2\|$, при все $t \geq 0$,

где $R_0 = \int_0^{+\infty} \varphi_2(s) ds \cdot \exp(\int_{t_0}^{+\infty} \varphi_1(s) ds)$.

Теорема 5. Если выполняются условия:

1. уравнения (1) и (2) асимптотически эквивалентны по Брауеру при любом $u \in K_1$;
2. выполняются условия теоремы 4;
3. для несобственного интеграла справедлива оценка

$$q = \int_{t_0}^{+\infty} \|Y^{-1}(s)\| (R_0 (\psi_1(s) + \psi_2(s) \|C\|) \|Y(s)\| + \psi_2(s) \psi_3(s)) ds < 1,$$

то для любого $x_0 \in R^n$ существует управление $u \in K_1$, переводящее точку x_0 в точку y^* за бесконечное время.

Таким образом при выполнении выше перечисленных условий можно построить новый класс допустимых управлений для нелинейной динамической системы за бесконечное время.

Список литературы:

1. Воскресенский Е.В. Асимптотические методы: Теория и приложения.-Саранск: Средневолжское математическое общество, 2001. – 300 с.

2. *Воскресенский Е.В.* Методы сравнения в нелинейном анализе.- Саранск: Изд. Саратовского ун-та, 1990. – 224с.

3. *Зубов В.И.* Лекции по теории управления. М.: Наука, 1975. – 495 с.

05.02.07

А. М. Долганов к.т.н., Т. Н. Иванова к.т.н., А. А. Паклина, Э. И. Рахмангулова

Чайковский филиал
Пермского национального исследовательского политехнического университета
кафедра автоматизации, информационных и инженерных технологий
Россия, г. Чайковский
rsg07-8829@udm.net

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБЛАСТИ КЛИНА ПРИ ШЛИФОВАНИИ ПЛАСТИН ПО КРОМКЕ

Интенсивное тепловыделение при шлифовании является причиной серьезных структурных изменений и деформирования поверхностных слоев, снижающих качество поверхностного слоя пластины. Поэтому исследование особенностей распределения температуры при шлифовании в клиновидных телах является важной самостоятельной теплофизической задачей. Цель исследований: полученные зависимости распределения температуры от угла раствора клина и на поверхности клина позволят управлять температурным полем при шлифовании пластин по кромке.

Ключевые слова: шлифование, пластина, кромка, клин, тепловые процессы.

Особенностью шлифования пластин по кромке (заточка) является то, что температурное поле обрабатываемой поверхности, представляющее собой в сечении клин, по одной из граней которого движется источник тепла. Поэтому область близкая к ребру, может существенно отличаться от температурного поля самой пластины. Шлифование характеризуется большим теплоотводом во внутрь детали в силу малых сечений снимаемого слоя и небольшого отвода тепла в абразивный круг [1]. А так как интенсивное тепловыделение является причиной серьезных структурных изменений и деформирования поверхностных слоев, снижающих качество поверхностного слоя пластины, поэтому исследование особенностей распределения температуры в клиновидных телах является важной самостоятельной теплофизической задачей. Исследование распределения температуры при шлифовании в клиновидных телах даст возможность получить зависимость распределения температуры от угла раствора клина и на поверхности клина, позволит управлять температурным полем при заточке пластин по кромке.

Наиболее распространенной схемой обработки пластин является обработка – заточка по краю, когда шлифовальный круг, перемещается параллельно ребру создаваемого клина. В этом случае задача по расчету температурного поля решается при следующих условиях:

−по поверхности клина с углом при вершине $\alpha = \pi / m$ (где m – целое вещественное число) в направлении оси Z движется полосовой источник шириной $2h$;

−грани клина не пропускают тепло;

−плотность теплового потока q принята равномерно распределенной по всей поверхности источника.

Фундаментальное решение поставленной задачи, т.е. выражение температурного поля в клине, может быть следующим [2]:

$$T = \int_{-h}^{h} \frac{q}{2\pi\lambda} \exp\left[-\frac{\vartheta(z-z')}{2a}\right] K_0\left\{\frac{\vartheta^2}{4a^2}\left[r^2 \sin^2(\theta - 2\alpha n) + (z-z')^2\right]\right\}^{1/2} \times$$

$$\times\left(1+\sum_{n=0}^{\frac{\pi}{\alpha}-1}\frac{\int_0^{\frac{\vartheta}{2\alpha}r\cos(\theta-2\alpha n)}\frac{\exp\left(-\left\{\frac{\vartheta^2}{4a^2}\left[r^2\sin^2(\theta-2\alpha n)+(z-z')^2\right]+\eta^2\right\}^{1/2}\right)}{\left\{\frac{\vartheta^2}{4a^2}\left[r^2\sin^2(\theta-2\alpha n)+(z-z')^2\right]+\eta^2\right\}^{1/2}}d\eta}{K_0\left\{\frac{\vartheta^2}{4a^2}\left[r^2\sin^2(\theta-2\alpha n)+(z-z')^2\right]+\eta^2\right\}^{1/2}}\right)dz' \qquad (1)$$

где a – коэффициент температуропроводности материала;

λ – коэффициент теплопроводности материала;

ϑ – скорость источника;

r, θ, z – цилиндрические координаты;

$\eta = \vartheta r / 2a$ – параметр замены;

$K_0(u)$ – модификация функции Бесселя второго рода нулевого порядка.

Подинтегральная функция выражения (1) описывает температурное поле линейного источника, движущегося по поверхности клина. Выражение перед скобкой описывает температурное поле линейного источника, движущегося по поверхности полубесконечного тела; сумма в скобках характеризует влияние ограниченности изделия на температурное поле.

Если ввести безразмерные комплексы ρ, ζ, которые определяются углом клина α, $\frac{\vartheta(z-z')}{2a}=\varsigma$, $\frac{\vartheta}{2a}r=\rho$, и заменить выражение в скобках (1) множителем M, то общее решение можно представить в виде

$$T=\int_{-h}^{h}M(\xi,\rho,\theta,\alpha)\frac{q}{\pi\lambda}\exp\left[-\frac{\vartheta(z-z')}{2a}\right]\times$$
$$\times K_0\left\{\frac{\vartheta^2}{4a^2}\left[r^2\sin^2(\theta-2\alpha n)+(z-z')^2\right]+\eta^2\right\}^{1/2}dz' \qquad (2)$$

Для любого из углов клина множитель M может быть вычислен.

На рис. 1 приведена зависимость множителя M от z и ρ для поверхности клина с $\alpha = 60^0$.

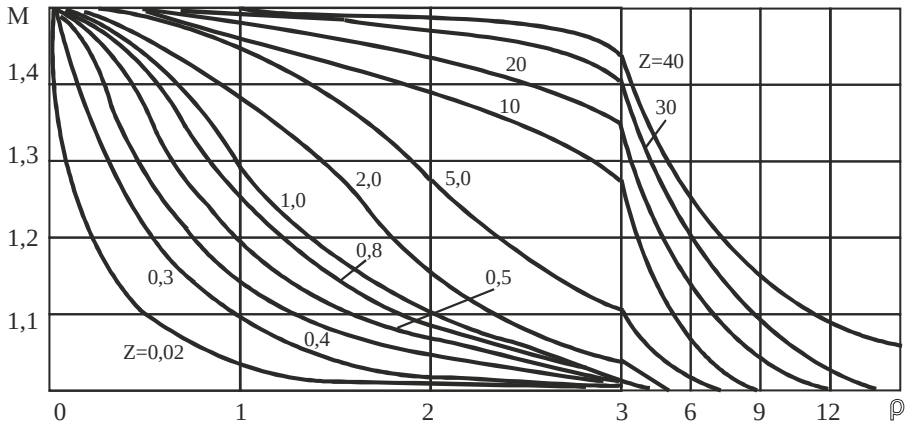


Рис. 1 - Зависимость множителя M от z и ρ для клина с α = 60^0.

Для ребра клина ($\rho = 0$) во всех случаях множитель $M = 1{,}5$. Это значит, что температура на ребре клина в 1,5 раза выше, чем температура на поверхности полубесконечного тела при тех же условиях. По мере удаления от ребра клина значения множителя M убывают, стремясь к единице. В области непосредственно под источником (при малых значениях z) множитель M быстро стремится к единице, что характеризует слабое влияние ограниченности изделия на температурное поле непосредственно под источником. Чем дальше от источника, тем сильнее сказывается влияние ограниченности изделия, но само значение температуры вдали от источника мало. Анализ множителя M показывает, что при $\upsilon \to \infty$ значение $M \to 1$. При $\rho \to \infty$ и $\alpha = 0$, т.е. в точках шлифуемой поверхности, удаленной от ребра достаточно далеко, влияние ограниченности детали становится все меньше, и при $\rho = \infty$ для всех ς множитель $M = 1$. Величина M из анализа зависимости (2) показывает, что она находится в пределах $1 \le M \le 1{,}5$ – при движении от ребра и $1 \le M \le 3{,}0$ – при движении к ребру. В общем случае, когда угол клина равен α, значение множителя M на ребре клина может быть представлено $M = \dfrac{\pi}{2\alpha}$.

Решение для расчета температуры на ребре клина выглядит так

$$T = \frac{\pi}{2\alpha}\int_{-h}^{h}\frac{q}{2\pi\lambda}\exp\left[-\frac{\vartheta(z-z')}{2a}\right]K_0\left\{\frac{\vartheta^2}{4a^2}\left[r^2\sin^2(\theta-2\alpha n)+(z-z')^2\right]\right\}^{1/2}dz' \qquad (3)$$

С уменьшением угла α множитель M увеличивается. Например, для α = 30° множитель $M = 3$, а для $\alpha = 60^0$ множитель M равен 1,5. Таким образом, при малых углах повышение температуры вследствие формы изделия может быть очень большим. При $\alpha = 90^0$, $M = 1$, т.е. шлифование происходит так, как если бы источник двигался по поверхности полубесконечного тела, и именно никаких для этого угла изменений температуры из-за ограниченности теплопроводящего пространства не происходит.

Вводя обозначения $\dfrac{\vartheta}{2a}z = Z$, $\dfrac{\vartheta}{2a}h = H$, $\Theta = \dfrac{\pi\lambda\vartheta}{2aq}T$, решение (3) можно представить в безразмерном виде

$$\Theta = \frac{\pi}{2\alpha}\int_{Z-H}^{Z+H}\exp(-\varsigma)K_0\left[\rho^2\sin\theta+\varsigma^2\right]^{1/2}d\varsigma. \qquad (4)$$

При $\rho \to \infty$, т.е. в точках шлифуемой поверхности удаленной от ребра достаточно далеко, влияние ограниченности размеров детали становится все меньше, и при $\rho = \infty$ для всех ς множитель $M = 1$.

Расчет температуры по полученной методике упрощается, если представить интеграл (4) в виде двух табулированных функций:

$$J(H,Z,\rho) = \int_{0}^{Z+H}\exp(-\varsigma)K_0\left[\rho^2\sin\theta+\varsigma^2\right]^{1/2}d\varsigma$$

Тогда общее решение по расчету температуры можно представить

$$T = \frac{qa}{\alpha\lambda\vartheta}\left[J(Z+H)-J(Z-H)\right] \qquad (5)$$

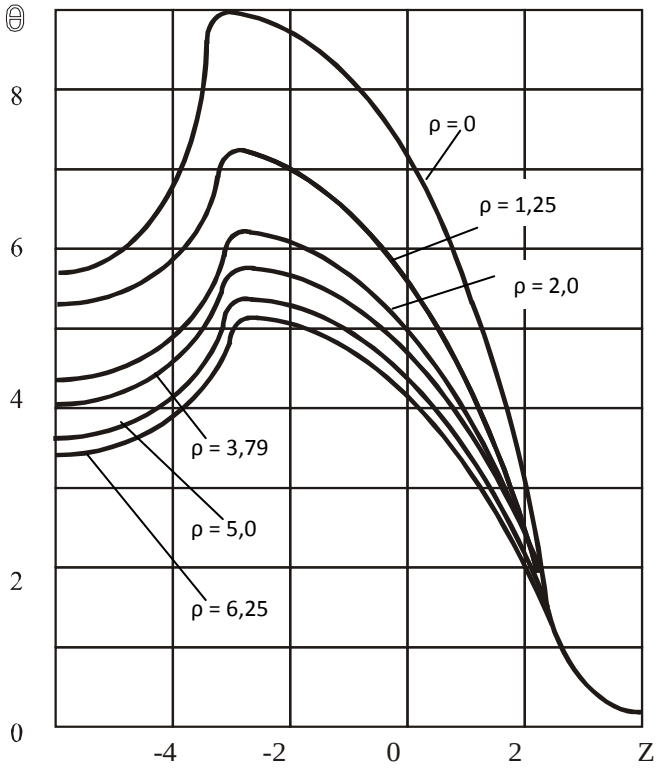


Рис. 2 - Распределение температуры на поверхности клина с α = 60^0

На рис. 2 приведен расчет распределения температуры на поверхности клина с углом при вершине α = 60^0 для точек поверхности соответствующих различным ρ. При ρ = 6,25 температура соответствует температуре на поверхности полубесконечного тела; при ρ = 0 (ребро клина) оно во всех точках больше, чем на удаленных от ребра участках поверхности в 1,5 раза. Если соответствующее построение провести для клина с углом раствора α, то температура на ребре будет соответственно превышать температуру достаточно удаленных точек в $\pi/2\alpha$ раз.

Таким образом, в результате выполненных исследований распределения температуры при шлифовании в клиновидных телах:

–Разработана методика расчета температуры на ребре клина и поверхности клиновидной детали при шлифовании – заточке пластин по кромке с учетом угла раствора клина. Использование методики позволит повысить качество заточки пластин.

–Показано, что температура на ребре клина влияет на температуру поверхности пластины. Установлено, что температура на ребре превышает температуру удаленных точек в $\pi/2\alpha$ раз.

–На основании исследований общее решение по расчету температуры на ребре и поверхности клина табулировано.

Список литературы:

1. *Иванова Т.Н.* Исследование структуры поверхностного слоя при шлифовании. / ж. Обработка металлов. Технология. Оборудование, Инструменты № 3(28), 2005. Стр. 30 - 32.

2. *Сипайлов В.А.* Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. М.: Машиностроение, 1978. 167с. (47 с.)

05.02.02

А. В. Жданов к.т.н., М. Г. Маликов

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
Россия, г. Владимир
tms@vlsu.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Статья посвящена созданию модели стрелочного перевода, необходимой для определения параметров и создания конструкции приводов для перемещения остряков стрелочного перевода для высокоскоростных линий.

Ключевые слова: стрелочные переводы, модель, привод.

Стрелочный перевод (СП) предназначен для перевода подвижного состава с одного пути на другой. Основой СП высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВЖМ) являются остряки увеличенной длины, которые снижают центробежную составляющую нагрузки при проходе стрелки составом [1]. Для определения кинематических и силовых характеристик движения СП необходимо провести математическое моделирование процесса перевода с целью определения минимального количества приводов, точек их подключения, величины и характера перемещения и степени прилегания остряка к рамному рельсу (РР).

Известно множество работ посвященных моделированию механических систем, наиболее близких к данной тематике [2-5]. При построении модели СП ВЖМ были приняты следующие допущения: РР и остряки представлены кусочно-линейными с шагом не более 0,5 м (расстояния между смежными шпалами); все элементы описываются только геометрическими кривыми с выбранным шагом; расчет проводится в одной плоскости; определение изгиба остряка проводится по всей длине в зависимости от приложенного усилия и точки его приложения. Расчетная схема СП ВЖМ представлена на рис.1. Остряк представляет собой набор сосредоточенных масс, соединенных между собой упругим невесомыми связями, работающими на изгиб. Перемещение остряка рассматривается только в координатах ХОУ, начало координат находится в точке закрепления остряка. В результате математического моделирования фиксируются следующие значения текущих параметров: изгибный момент в любом сечении (шаге) остряка, угловые ускорения, скорости и угол поворота остряка на каждом шаге, сила удара каждой точки (шаге) остряка о РР, текущее расстояние между остряком и РР на каждом шаге.

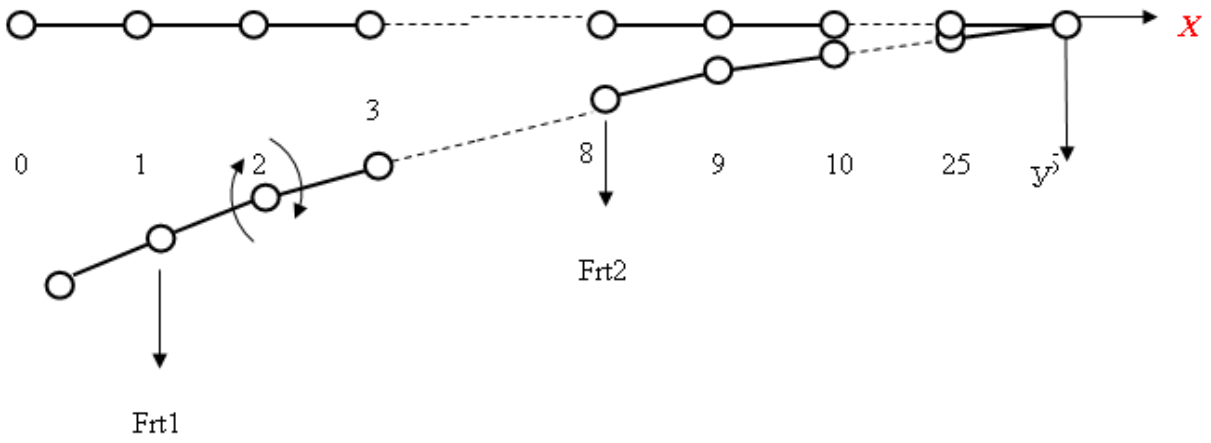


Рис. 1 – Расчетная схема модели СП ВЖМ (i = 0…26; шаг Δ =0.5 м).

Движение каждой точки остряка описывается системой 26 уравнений следующего вида (для *i*-ой точки):

$$\frac{d\omega_i}{dt} = \left(\frac{1}{(m_i\,\Delta^2)}\right)(E4_i\,Frt_1\Delta + M_{(i-1)} - M_i - Frr_i\Delta - Ms_i)$$

где ω_i – угловая скорость изгиба остряка; $m_i\ \Delta^2$ – момент инерции; $E4_i$ – признак подключения рабочей тяги привода к *i*-й точке остряка ($E4_i = 1$ рабочий орган (РО) подключен, $E4_i = 0$ *PO* не подключен); *Frt* – сила, действующая на остряк от рабочей тяги; m_i – масса *i*-й массы остряка; M_i *и* $M_{(i+1)}$ – упругие изгибные моменты, возникающие в соответствующих звеньях остряка; Frr_i – сила реакции РР при подводе к нему остряка; *Msi* – момент силы сопротивления скольжения остряка по подкладкам.

Значения изгибного момента определяется по формулам

$$\frac{dMu_i}{dt} = \frac{c}{(13.5 - i\,\Delta)}(\omega_i - \omega_{(i+1)}) \quad M_i = Mu_i + b\,dMu_i\,dt\,,$$

где *c* – модуль упругости остряка в поперечной плоскости; *b* – коэффициент потерь на внутреннее трение; R_i – радиус изгиба остряка.

Для нахождения значения величины Frr_i используем условие контакта РР с подведённым к нему остряком

$$Frr_i = \begin{cases} c_{rr}\ Sy_i,\ Sy_i > 0 \\ 0,\ Sy_i \le 0 \end{cases},$$

где Frr_i – сила реакции РР; c_{rr} – коэффициент жёсткости РР.

Момент сопротивления вращению Ms_i при движении остряка по подкладке:

$$Ms_i = \Delta\ fc\,m\,g\,sign(\omega_i)\,,$$

где *fc* – коэффициент трения; *m* – масса *i*-ой точки.

Положение каждой точки остряка определяется по формулам.

$$Y_i = \Delta\sin\varphi_i;\ Sy_i = Y_i + Sy_{(i+1)};\ \varphi_i = \varphi_t + \omega_t dt\,,$$

где Y_i – перемещение *i*-й точки остряка на *i*-м участке по оси *Y*; Sy_i – суммарное перемещение *i-й* точки относительно оси *Y*; φ_i – угол поворота *i*-го отрезка относительно оси *X*.

Вначале проводились исследования с одним приводом, которые показали, что один привод не обеспечивает необходимые параметры перемещения остряков. Результаты моделирования с двумя приводами приводятся ниже.

1. Обеспечение необходимого перемещения при отводе остряка от РР. Поставленная задача решается обеспечением необходимого перемещения и длины РО в каждой точке подключения обоих приводов. При этом первый привод может быть подключен с первой точки по седьмую, второй – с десятой по пятнадцатую (см. табл.1).

2. Определение точек подключения приводов с целью обеспечения прижатия (сохранения геометрии остряка) к РР на величину не менее 4 мм (нормативный показатель). Для этого производится подвод остряка к РР в разных точках подключения приводов, и проверяются значения отклонения. Подбор осуществляется до тех пор, пока величина отклонения будет меньше 4 мм во всем диапазоне изменения коэффициента трения.

Таблица 1

Результаты перемещения остряка стрелочного перевода.

fc=0,03		Точка подключения 1-го привода						
Точка подключения 2-го привода		1	2	3	4	5	6	7
	10	154.0	153.1	154.0	153.3	153.6	154.4	153.5
	11	154.0	153.3	154.6	154.2	154.8	154.9	153.1
	12	154.0	152.1	151.9	149.9	148.2	146.0	141.2
	13	154.0	152.2	151.8	149.7	148.0	145.1	139.9
	14	154.0	153.1	153.7	152.6	151.8	149.9	145.8
	15	154.0	153.9	155.1	154.7	154.3	153.0	149.5
fc=0,15		Точка подключения 1-го привода						
Точка подключения 2-го привода		1	2	3	4	5	6	7
	10	154.0	152.5	152.7	151.3	151.6	152.6	152.3
	11	154.0	153.2	153.9	152.7	152.5	152.5	150.8
	12	154.0	152.0	151.6	149.0	146.6	143.3	138.2
	13	154.0	152.5	152.3	149.5	147.0	143.0	136.5
	14	154.0	153.8	154.7	153.3	151.8	148.7	143.1
	15	154.0	154.7	156.5	155.9	155.4	152.9	147.7
fc=0,3		Точка подключения 1-го привода						
Точка подключения 2-го привода		1	2	3	4	5	6	7
	10	154.0	151.7	151.1	149.2	149.6	150.1	147.4
	11	154.0	153.1	153.4	151.9	151.3	149.8	146.4
	12	154.0	152.4	151.9	148.8	145.6	142.7	137.1
	13	154.0	152.9	152.7	150.0	146.7	142.1	134.8
	14	154.0	154.6	156.1	154.6	152.2	148.2	140.3
	15	154.0	156.0	158.6	158.3	156.9	153.2	146.0

Минимальное отклонение обеспечивается при подключении первого привода в 4-й точке, а второго привода - в 14-й точке (рис. 2) и не превышает 2.5 мм.

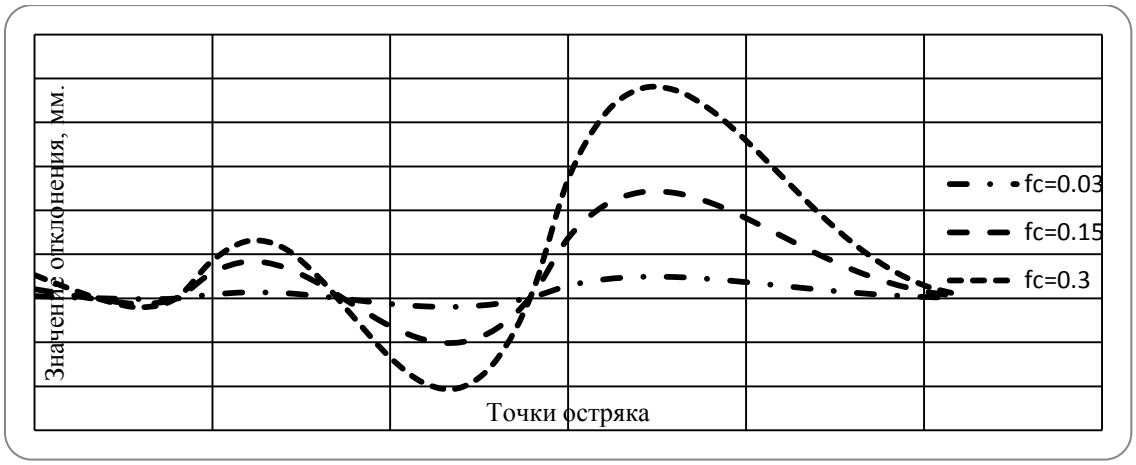


Рис. 2 – Отклонение при прижатии остряка к РР.

3. Проверка значений удара остряка о РР. Рассматриваются все точки остряка левее точки подключения первого привода (точки 0 – 4), остальные точки остряка контактировать с РР не могут. Наиболее сильный удар происходит при наибольшем значении трения остряка о подкладки, т.к. при перемещении остряка в промежутке между точками подсоединения приводов происходит прогиб остряка в сторону противоположную его перемещению. Сила удара также зависит от скорости перемещения РО(рис.3).

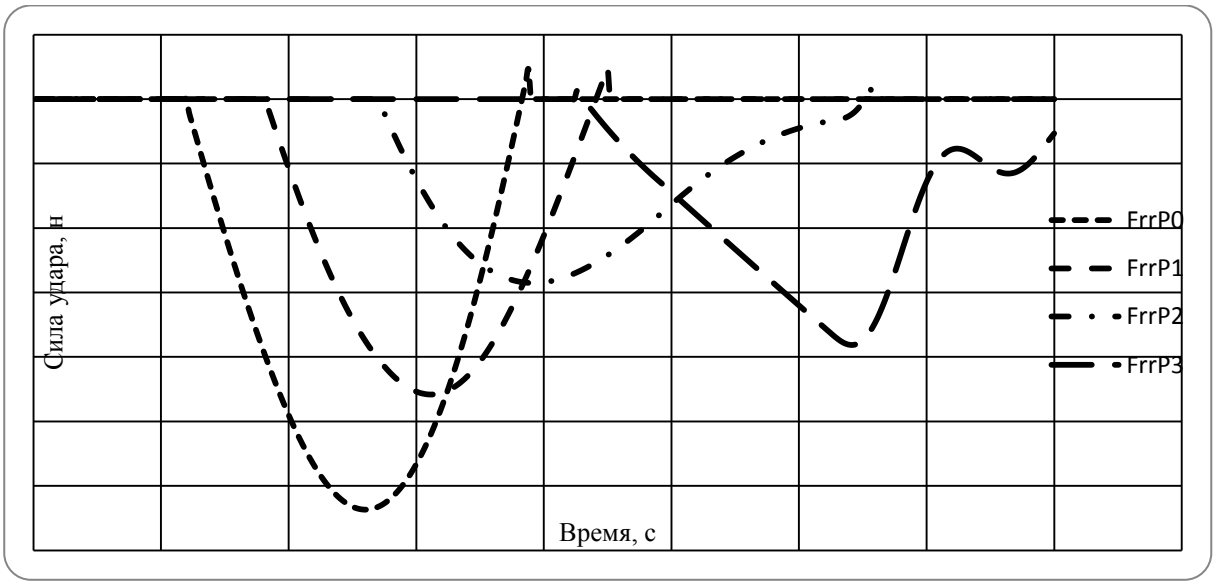


Рис. 3 – Моделирование ударов остряка о РР.

4. Проверка времени перевода остряков проводится при максимальном значении коэффициента трения. На рис.4 показано изменение во времени скорости *Vro* и величины перемещения *SroL PO*. Время перевода стрелки при этих условиях составило чуть больше 4 с при допускаемом 5 с.

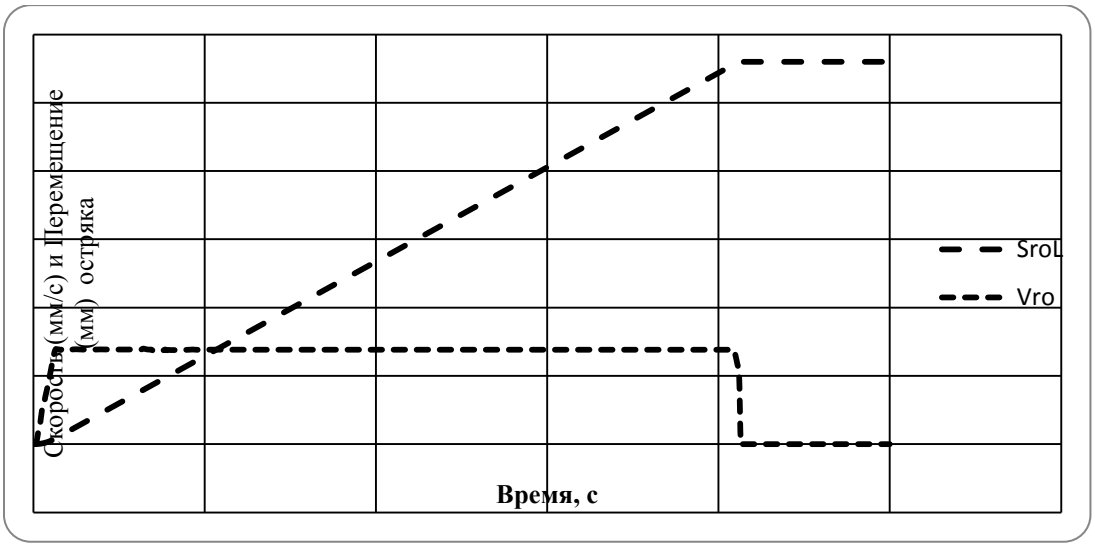


Рис. 4 – Скорость перемещение остряка СП.

Результаты исследований показали, что при использовании в СП остряков длиной 13.5 метров достаточно применения двух приводов для обеспечения нормативных требований к СП.

Список литературы:

1. *Суровин П.Г.* Экспериментальный метод определения перемещений рельса // Вестник ВНИИЖТ, 2011. – № 6.

2. *Работнов Ю.Н.* Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1988. – 712 с.

3. *Демидов С.П.* Теория упругости. – М.: Высшая школа, 1979. – 432 с.

4. *Ефанов А.М., Ковалевский В.П.* Теория механизмов и машин: Учебное пособие. – Оренбург: ОГУ, 2004. – 267 с.

5. *Нефедов А.Ф., Высочин Л.Н.* Планирование эксперимента и моделирование при исследовании эксплутационных свойств автомобилей. – Львов: Высшая школа, 1976. – 160 с.

05.02.02

А. В. Жданов к.т.н., М. Г. Маликов

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
Россия, г. Владимир
tms@vlsu.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРСПЕКТИВНОГО ЭМП СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Статья посвящена разработке математической модели перспективного электромеханического привода (ЭМП) стрелочного перевода увеличенной длины с целью определения параметров по взаимодействию привода с остряками. В результате моделирования получены уравнения положенные в основу программы моделирования привода.

Ключевые слова: стрелочный перевод, модель, электромеханический привод.

В последнее время на железных дорогах РФ активно началась эксплуатация высокоскоростных составов типа «Сапсан». Однако их использование в качестве альтернативы авиалиниям сдерживается наличием устаревших стрелочных переводов (СП), на которых требуется существенно снижать скорость, что влечет за собой значительные экономические потери. Применяемые в настоящее время электромеханические приводы (ЭМП) не могут обеспечить увеличение требуемых скоростей движения поездов на безопасном уровне. Усовершенствовать серийные технические средства СП практически не удается, так как запас совершенствования их конструктивных возможностей практически исчерпан [1]. Поэтому возникла необходимость создания нового поколения ЭМП для осуществления перевода стрелок высокоскоростных железнодорожных магистралей.

В результате проведенных исследований и патентного поиска была разработана конструкция перспективного ЭМП СП, схема которого приведена на рис. 1.

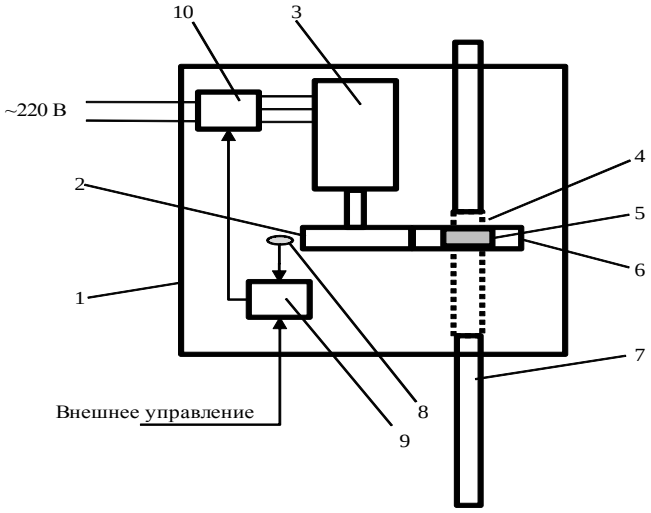


Рис. 1 – Принципиальная схема перспективного ЭМП СП: 1 - корпус, 2 -ЭД, 3 - шестерня, 4 – винт РВМ, 5 - гайка РВМ, 6 - шестерня, 7 - РО, 8 - датчик Холла, 9 - блок управления, 10 - силовой блок.

Предлагаемый ЭМП характерен тем, что рабочий орган (РО) может выдвигаться в обе стороны относительно корпуса, поэтому он устанавливается между остряками СП, что

позволило сократить число соединительных тяг и шарниров. Исходным является положение ЭМП, когда один конец РО до конца выдвинут, а другой втянут, т.е. когда один остряк прижат к рамному рельсу, другой отведен от него. Для перевода стрелки необходимо, чтобы РО изменил свое положение на противоположное. В предлагаемом ЭМП не требуется никаких дополнительных тяг для перемещения остряков, РО представляет собой стержень, в середине которого имеется резьба винта роликовинтового механизма (РВМ), причем длина винта соответствует максимальному перемещению РО. В ЭМП использован трехфазный асинхронный электродвигатель (ЭД), поскольку он выполняет роль фрикционной муфты, ограничивающий момент при возникновении перегрузки. Управление ЭМП осуществляется с помощью микроконтроллера (блок управления) через силовой блок, представляющий собой регулируемый широтно-импульсный регулируемый преобразователь. Математическая модель предлагаемого ЭМП строится на основе описания, приведенного выше, и метода динамических аналогий [2]. Расчетная схема ЭМП приведена на рис. 2.

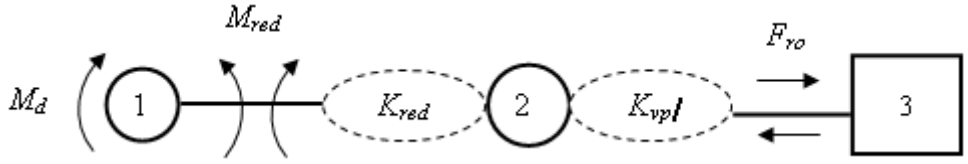


Рис. 2 – Расчетная схема ЭМП СП: M_d – крутящий момент ЭД; 1 – вращающаяся масса с моментом инерции J_d+J_{zk1}, J_d - момент инерции вала ЭД, J_{zk1} – момент инерции 1-го зубчатого колеса; M_{red} – момент , передаваемый зубчатым редуктором (ЗР); K_{red} – передаточное число ЗР; 2 – вращающаяся масса с моментом инерции J_{zk2}+J_g, J_{zk2} – момент инерции 2-го зубчатого колеса, J_g – момент инерции гайки РВМ; K_{vp} – кинематическая передаточная функция РВМ; 3 – масса РО m_{ro}.

Движение вала ЭД описывается уравнением:

$$\frac{d\omega_d}{dt} = \frac{1}{(J_d + Jzk1)}(M_d - k_{red}M_{red}),$$

где ω_d – угловая скорость валаЭД.

Момент M_{red}, передаваемый редуктором, определяется через упругий момент M_{ured} и определяется следующим образом:

$$\frac{dMu_{red}}{dt} = c_{red}(\omega_d k_{red} - \omega_{zk_2}),\ M_{red} = Mu_{red} + b_{red}\frac{dMu_{red}}{dt},$$

где c_{red} – суммарная жёсткость зубчатого редуктора; ω_{zk2} - угловая скорость вращения второй шестерни (гайки РВМ); b_{red} – коэффициент, учитывающий потери на внутреннее трение.

Угловая скорость вращения 2-го зубчатого колеса:

$$\frac{d\omega_{zk_2}}{dt} = \frac{1}{(J_{zk_2} + J_g)}(\eta_r^n M_{red} - k_{vp}F_{ro} - k_{sr}\omega_{zk_2})$$

где ω_{zk2} – угловая скорость вращения 2-го зубчатого колеса; *ksr* – коэффициент, учитывающий скоростные потери зубчатого редуктора; F_{ro} – сила, действующая на РО; η^n_r – КПД редуктора; n – показатель степени, определяемый направлением потока мощности из условия:

$$\begin{cases} \omega_{zk_2}M_{red} \geq 0,\ n = 1 \\ \omega_{zk_2}M_{red} < 0,\ n = -1 \end{cases}.$$

Сила *Fro*, передаваемая РВМ на РО, определяется так:

$$\frac{dFu_{ro}}{dt} = \frac{1}{c_{vp}}(\omega_g k_{vp} - V_{ro}),\ \ F_{ro} = Fu_{ro} + b_{vp}\frac{dFu_{ro}}{dt}.$$

Скорость перемещения рабочего органа V_{ro} определяется из уравнения:

$$\frac{dVro}{dt} = \frac{1}{m_{ro}}(\eta_v^n F_{ro} - F_{os} - ftr\ \text{sign}(V_{ro})),$$

где V_{ro} – скорость перемещения РО; F_{os} – силы, действующие РО со стороны остряков; f_{tr} – коэффициент, учитывающий трение РО во втулках и сальниках; Fu_{ro} -- упругие силы, η^n_v – КПД РВМ; n – показатель степени, определяемый направлением потока мощности из условия:

$$\begin{cases} \omega_{zk_2} F_{ro} \ge 0, n = 1 \\ \omega_{zk_2} F_{ro} < 0, n = -1 \end{cases}.$$

Для создания модели ЭМП необходимо иметь модель ЭД, которая составлена на основе паспортных данных и дает возможность легко подобрать нужный вариант. Она представляет собой совокупность механической и электромеханической характеристик ЭД [1]. Чтобы определить текущее значение момента в зависимости от частоты вращения вала ЭД воспользуемся формулой Клосса:

$$M_d = 2M_m\left(\frac{Useti}{380}\right)^2 \Big/ \left(\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}\right),$$

где M_m – максимальный момент ЭД, S_k – критическое скольжение, соответствующее максимальному моменту ЭД, S – текущее скольжение, характеризует изменение частоты вращения вала ЭД в зависимости от нагрузки, относительно скорости вращения магнитного поля, *Useti* – значение напряжения питания, подаваемого на статорные обмотки ЭД.

Критическое скольжение S_k , номинальное скольжение S_n и текущее скольжение S определяются по формулам:

$$S_k = S_n(L_m + \sqrt{L_m^{\,2} - 1}),\ S_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0},\ S = \frac{(\omega_{d_0} - E_{dv}\omega_d)}{\omega_{d_0}},\ \omega_{d_0} = 2\pi\frac{f_{seti}}{N_{pol}},$$

где L_m – отношение максимального момента к номинальному; n_0 – частота вращения ЭД в об/мин; n_n – номинальная частота вращения вала ЭД; f_{seti} – частота тока сети; N_{pol} – количество пар полюсов; E_{dv} = 1 – прямое включение, E_{dv} =0 - выключенный ЭД, E_{dv} =-1 – реверсивное включение.

Модель системы управления будет иметь вид:

а) первый контур: $f_{seti} = k_1(U_1 - \omega_d)$, $U_{seti} = kf_{seti}$, где k_1 – коэффициент усиления 1-го контура, U_1 – сигнал управления 1-го контура, задающий частоту вращения ЭД.. Значения f_{set} и U_{seti} ограничиваются сверху и снизу исходя обеспечения нормальной работы ЭД. Величина U_1 ограничивается значением максимальной частоты вращения ротора ЭД.

б) второй контур: $U_1 = k_2(S_{ro} - S)$, где k_2 – коэффициент усиления 2-ого контура, изменением этого коэффициента в процессе перемещения РО можно обеспечить любой закон управления перемещением; S – задаваемая величина перемещения.

В качестве примера работы модели приводится результат вычисления перемещений РО из одного крайнего положения в другое. На рис.3. показаны следующие переменные, вычисляемые моделью: скорость перемещения РО, *Vro*, мм/с; управляющий сигнал U_1, определяющий частоту вращения ротора ЭД; крутящий момент ЭД M_d, Н/м.

В ходе анализа математической модели ЭМП были определены основные параметры привода, а именно выбран ЭД , определены передаточные числа зубчатой пары и РВМ, а также закон управления ЭД, рассчитаны режимы разгона и торможения с предотвращением удара остряка о рамный рельс.

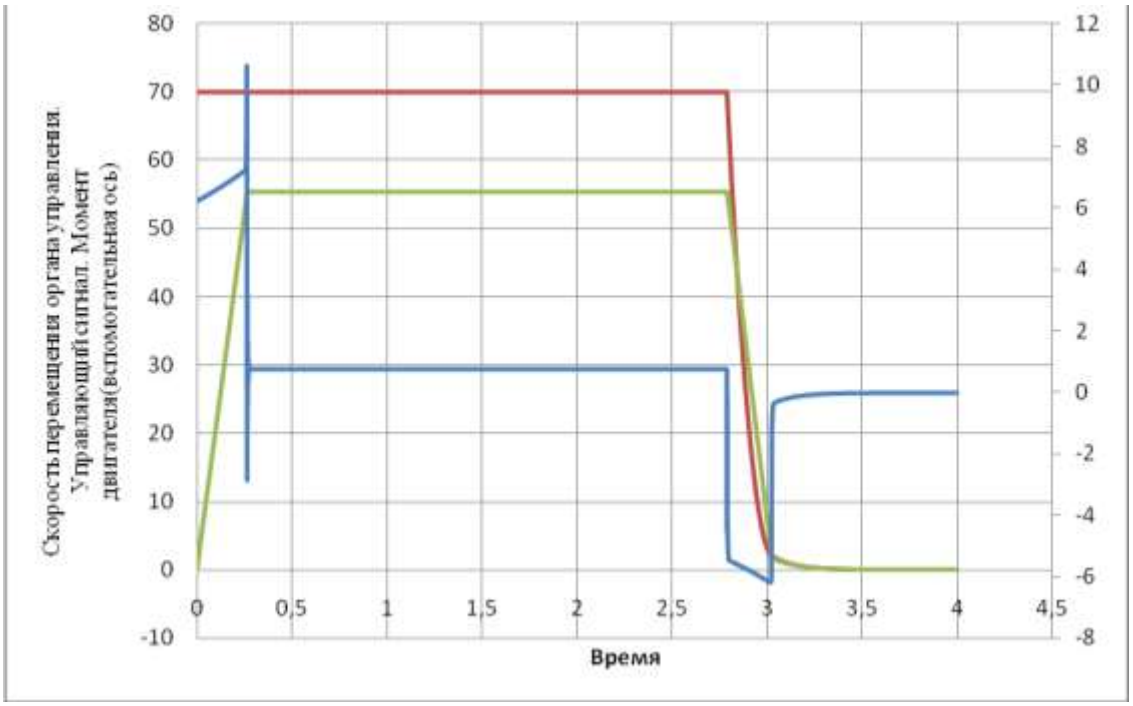


Рис. 3 – Скорость перемещения рабочего органа.

Список литературы:

1. *Меньшиков И.А.* Повышение безопасности движения поездов с помощью эффективных методов контроля СП // Мат.3-й научно-практической конф. «Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство» 4-6.03.2010 г., М.: ВНИИЖТ. – С. 168-174.

2. *Нефедов А.Ф., Высочин Л.Н.* Планирование эксперимента и моделирование при исследовании эксплуатационных свойств автомобилей. – Львов: Высшая школа, 1976. – 160 с.

3. *Китаев А.И., Глухова В.И.* Анализ работы асинхронного двигателя по данным каталога // ААЭКС, Моделирование объектов и систем управления, 2008, №1 (21).

4. *Усольцев А.А.* Частотное управление асинхронными двигателями/Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.

5. *Морозов В.В.* РВМ. Кинематические характеристики: монография / В.В.Морозов; Владим. гос. ун-т – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2005. – 78 с.

05.02.02

А. В. Жданов к.т.н., Д. В. Штых

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
Россия, г. Владимир
tms@vlsu.ru, shtyh.dim@yandex.ru

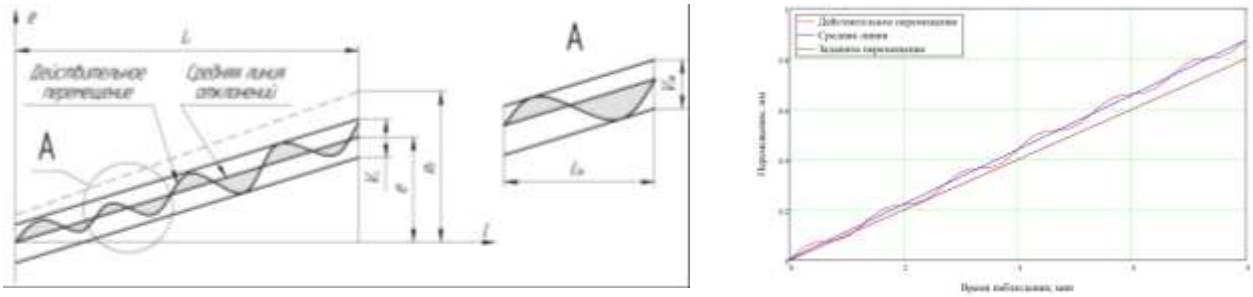
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ ПРИВОДОВ ЛИНЕЙНЫХ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

В связи с повышением требований к приводам линейных перемещений по точности и плавности остро встаёт проблема оценки качества движения выходного звена. В данной работе рассмотрены основные показатели, применяемые для численного выражения степени неточности линейного перемещения. Приведены примеры использования ЭВМ и современного программного обеспечения (MathCAD 14) для вычисления показателей кинематической точности и плавности при равномерном движении. Выявлены недостатки применения указанных параметров, предложен дополнительный показатель максимальных значений ускорения и его производной для уточнённой оценки качества движения.

Ключевые слова: линейное перемещение, точность, показатель плавности.

В процессе синтеза электромеханических приводов (ЭМП) возникает необходимость оценки качества различных вариантов конструкций, сравнение с уже существующими моделями, либо анализ на соответствие заданным входным параметрам. Одним из основных показателей качества работы ЭМП линейных микроперемещений, определяющим его пригодность для решения тех или иных задач, является точность и плавность перемещения выходного звена. Так как большую часть в погрешность всего ЭМП микроперемещений вносит механическая часть привода, то качество движения напрямую зависит от кинематической точности (КТ) передачи.

Для оценки различных механизмов линейного движения применяют показатели КТ , регламентированные ОСТ 2 Р31-4-88, а также ISO 3408-3. В них в качестве критериев характеризующих класс точности используются максимальная величина отклонения средней линии действительного перемещения (e) и ширина полосы линии отклонений действительного перемещения (V_u). На рис. 1а показана схема для определения параметров КТ передачи.



а) *б)*

Рис. 1 – Схема для определения параметров КТ передачи и график перемещения выходного звена передачи РВПД 21,6×0,1.

Для определения показателей КТ удобно использовать математический пакет MathCAD 14, позволяющий производить математические вычисления и прогнозировать кинематическую погрешность (КП) перемещения выходного звена передачи. Методика прогнозирования КТ передачи основывается на методе гармонического синтеза погрешности перемещения выходного звена. В качестве входных параметров для синтеза (амплитуды и номера гармоник) используем результаты экспериментальных данных, полученных в ходе исследования КТ передачи РВПД 21,6×0,1 [4]. На рис. 1б показан график перемещения выходного звена передачи. Полученные параметры КТ: отклонение средней линии от заданного перемещения (e) – 0,07487 мм; ширина полосы линии отклонений действительного перемещения (V_u) – 0,04864 мм; ширина полосы линии отклонений действительного перемещения в пределах одного оборота входного вала ($V_{2\pi}$) – 0,04351 мм.

Однако данный показатель не позволяет оценить плавность движения, так как не учитывает характер перемещения выходного звена (точность по скорости, отклонение ускорения и его производной от заданных величин) [5]. Поэтому возникла необходимость дополнительно применять другие показатели качества движения. В работе [3] рассмотрены различные существующие оценки плавности, применяемые в различных задачах, что позволило предложить единые показатели плавности, как для вращательного, так и для поступательного движения. Причём эти показатели приведены в двух видах – интегральном и вариационном:

Удобство применения показателей заключается в том, что если подынтегральная функция существует и непрерывна, применяется интегральная формулировка показателей. Как правило, это возможно при исследовании математических моделей приводов, когда динамические характеристики *v(t)* и *a(t)* являются решениями дифференциальных уравнений. В противном случае показатели определяются через полную вариацию соответствующих функций. Такой вариант расчёта удобен при использовании численных методов, а также при определении качества движения по совокупности экспериментальных данных. Одним из недостатков предложенных показателей плавности является их интегральная (средняя за период наблюдения) оценка воздействия выходного звена на рабочий орган. Данный недостаток можно проиллюстрировать на следующем примере.

Смоделируем два разных вида перемещения выходного звена передач с учётом двух различных видов КП и определим их показатели плавности при линейном заданном законе движения. В одном случае используем синусоидальную зависимость погрешности, в другом погрешность опишем кусочно-непрерывной функцией. Графики погрешностей перемещения показаны на рис. 2.

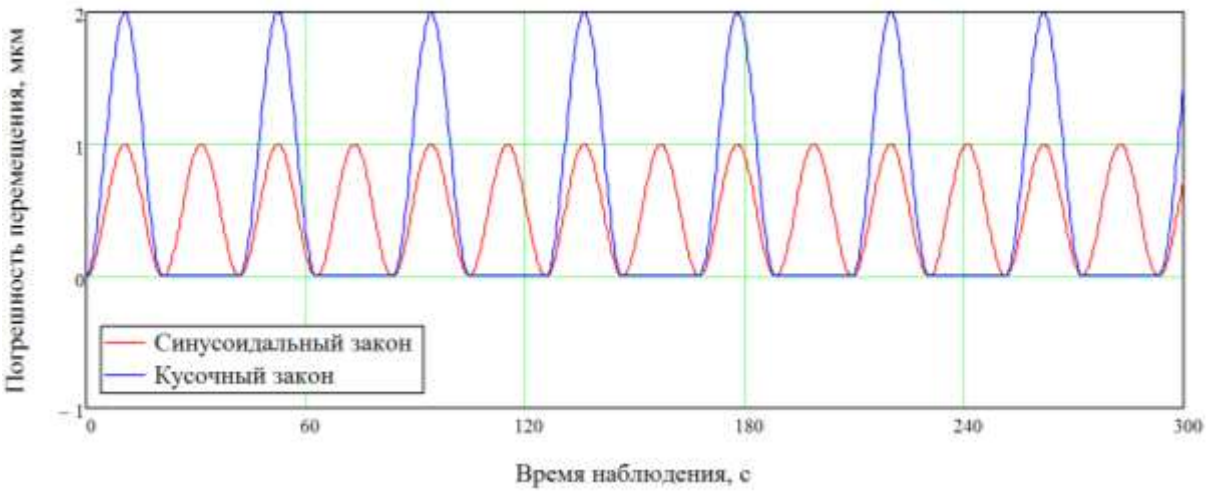
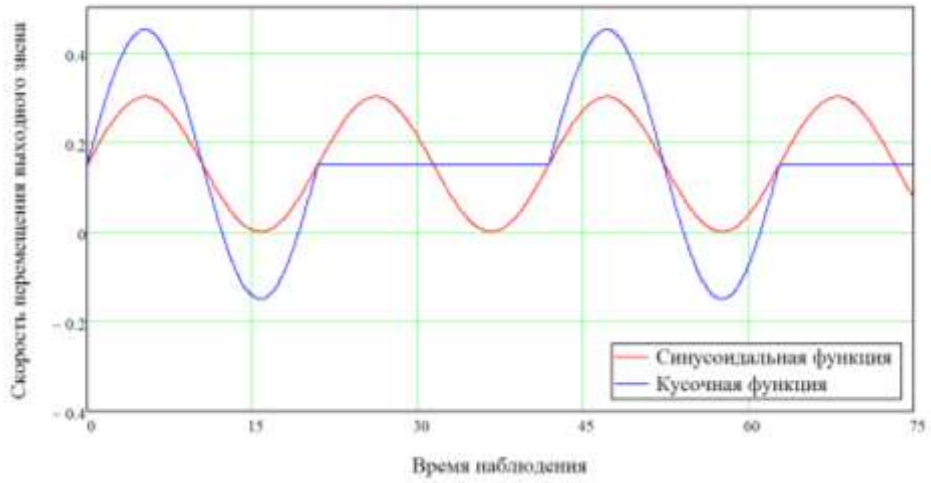
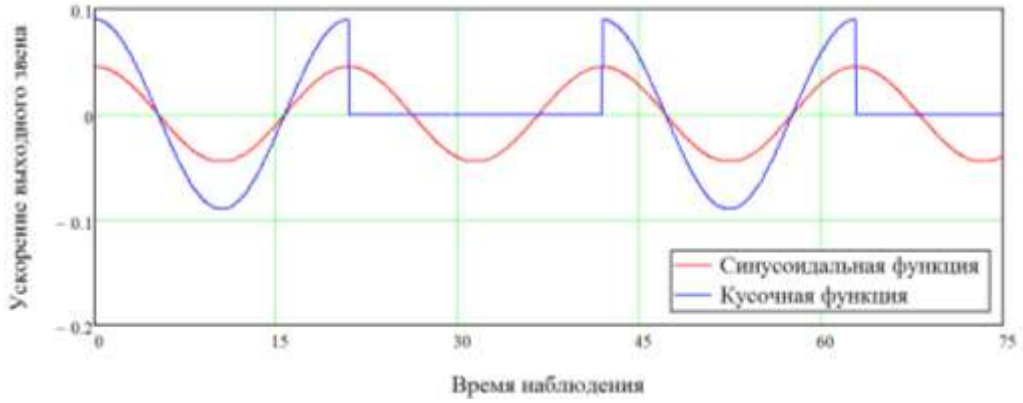


Рис. 2 – Зависимость КП двух разных моделей передач.

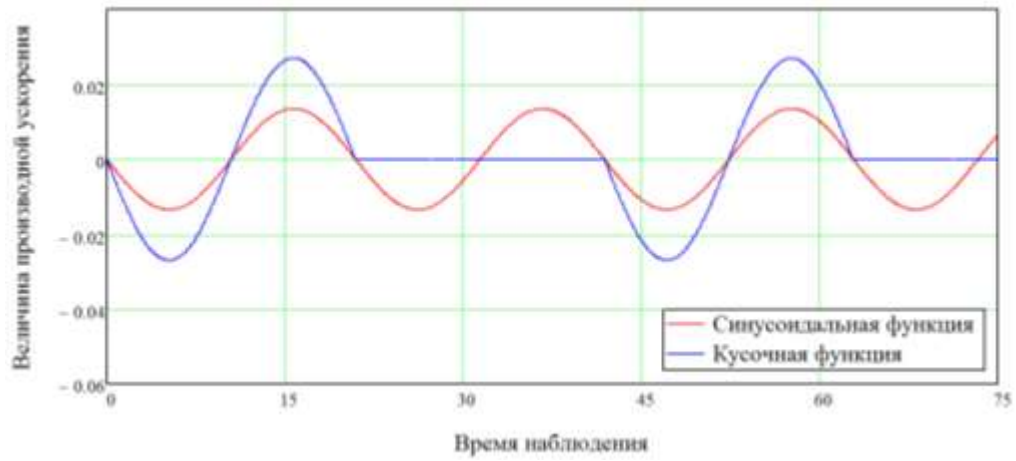
Вычислим величины показателей плавности для двух видов движения, предварительно определив соответствующие производные от функций перемещения при равномерном движении. Анализируя численные значения показателей плавности, можно прийти к выводу, что в обоих случаях плавность движения практически одинакова. Сравнивая же графики скоростей, ускорений и производных ускорений (см. рис. 3), видно, что первый вариант осуществляет более плавное движение.



а)



б)



в)

Рис. 3 – Скорость перемещения (а), ускорение (б) и изменение ускорения (в) выходного звена для двух вариантов КП перемещения.

Такое несоответствие ограничивает область применения данных показателей. По всей видимости, законы перемещения сравниваемых механизмов должны быть одного «типа», т.е. схожими по виду графиков перемещения. Для успешного применения показателей плавности при сравнительной оценке качества движения ЭМП необходимо увеличить период наблюдения с тем, чтобы усреднить вероятностную неравномерность воздействия на рабочий орган вследствие разного рода возмущений. В таком случае в большей степени проявляются интегральные (усредняющие) свойства показателей. В качестве дополнительной оценки предлагается учитывать максимальный размах скорости, ускорения и производной ускорения. Проведенные вычисления показывают, что воздействие на рабочий орган в двух вариантах уже неодинаково в отличие от предыдущих вычислений.

Список литературы:

1. *Артоболевский И.И., Лощинин В.С.* Динамика машинных агрегатов на предельных режимах движения. – М.: Наука, 1977. – 325 с.

2. Кинематика, динамика и точность механизмов: Справ. / Под ред. *Г.В. Крейнина*. – М.: Машиностроение, 1984. – 224 с.

3. *Морозов В.В.* Плавность динамических звеньев электромеханических приводов. / В.В.Морозов, А.Б.Костерин, Е.А.Новикова. – Владимир: ВлГУ, 1999. – 158 с.

4. *Худяков О.С.* Исследование влияния геометрических погрешностей зубчатых венцов винта и роликов на кинематическую погрешность роликовинтовой передачи / Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Владимир.: ВлГУ, 2006. – 132 с.

5. Обеспечение качества сборки роликовинтовых механизмов фрикционного типа / *А.В. Жданов* // Сборка в машиностроении, приборостроении. – №5 – М: Машиностроение, 2011. – С. 30-35.

05.12.14

С. М. Зраенко к.т.н.

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина
институт радиоэлектроники и информационных технологий-РТФ
кафедра теоретических основ радиотехники
Россия, г. Екатеринбург
z_sm@mail.ru

ОЦЕНКА ДОПЛЕРОВСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРАЕКТОРНОГО СИГНАЛА В РАДИОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Проект № 11-07-12017)

В работе представлены результаты определения потенциальной точности доплеровских параметров траекторного сигнала от точечной цели в радиолокаторе с синтезированной апертурой. Получены соотношения для расчета количества каналов обработки по радиальной и тангенциальной составляющим ее скорости.

Ключевые слова: радиолокатор с синтезированной апертурой, точечная цель, радиальная и тангенциальная скорость, доплеровские параметры сигнала, потенциальная точность.

Формирование радиолокационных изображений (РЛИ) движущихся с неизвестными скоростями целей в радиолокаторе с синтезированной апертурой (РСА) требует определения зависящих от них доплеровских параметров траекторного сигнала. Знание этих параметров необходимо для согласования с ними импульсной характеристики фильтра сжатия сигнала, без чего невозможно получение качественного РЛИ цели.

Осуществим синтез оптимального алгоритма измерения доплеровских параметров траекторного сигнала. Для этого в фиксированный момент времени t в инерциальной системе координат определим закон изменения расстояния между РСА и целью $\mathbf{R}(t)$ с использованием соотношений $\mathbf{R}=\mathbf{R}_{\text{с}}-\mathbf{R}_{\text{ц}}$, $\mathbf{V}=\mathbf{V}_{\text{с}}-\mathbf{V}_{\text{ц}}$, $\mathbf{A}=\mathbf{A}_{\text{с}}-\mathbf{A}_{\text{ц}}$.

Здесь, как и в работе [1] $\mathbf{R}_{\text{с}},\mathbf{V}_{\text{с}},\mathbf{A}_{\text{с}},\mathbf{R}_{\text{ц}},\mathbf{V}_{\text{ц}},\mathbf{A}_{\text{ц}}$ векторы положения, скорости и ускорения РСА и цели соответственно.

Поскольку закон изменения доплеровской фазы определяется как

$$\varphi(t)=\frac{4\pi}{\lambda}\left|\mathbf{R}(t)\right|, \qquad (1)$$

то в ряд Тейлора должна раскладываться норма вектора расстояния $\left|\mathbf{R}\right|=\sqrt{(\mathbf{R}\cdot\mathbf{R})}$. Для пяти членов разложения вычислим производные:

$$c_1=\frac{d\left|\mathbf{R}\right|}{dt}=(\mathbf{V}\cdot\mathbf{r}),\ \text{где}\ \ \mathbf{r}=\frac{\mathbf{R}}{\left|\mathbf{R}\right|}\ ,\quad c_2=\frac{d^2\left|\mathbf{R}\right|}{dt^2}=(\mathbf{A}\cdot\mathbf{r})+\frac{\left|\mathbf{V}\right|^2-c_1^2}{\left|\mathbf{R}\right|}\ ,$$

$$c_3 = \frac{d^3|\mathbf{R}|}{dt^3} = (\mathbf{W}\cdot\mathbf{r}) + 3\frac{(\mathbf{A}\cdot\mathbf{V}) - c_1 c_2}{|\mathbf{R}|}\ , \qquad (2)$$

$$c_4 = \frac{d^4|\mathbf{R}|}{dt^4} = (\mathbf{U}\cdot\mathbf{r}) + 4\frac{(\mathbf{W}\cdot\mathbf{V}) - c_1 c_3}{|\mathbf{R}|} + 3\frac{|\mathbf{A}|^2 - c_2^2}{|\mathbf{R}|}\ ,$$

где $\mathbf{W} = \frac{d\mathbf{A}}{dt}$, $\mathbf{U} = \frac{d\mathbf{W}}{dt}$.

При этом закон изменения дальности запишется в виде

$$|\mathbf{R}(t)| \approx a_0 + a_1(t - t_0) + a_2(t - t_0)^2 + a_3(t - t_0)^3 + a_4(t - t_0)^4, \qquad (3)$$

где $a_0 = |\mathbf{R}(t_0)|$, $a_1 = c_1$, $a_2 = \frac{1}{2}c_2$, $a_3 = \frac{1}{6}c_3$, $a_4 = \frac{1}{24}c_4$.

Коэффициенты разложения наклонной дальности (2) и (3) вычисляются на основании расчетной траектории носителя и уточняются по данным навигационных систем. Для коррекции измерений используются параметры отраженного сигнала и сформированного РЛИ. При этом закон изменения фазы (1) необходимо представить:

$$\varphi(t) \approx \frac{4\pi}{\lambda}|\mathbf{R}(t_0)| + 2\pi\left\{\frac{2}{\lambda}c_1(t - t_0) + \frac{1}{2}\cdot\frac{2}{\lambda}c_2(t - t_0)^2 + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{6}\cdot\frac{2}{\lambda}c_3(t - t_0)^3 + \frac{1}{24}\cdot\frac{2}{\lambda}c_4(t - t_0)^4\right\}. \qquad (4)$$

Преобразуем слагаемые в выражении (4) с учетом (2):

$$\frac{2}{\lambda}c_1 = \frac{2}{\lambda}(\mathbf{V}\cdot\mathbf{r}) = \frac{2V_P}{\lambda} = f_{Д0}\ , \qquad (5)$$

где V_P - радиальная составляющая скорости взаимного перемещения РСА и цели, $f_{Д0}$ - центральная доплеровская частота отраженного сигнала,

$$\frac{2}{\lambda}c_2 = \frac{2}{\lambda}(c_1)' = f'_{Д0}\ ,\quad \frac{2}{\lambda}c_3 = \frac{2}{\lambda}(c_2)' = f''_{Д0},\quad \frac{2}{\lambda}c_4 = \frac{2}{\lambda}(c_3)' = f'''_{Д0}, \qquad (6)$$

где $f'_{Д0}$ - скорость изменения доплеровской частоты, а $f''_{Д0}$ и $f'''_{Д0}$ - ускорение и скорость изменения ускорения для изменения доплеровской частоты, характеризующие ее нелинейный характер. При этом

$$\varphi(t) \approx \varphi(t_0) + 2\pi\left\{f_{Д0}(t - t_0) + \frac{1}{2}\cdot f'_{Д0}(t - t_0)^2 + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{6}\cdot f''_{Д0}(t - t_0)^3 + \frac{1}{24}\cdot f'''_{Д0}(t - t_0)^4\right\}. \qquad (7)$$

Таким образом, одной из важнейших задач при формировании РЛИ является оценка параметров закона изменения доплеровской фазы с целью уточнения коэффициентов опорной функции.

На практике, считается достаточным использование лишь двух слагаемых, полученного выражения – доплеровской частоты и скорости ее изменения [2]. В этом случае закон

изменения наклонной дальности от РСА до движущейся цели в соответствии с рис.1 можно записать в виде:

$$R_i(t) = \sqrt{(R + V_P t)^2 + (V t - d_i - V_T)^2} \approx$$

$$\approx R\left[1 + \frac{V_P t}{R} + \frac{3}{8}\frac{(V_P t)^2}{R^2} + \frac{(V - V_T)^2 t^2}{2R^2} - \frac{d_i (V - V_T) t}{R^2} + \frac{d_i^2}{2R^2}\right]. \quad (8)$$

Синтезируем оптимальный алгоритм оценки $f_{Д0}$ и $f'_{Д0}$, считая принимаемый РСА сигнал от распределенной цели импульсным и представляя его суммой сигналов от всех ее элементов:

$$\dot{Y}(t_n) = \sum_{i=1}^{N} \dot{A}_i \exp\left[-j\frac{4\pi}{\lambda} R_i(t_n)\right]. \quad (9)$$

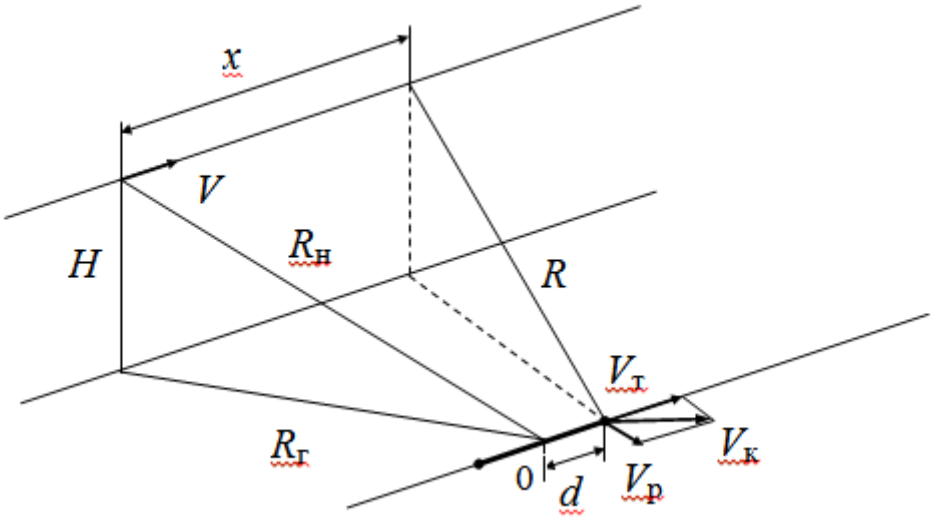


Рис. 1- Геометрические соотношения РСА – движущаяся цель.

Учитывая $V_P \quad V$, $V_T \quad V$ (V_T -тангенциальная скорость) и обозначая:

$$x = V t; \qquad \frac{4\pi}{\lambda R} d_i = \mu_i; \quad \frac{2\pi}{\lambda R} d_i = \beta_0; \quad \frac{4\pi}{\lambda}\frac{V_P}{V} = \alpha_1;$$

$$\frac{4\pi}{\lambda R}\frac{V_T}{V} = \alpha_2, \quad (10)$$

принимаемый сигнал можно представить вектором $\dot{\mathbf{Y}}$:

$$\dot{\mathbf{Y}} = \|\dot{Y}_n\| = \left\| \sum_{i=1}^{K} \dot{A}_i \exp\left[j\left(\mu_i x_n - \alpha_1 x_n + \alpha_2 x_n^2 - \beta_0 x_n^2\right)\right] + \dot{N}_n \right\|. \quad (11)$$

В предположении гауссовской статистики наблюдаемых данных функция правдоподобия определяется выражением [3]:

$$\Lambda(\mathbf{Y}) = \exp\left(-\frac{1}{2}\mathbf{Y}^{*\mathbf{T}}\mathbf{\Phi}^{-1}\mathbf{Y} - \ln|\mathbf{\Phi}| \right), \qquad (12)$$

где $\mathbf{\Phi}$ - корреляционная функция принимаемой реализации, которая зависит от амплитудно-фазового распределения сигнала с K направлений по N элементам синтезированной апертуры. Следовательно, для оптимальной оценки параметров сигнала необходимо знать расположение отражающих элементов цели и значения их эффективных поверхностей рассеяния. Таким образом, многоканальная по доплеровским параметрам схема должна быть многоканальной еще и по портретам целей, что приводит к нереализуемой на практике структуре.

Для сигнала от точечной цели со случайными амплитудой и начальной фазой достаточно реализовать многоканальность только по α_1

и α_2, определяемым радиальной и тангенциальной (V_T) составляющими ее скорости (рис. 2).

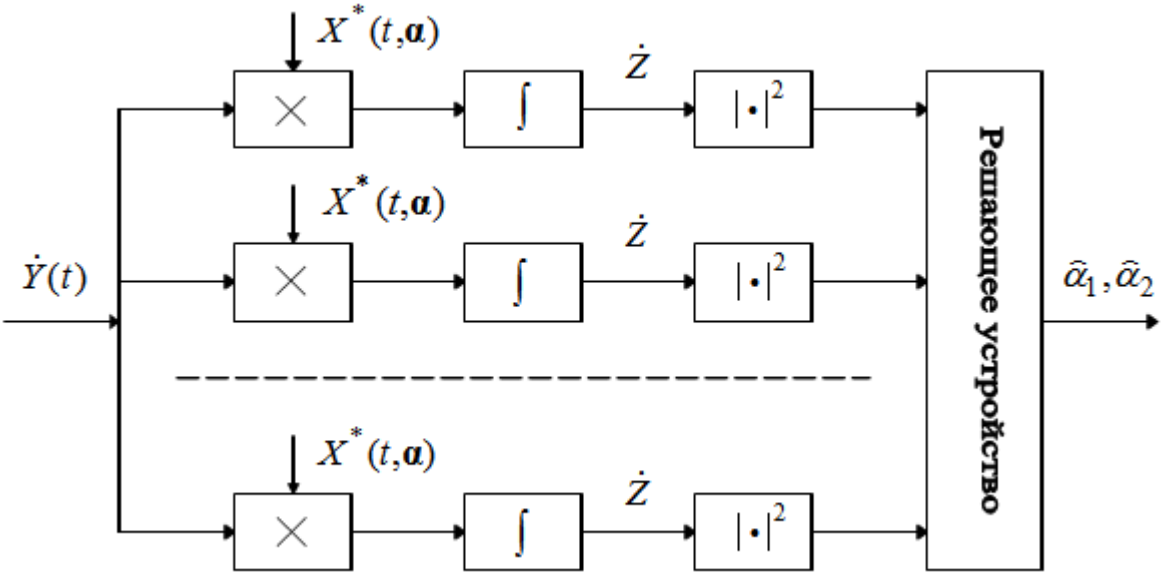


Рис. 2- Блок-схема оптимального алгоритма для точечной цели.

На приведенном рисунке $\dot{Z}$ - корреляционный интеграл:

$$\dot{Z} = \frac{1}{2N_0}\int_{-T/2}^{T/2}\dot{Y}(t)\,X^*(t,\boldsymbol{\alpha})\,dt, \qquad (13)$$

$\dot{Y}(t)$ и $X^*(t)$ отраженный и опорный сигналы:

$$\dot{Y}(t) = A\exp\left[-j\left(\alpha_{1u}t + \alpha_{2u}t^2\right)\right] + \dot{N}(t),$$

$$X^*(t,\boldsymbol{\alpha}) = A\exp\left[-j\left(\alpha_1 t + \alpha_2 t^2\right)\right]. \qquad (14)$$

$\boldsymbol{\alpha} = \{\alpha_1, \alpha_2\}$ - вектор неизвестных доплеровских параметров, а α_{1u} и α_{2u} их неизвестные истинные значения.

Потенциальная точность оценки в данном случае может быть найдена в виде

$$\frac{1}{\sigma^2_{\alpha_1}} = \left\langle \frac{\partial^2 \mathrm{Re}\dot{Z}}{\partial \alpha_1^2} \right\rangle = \frac{T^2 q}{12}, \qquad \frac{1}{\sigma^2_{\alpha_2}} = \left\langle \frac{\partial^2 \mathrm{Re}\dot{Z}}{\partial \alpha_2^2} \right\rangle = \frac{T^4 q}{80}. \tag{15}$$

Поскольку $\left\langle \frac{\partial^2 \mathrm{Re}\dot{Z}}{\partial \alpha_1 \partial \alpha_2} \right\rangle = 0$, то оценки независимы. Далее, используя связь α_1 и α_2 с набегом фазы на краю апертуры $\varphi_1 = \alpha_1 T$, $\varphi_2 = \alpha_2 T^2$ и выражения (15), можно перейти к соответствующим дисперсиям фазы:

$$\sigma^2_{\varphi_1} = \sigma^2_{\alpha_1} T^2 = \frac{12}{q}, \qquad \sigma^2_{\varphi_2} = \sigma^2_{\alpha_2} T^4 = \frac{80}{q}. \tag{16}$$

Преимущество приведенных соотношений в независимости фазовых набегов от времени накопления. При этом может быть найдена потенциальная точность измерения фазы, которая достижима при заданном отношении сигнал/шум. Так, при q = 20 дБ по точечной цели ошибка в измерении составит соответственно $\sigma_{\varphi_1} \approx 20^{\circ}$, $\sigma_{\varphi_2} \approx 51^{\circ}$.

Используя допустимые при обработке фазовые ошибки, найдем:

$$K_{V_P} = \frac{\Delta\varphi_1}{\sigma_{\varphi_1}}, \qquad K_{V_T} = \frac{\Delta\varphi_2}{\sigma_{\varphi_2}}. \tag{17}$$

Полученные выражения определяют количество каналов обработки при неопределенности во взаимном перемещении РСА и точечной цели.

Список литературы:

1. *Зраенко С.М.* Особенности формирования изображения распределенной цели в радиолокаторе с синтезированной апертурой // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань, 2011. – №6. – С.168-171.

2. *Тетерин А.Р., Коберниченко В.Г.* Требования к точности оценки комплекса параметров движения при обработке сигналов в РЛС с синтезированной апертурой // Изв. высш. учеб. заведений. Радиоэлектроника, 1988. – Т.5, №8. – С. 93-95.

3. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. / Под ред. Я.Д.Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.

05.26.01

С. В. Истомин д.т.н., В. Н. Турченко к.т.н.

Поволжский межрегиональный филиал федерального государственного учреждения
«ВНИИ охраны и экономики труда» Минздравсоцразвития России
(ПМФ ФГУ «ВНИИ охраны и экономики труда» Минздравсоцразвития)
России, г. Саратов
istomin@muc.renet.ru, ohrana_truda@muc.renet.ru

К ВОПРОСУ О КАДРОВОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ОХРАНЫ ТРУДА В ОРГАНИЗАЦИЯХ

Нормативные документы перед руководителями предприятий выдвигают ряд требований и рекомендаций по поводу наличия специалиста по охране труда или службы охраны труда. Существуют определенные возможности и сложности, связанные с подготовкой кадров, связанных с управлением охраной труда. Совершенствование кадрового обеспечения охраны труда, решение имеющихся здесь проблем, неразрывно связаны с принятием определенных нормативных актов, регулирующих данную сферу.

Ключевые слова: штатная численность; инженер по охране труда; служба охраны труда; число сотрудников службы охраны труда; ответственный за охрану труда; обучение по охране труда; нормативные правовые акты по охране труда; обязанности; Квалификационный справочник; квалификационные требования; проектные документы

Всем хорошо известен исторический лозунг: «КАДРЫ РЕШАЮТ ВСЕ!». Действительно, именно кадры играют главную роль в производственном процессе, именно от них зависит, насколько эффективно используются на предприятии средства производства и на сколько успешно работает предприятие в целом. Конечно же, это относится и к персоналу, организующему охрану труда на производстве.

В процессе осуществления хозяйственной деятельности любой работодатель сталкивается с вопросами организации и управления охраной труда, регламентацией этого процесса. Работа по охране труда на предприятии очень ответственная и непростая, не только из-за административных функций, но и из-за того, что от качества выполнения такой работы зависят условия труда, сохранение жизни и здоровья всех работников организации.

На малых предприятиях, со штатной численностью до 50 человек, руководители редко вводят должность инженера по охране труда и тем более не создают соответствующую службу (этого законодательство не требует). Чаще всего приказами назначаются ответственные лица за охрану труда. При этом необходимо иметь в виду некоторые нюансы.

На практике бывает главное для руководителя - получить согласие сотрудника быть ответственным (зачастую такая работа - поручение выполняется без дополнительной оплаты). При этом редко берется во внимание наличие знаний и способностей у работника в этой сфере. Ошибочное мнение: «абсолютно любой работник может организовать охрану труда на предприятии без особой подготовки». Лучше будет, если у ответственного высшее техническое образование и если он обучится и пройдет проверку знаний требований охраны труда в обучающей организации (желательно по программе объемом не 40 часов, а не менее 72).

Следует обратить внимание на конкретность поручений по приказу. То есть, не достаточно в приказе только одной формулировки подобной, например, такой: «В соответствии со ст.22 и 212 Трудового кодекса РФ и в целях обеспечения здоровых и безопасных условий труда, соблюдения требований законодательных и нормативных правовых актов по охране труда в организации назначить ответственным за охрану труда

_____ (ФИО). Далее обязательно необходимо прописывать, какие конкретно возлагаются обязанности на данное лицо.

Например:

- организация обучения и проверок знаний требований охраны труда, оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве, безопасным методам и приемам выполнения работ, проведение вводных инструктажей по охране труда, необходимых стажировок на рабочих местах;

- организация приобретения и выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты, смывающих и обезвреживающих средств в соответствии с установленными нормами работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением;

- организация проведения аттестации рабочих мест по условиям труда с последующей сертификацией работ по охране труда;

- и т.д.

В противном случае ответственное лицо не будет иметь четкое представление о круге своих обязанностей. Кстати, в этой ситуации у руководителя не будет достаточных оснований для применения дисциплинарных взысканий к данному лицу, если обнаружатся какие-либо недостатки, нарушения в области охраны труда. На микропредприятиях бывает достаточно введение одного ответственного, а на малых целесообразно закреплять ответственность за разными исполнителями. Например, отдельные специалисты могут быть назначены ответственными за безопасную эксплуатацию электроустановок (ответственный за электрохозяйство), за погрузочно-разгрузочные работы, за проведение производственного контроля и т. д.

На предприятиях с численностью свыше 50 человек Трудовой кодекс РФ (ст. 217) требует создание службы охраны труда или введения должности специалиста по охране труда.

Если речь идет о создании службы, ее рекомендуется организовывать как отдельное подразделение с непосредственным подчинением работодателю. Служба охраны труда осуществляет свою деятельность во взаимодействии с другими службами предприятия, комитетом (комиссией) по охране труда, уполномоченными (доверенными) лицами по охране труда профессиональных союзов или трудового коллектива, а также с органами государственного управления охраной труда, надзора и контроля за охраной труда.

Необходимая численность сотрудников службы охраны труда устанавливается в соответствии с Постановлением Министерства труда РФ от 10.03.95 № 13 "Об утверждении Межотраслевых нормативов численности работников службы охраны труда на предприятии". Необходимое число сотрудников службы охраны труда устанавливается в зависимости от среднесписочной численности работников на предприятии и численности рабочих, занятых на тяжелых, и связанных с вредными условиями труда работах, а также от количества самостоятельных производственных структурных подразделений. На предприятиях со среднесписочной численностью работников до 700 человек функции этой службы могут выполнять отдельные исполнители. При большей численности создается бюро охраны труда со штатом 3-5 единиц (включая начальника), или отдел со штатом от 6 единиц.

В соответствии с Нормативами, численность штата предлагается определять конкретно в зависимости от направлений деятельности работников службы охраны труда (трудоемкости):

- контроль за соблюдением законодательных и иных нормативных правовых актов по охране труда;

- оперативный контроль за состоянием охраны труда на предприятии;

- организация работы по снижению производственного травматизма;

- участие в работе комиссии по контролю за состоянием охраны труда на предприятии;

- участие в планировании мероприятий по охране труда;
- составление отчетности по установленным формам и ведение документации;
- организация пропаганды по охране труда;
- организация проведения инструктажей, обучения, проверки знаний работников предприятия.

Таким образом, общая численность работников службы охраны труда находится путем суммирования нормативов по отдельным направлениям работы этой службы.

Но на практике, к сожалению, руководители организаций редко применяют рекомендации данного документа и часто сотрудники, занятые на этом участке, перегружены в своей деятельности (особенно если они одновременно организуют еще работу по линии пожарной безопасности, электробезопасности, производственной экологии и др.).

Специалист по охране труда организации, главным образом должен следить за четким соблюдением действующих и законодательно закрепленных правил и норм по охране труда. Поэтому он должен хорошо знать актуальные правовые акты, регулирующие охрану труда, в первую очередь, содержащие государственные нормативные требования, особенности применяемого на предприятии оборудования и многое другое.

С другой стороны, квалифицированных дипломированных специалистов, способных обеспечить реализацию государственной политики в области охраны труда на уровне предприятий очень мало, и тому есть объективные причины.

В своей сущности работа в области охраны труда разноплановая и интересная. Но престижность этого участка производственной деятельности не самая высокая. Одной из основных причин этому является низкий статус специалиста по охране труда и, часто, низкий уровень оплаты труда. Поэтому молодежь неохота идет в эту сферу. Да и высшая школа практически не готовит в чистом виде инженеров по охране труда. Вопрос – почему?

Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих включает должность «Инженер по охране труда» (код 22659). Специалист, назначаемый на эту должность должен иметь: высшее профессиональное (техническое) образование без предъявления требований к стажу работы или среднее профессиональное (техническое) образование и стаж работы в должности техника I категории не менее 3 лет либо других должностях, замещаемых специалистами со средним профессиональным (техническим) образованием, не менее 5 лет.

Как видим, особых требований к специальной подготовке в области охраны труда для специалистов этой должности сегодня не существует. Достаточно, например, иметь высшее техническое образование.

К сожалению, можно констатировать, что в общем случае высшее образование (даже высшее техническое) не дает в полном объеме тех знаний, которые необходимо иметь специалисту на участке охраны труда. Так, предусмотренная образовательными стандартами всех направлений первого уровня высшего профессионального образования обязательная дисциплина «Безопасность жизнедеятельности» (БЖД), дает весьма общее и не целостное представление слушателям о системе управления охраной труда в организациях, ее отдельных элементах.

Сегодня, можно считать, более всего профильно связанной с охраной труда подготовку для организационно-управленческой деятельности по специальности «Безопасность технологических процессов и производств», хотя стоит отметить, что из более, чем 2750 ВУЗов нашей страны чуть больше 70 ведут подготовку по данной специальности. Но в любом случае ее выпускники получают квалификацию «инженер» (не «инженер по охране труда»).

Федеральным законом от 18.07.2011 N 238-ФЗ внесены изменения в Трудовой кодекс РФ. В раздел, регулирующий охрану труда, включены новые понятия – «профессиональный риск» и «управление профессиональными рисками». Обязательные и конкретные

требования, процедуры по оценке и управлению профессиональными рисками должны будут регламентировать соответствующие стандарты безопасности труда и иные документы. Так, согласно проекту от 25 ноября 2011 г. Положения о системе управления профессиональными рисками, работодатели должны назначать должностных лиц, ответственных за систему управления профессиональными рисками и наделять их обязанностями и правами, необходимыми для ее функционирования и поддержания в актуальном состоянии (http://www.minzdravsoc.ru). Конечно же, организовать эффективное управление профессиональными рисками можно только при наличии соответствующих подготовленных кадров.

В развитии этой деятельности Минздравсоцразвития России среди мер, направленных на улучшение условий труда, сохранения жизни и здоровья работников, обозначило введение в системе высшего профессионального образования специальности «Охрана труда и управление профессиональными рисками» с разработкой профессионального стандарта в указанной сфере и на его основе – федерального государственного образовательного стандарта. В связи с этим в обозримом будущем предприятия получат возможность иметь компетентных специалистов, способных решать на должном уровне все вопросы, связанные с обеспечением условий и охраны труда на производстве.

Хотелось бы обратить внимание еще на некоторые проектные документы, связанные с вопросами качества кадрового обеспечения охраны труда.

Проект приказа Минздравсоцразвития России от 27 июля 2011 г. предполагает внесение изменений в квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих. Предлагается ввести новые должности «Руководитель службы охраны труда» и «Специалист по охране труда», в требованиях к квалификации которых значится: «Высшее профессиональное образование по специальности «Безопасность технологических процессов и производств» или высшее профессиональное образование и профессиональная переподготовка по специальности «Безопасность технологических процессов и производств» (для руководителя службы охраны труда еще дополнительно - стаж работы на должностях специалистов по охране труда не менее 3 лет). Таким образом, акцентируются требования к специальной подготовке кадров сферы охраны труда. Более востребованной должна стать не имеющая сегодня пока распространения профессиональная переподготовка в этой сфере (с объемом подготовки свыше 500 часов).

Предполагается вступление в силу нового Порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда (в замен действующему, утвержденному Постановлением Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003 г. N 1/29. Проект размещен на http://www.minzdravsoc.ru/docs/mzsr/projects/1221). Предлагается введение дифференцированного объема и новых принципов обучения по категориям слушателей. Руководителям и специалистам служб охраны труда, работникам, на которых приказом работодателя возложены функции специалиста по охране труда предлагается каждые три года проходить обучение по охране труда в объеме 72 ауд. часа.

Согласно проекту федерального закона от 2 ноября 2011 г. «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации» (в части введения процедур подтверждения соответствия условий труда государственным нормативным требованиям охраны труда, в том числе в форме добровольного декларирования по итогам проведения аттестации рабочих мест), организации со штатной численностью до 50 человек не смогут заключать со сторонними физическими лицами гражданско-правовые договоры на осуществление функций службы охраны труда или специалиста по охране труда – только с юридическими лицами, аккредитованными на данный вид услуг (сегодня пока такая возможность у руководителей предприятий согласно ст. 217 Трудового кодекса РФ существует).

05.23.11

Д. В. Кубасов, С. П. Санников к.т.н.

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет
кафедра автомобильные дороги и аэродромы
Россия, г. Тюмень
ksead@tgasu.ru

ФРАГМЕНТИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ОСНОВАНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

В работе предложен новый метод повышения трещиностойкости асфальтобетонного покрытия на жестком основании.

Ключевые слова: фрагментация, трещиностойкость асфальтобетона, жесткие дорожные основания.

В современных условиях на автомобильных дорогах наблюдается существенное увеличение интенсивности движения и рост осевых нагрузок, что требует совершенствования методов конструирования и расчета дорожных одежд, а также применение в конструкциях высокопрочных и долговечных материалов. Одним из оптимальных конструктивных решений при устройстве дорожной одежды является конструкция с использованием жесткого основания, обладающего высокой прочностью и долговечностью. Конструкция дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием на бетонном основании из «укатываемой» смеси хорошо себя зарекомендовала в сложных природно-климатических условиях и повышенной интенсивности движения.

Одним из основных недостатков дорожных одежд жесткого типа с асфальтобетонными покрытиями, является вероятность появления в покрытии температурных трещин.

Существуют различные способы повышения трещиностойкости покрытия с целью увеличения межремонтных срока службы дорожной одежды [1].

Нами предлагается альтернативный метод повышения трещиностойкости асфальтобетонного покрытия на жестком основании – путем фрагментирования цементобетонного основания объемной пластиковой георешеткой.

Применение георешетки позволит уменьшить температурные напряжения в бетонной плите, при этом стенки решетки включаясь в совместную работу плиты будут воспринимать линейные деформации, вызванные колебанием температур.

Использование фрагментируемого цементобетонного основания требует дополнительных первоначальных затрат. Но за счет совместной работы цементобетона и георешетки увеличится срок службы дорожной одежды, тем самым будет получена экономия на ремонтных и эксплуатационных затратах.

Для того, чтобы изучить влияние объемной георешетки на изменение напряжений в бетонной плите, в лаборатории кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы» был поставлен эксперимент. Сущность данного эксперимента заключалась в определении горизонтальных деформаций, возникающих в плите в результате изменения температуры окружающей среды.

Первоначально были изготовлены цементобетонные плиты, соответствующие классу бетона В12,5. Одна из плит была фрагментирована пластиковой георешеткой с размером ячейки 75х75 мм, вторая плита была изготовлена без решетки.

После набора марочной прочности плиты были помещены в морозильную камеру. В камере была установлена реперная система для определения линейных температурных деформаций (рис. 1, фото 1).

Был проведен ряд экспериментов по определению деформаций в бетонной плите при изменении температуры.

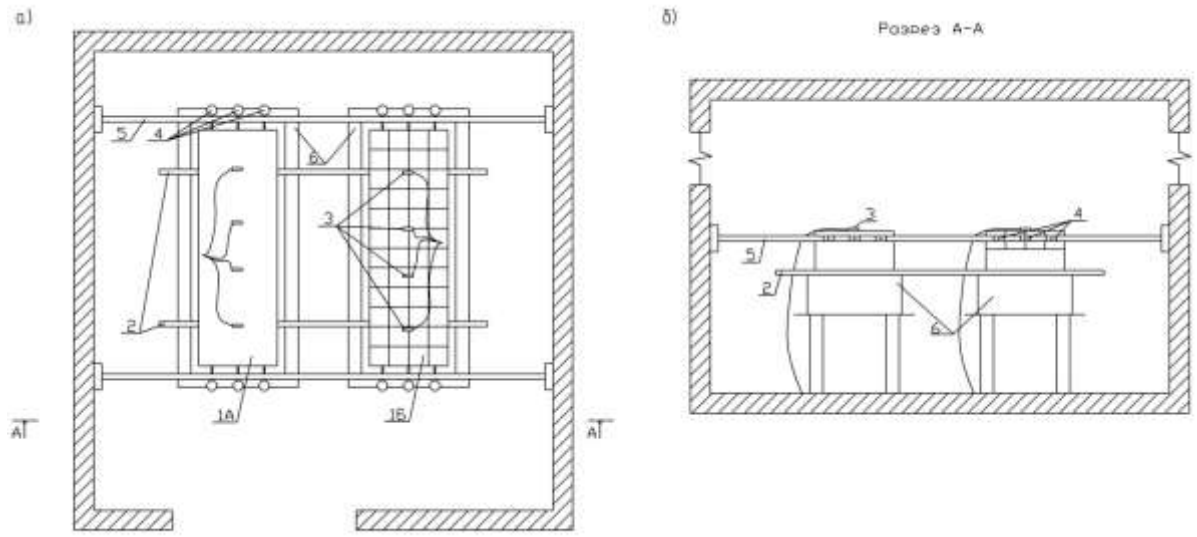


Рис. 1 - Схема экспериментальной установки:
а) план-схема реперной системы в морозильной камере, с размещением экспериментальных плит;
б) поперечный разрез экспериментальной установки.

1А – плита без георешетки, 1Б – плита с георешеткой, 2 – опора плит, 3 – температурные датчики, 4 – индикаторы часового типа, 5 – реперная система крепления индикаторов, 6 – рамная конструкция для размещения плиты.

Фото 1 - Размещение плит в морозильной камере.

Произведено более 35 циклов замораживания и оттаивания экспериментальных бетонных плит. Каждый цикл сопровождался измерением деформаций с применением индикаторов часового типа.

Результаты эксперимента показали, что действительно происходит снижение линейных деформаций в плите, фрагментированной пластиковой георешеткой. Среднее эмпирическое значение линейных деформаций у фрагментированной бетонной плиты снизилось на 44 - 67% (рис. 2).

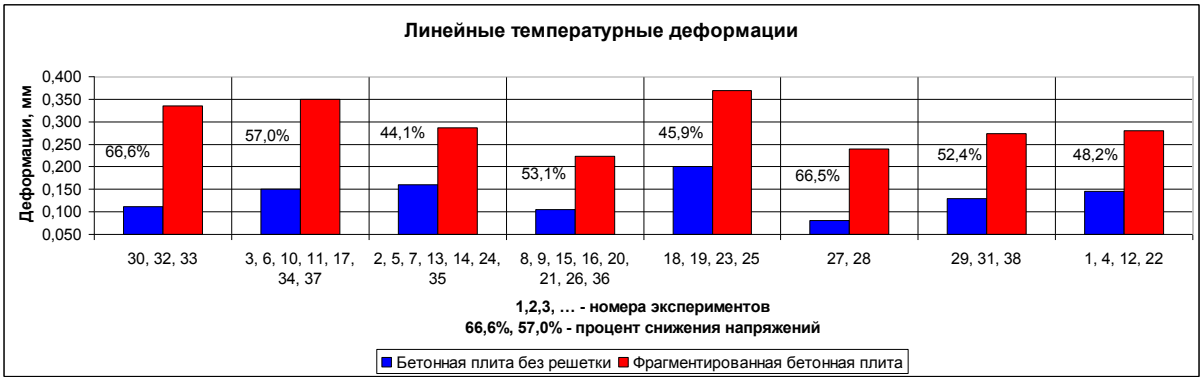


Рис. 2 - Результаты измерений температурных деформаций цементобетонных плит.

Снижение температурных деформаций приведет к уменьшению внутренних напряжений в бетонной плите, что в свою очередь повысит трещиностойкость слоя асфальтобетонного покрытия [2].

Экспериментальные данные будут в дальнейшем сопоставлены с ранее полученными теоретическими зависимостями [3].

Список литературы:

1. Кретов В.А. Технологические дороги нефтегазового комплекса Западной Сибири из местных материалов. – М.: Информавтодор, 1999. – 160 с.

2. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд *(взамен ВСН 197-91)/* Минтранс России, Гос. Служба дор. хоз-ва (Росавтодор). – М.: ФРУП «ИНФОРМАФТОДОР», 2004. - 135 с.

3. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири». – Тюмень, 2011. – 298 с.

05.17.01

С. В. Лановецкий к.т.н., С. В. Островский д.т.н., П. В. Серый

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

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТАДИИ РОСТА КРИСТАЛЛА КАРБАМИДА ПРИ ПОСТОЯННОМ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИИ

Приведены результаты исследований скорости роста кристаллов карбамида. Получены данные по влиянию различных факторов на скорость роста кристаллов в пересыщенных растворах карбамида. Определено влияние температуры раствора на механизм роста кристаллов.

Ключевые слова: карбамид, скорость роста кристалла, кристаллизация, механизм роста.

В промышленности производство карбамида представляет собой сложный технологический процесс, состоящий из нескольких стадий, в результате которых получается готовый продукт [1]. Переработка водных растворов карбамида является одной из важных стадий в производстве, так как именно она определяет качества готового продукта. Существуют два основных способа выделения карбамида из водного раствора: выпаривание воды до состояния плава и предварительная кристаллизация из раствора с последующим плавлением кристаллического продукта и его грануляции.

Недостатком первого способа является высокое содержание биурета в готовом продукте, что резко снижает его потребительские качества. Второй способ, основанный на предварительной кристаллизации, позволяет получать продукт с минимальным содержанием биурета. Однако из-за того, что во время процесса кристаллизации образуется неоднородный по гранулометрическому составу продукт с высоким содержанием пылевидных фракции, возникает ряд проблем. Во-первых, это приводит к потерям карбамида с пылеуносом. Во-вторых, к проблемам с отложениями на стенках пневмотранспорта и необходимостью регулярной его промывки.

Чтобы решать задачи, связанные с улучшением свойств кристаллических соединений, необходимо иметь четкие представления о кинетических закономерностях образования и роста частиц фазообразующего вещества.

Целью настоящей работы является исследование кинетических закономерностей процесса роста кристаллов карбамида в условиях постоянных переохлаждений в температурном интервале 20-50^{o}C.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследованию подвергались закрепленные на кристаллодержателе кристаллы карбамида, находившиеся в растворе с определенным переохлаждением в термостатированной оптической кювете. Для исследований выбирали кристаллы столбчато-призматической формы, полученные кристаллизацией карбамида квалификации «Ч». Регистрацию величины прироста граней кристалла осуществляли при помощи микроскопа «МБС-1» и цифровой камеры Webbers MYscope 560MCCD. Относительная погрешность измерений линейных размеров закрепленного кристалла составляла 4-5%. Обработку цифровых изображений кристаллов проводили с использованием компьютерной программы ScopePhoto.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты измерений скоростей роста представлены на рис. 1. Относительная величина химического сродства *A*/*RT* (движущая сила процесса [2]) кристаллизации карбамида, определялась по формуле:

$$\frac{A}{RT} = \ln(s)^{\lambda}, \qquad (1)$$

где s – коэффициент пересыщения раствора; λ – число частиц в молекуле электролита, *R* – универсальная газовая постоянная; *T* – абсолютная температура раствора.

Из рисунка видно, что скорость роста граней кристалла карбамида повышается с увеличением переохлаждения раствора. Причем, чем выше температура насыщения раствора, тем более интенсивно изменятся скорость роста кристалла.

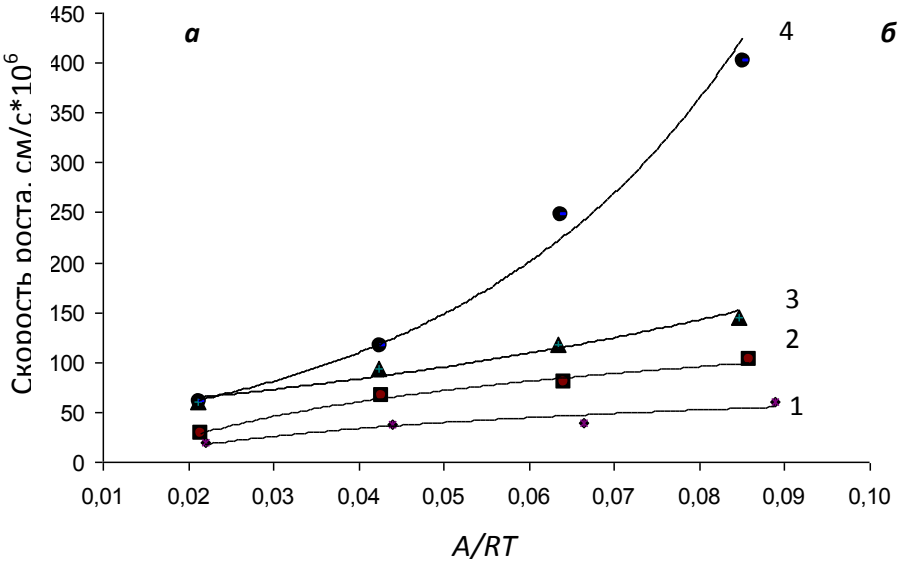


Рис. 1 – Зависимость скорости роста фронтальной грани кристалла от движущей силы процесса при различных температурах насыщения:
1 – $t_{нас}$ = 20°C; 2 – $t_{нас}$ = 30°C; 3 – $t_{нас}$ = 40°C, 4 – $t_{нас}$ = 50°C.

Основными стадиями роста кристаллов являются диффузия кристаллизуемого вещества из объема раствора к поверхности кристалла, адсорбция его на поверхности, миграция простейших частиц по поверхности и встраивание их в кристаллическую решетку по тому или иному механизму. Исследования скорости роста кристалла карбамида показали, что формирование граней кристалла осуществляется по сложному нуклеарно-дислокационному механизму и удовлетворительно описывается уравнением [3] (величина достоверной аппроксимации *r* =0,99):

$$V=k_1+k_2\cdot\exp(-k_3/\ln s), \qquad (2)$$

где *V* – скорость роста кристалла, выраженная в мм/с; k_1, k_2 и k_3 эмпирические коэффициенты, зависящие от температуры кристаллизации; *s* – коэффициент пересыщения раствора.

Помимо уравнения (2), зависимости скорости роста кристалла карбамида от коэффициента пересыщения раствора удовлетворительно описываются уравнением Гилмера-Биннемы [4] (величина достоверной аппроксимации *r* =0,96):

$$V = A(1+\ln s)\cdot(\ln s)\exp(-B/\ln s), \qquad (3)$$

где *A* и *B* эмпирические коэффициенты, зависящие от физических параметров системы.

Для практических целей удобно пользоваться эмпирическим уравнением зависимости скорости роста кристалла от относительного пересыщения – σ [5] (коффициент достоверной аппроксимации r = 0,98):

$$V = k\,\sigma^{g}, \qquad (4)$$

где k и g – эмпирические константы.

Зависимость влияния температуры кристаллизации на скорость роста кристалла представлена на рис. 2.

Зависимость влияния температуры кристаллизации на скорость роста кристалла представлена на рис. 2.

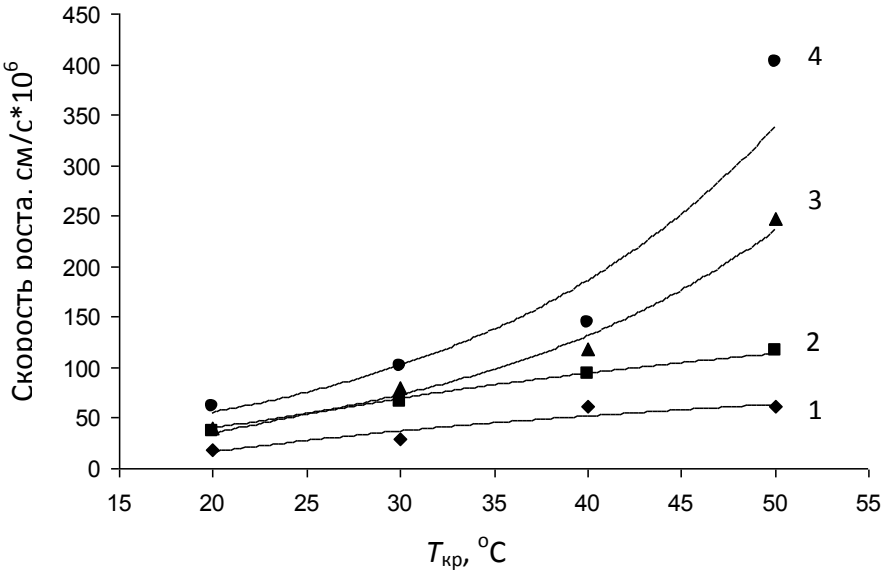


Рис. 2 – Зависимость скорости роста фронтальной грани кристалла от температуры кристаллизации при различных переохлаждениях: 1 – ΔT=1°C; 2 – ΔT=2°C; 3 – ΔT=3°C; 4 – ΔT=4°C.

Анализ данных, представленных на рисунке, показывает увеличение скорости роста грани кристалла в зависимости от температуры насыщения раствора карбамида. Наиболее динамичные изменения протекают при переохлаждении в 4°C. Так скорость роста фронтальной грани карбамида при температуре 50°C превышает скорость роста этой же грани при температуре 20°C в 6,5 раз.

Увеличение скорости роста кристалла с повышением температуры непосредственно вытекает из общих положений теории кристаллизации. Так с повышением температуры увеличивается коэффициент диффузии и уменьшается толщина ламинарного слоя.

Изменение скорости роста фронтальной и боковой грани карбамида при переохлаждении в 1 и 2°C описывается логарифмической зависимостью:

$$V = a\,\ln(T_{нас}) - b \qquad (5)$$

где a и b эмпирические константы, зависящие от переохлаждения раствора (табл. 1).

Таблица 1 – Эмпирические константы уравнения (5)

Константы	Фронтальная грань		Боковая грань	
	ΔT=1°C	ΔT=2°C	ΔT=1°C	ΔT=2°C
a	51,76	86,83	3,47	8,58
b	138,63	225,59	4,32	9,84

При переохлаждениях $\Delta T \geq 3^oC$ Изменение скорости роста граней кристалла при переохлаждении, выражается уже экспоненциальной зависимостью:

$$V = ae^{(b\ T\text{нас})} \qquad (6)$$

где a и b эмпирические константы, зависящие от переохлаждения раствора (табл. 2).

Таблица 2 – Эмпирические константы уравнения (6)

Константы	Фронтальная грань		Боковая грань	
	ΔT=3°C	ΔT=4°C	ΔT=3°C	ΔT=4°C
a	12,68	16,85	2,37	2,47
b	0,058	0,060	0,029	0,039

Анализ табличных данных показал, что с ростом пересыщения возрастают и эмпирические константы представленных уравнений.

Одним из важных параметров, влияющих на скорость роста, является интенсивность перемешивания жидкой фазы, скорость ее движения относительно поверхности твердой частицы. При постоянной температуре и неизменной степени пересыщения раствора скорость роста может значительно изменяться с изменением числа оборотов мешалки. Результаты проведенных исследований по влиянию чистоты вращения перемешивающего устройства на скорость роста кристалла представлены на рис. 3.

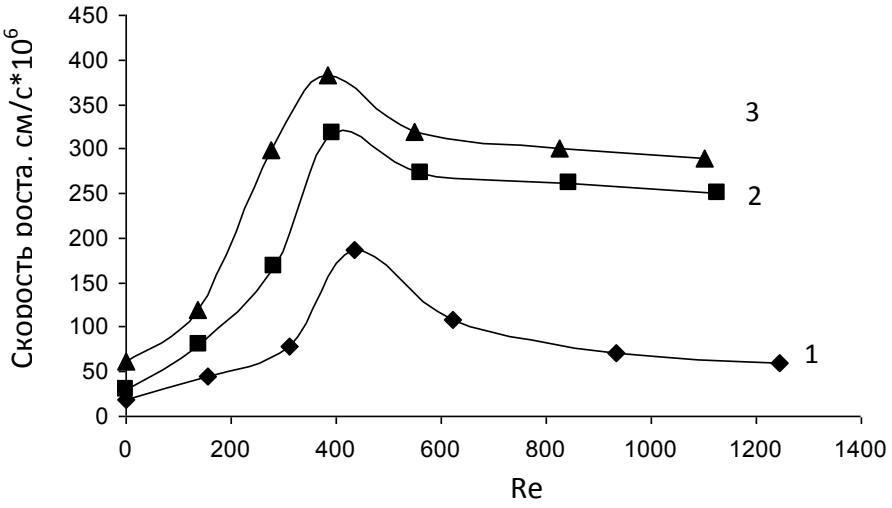


Рис. 3 – Зависимость скорости роста кристалла $CO(NH_2)_2$ от интенсивности перемешиваемого раствора при ΔT=1°C: 1 – Тнас=20°C, 2 – Тнас=30°C, 3 – Тнас=40°C.

Из рисунка видно, что кристаллы карбамида имеют явный максимум скорости роста при Re = 385÷430 , а при дальнейшем увеличении интенсивности перемешивания раствора скорость роста кристалла начинает снижаться, стабилизируясь при $Re \geq 800$. Данный эффект вероятно имеет следующее объяснение. При малых скоростях вращения на рост кристалла оказывает влияние диффузионное воздействие, и скорость роста кристалла увеличивается вследствие увеличения скорости диффузии вещества к поверхности кристалла. Однако при увеличении интенсивности вращения сверх Re = 430 удаление блоков с поверхности грани начинает превышать положительный эффект ускорения диффузионного подвода вещества. Строительные блоки как бы смываются с поверхности кристалла за счет гидравлических сил и соударений кристаллических частиц, в результате чего скорость роста кристалла снижается.

Скорость роста кристалла пропорциональна движущей силе процесса. Но наличие движущей силы еще не определяет, будет ли идти процесс и с какой скоростью. Это зависит от силы сопротивления. Дело в том, что частицы в жидкости, кристалле или на его поверхности находятся в «потенциальных ямах» будучи связанными, с окружающими частицами. Для того, чтобы совершить перескок в соседнее равновесное положение при акте диффузии (из раствора на кристалл), частице требуется разорвать часть своих связей с соседями, то есть преодолеть некоторый энергетический барьер [6]. Высота барьера определяется энергией активации.

В результате произведенных расчетов величина кажущейся энергии активации процесса встраивания вещества в кристалл карбамида $E_{пр}$ составила 9,911 кДж/моль, а величина кажущейся энергии активации обратного процесса $E_{обр}$ = 24,431 кДж/моль.

По величине кажущейся энергии активации можно судить о лимитирующей стадии процесса. Известно, что если энергия не превышает 20 кДж/моль то процесс протекает в диффузионной области, иначе – в кинетической [7]. В случае карбамидом можно заключить о том, что кристаллизация протекает в диффузионной области.

Таким образом, по результатам проведенных исследований установлены основные кинетические закономерности роста кристаллов карбамида, которые позволять глубже понять механизм процесса встраивания вещества в кристаллическую решетку.

Список литературы:

1. *Горловский Д.М., Альтшулер Л.Н., Кучерявый В.И.* Технология карбамида. – Л.: Химия, 1981. – 320с.

2. *Трейвус Е.Б.* Введение в термодинамику кристаллогенезиса. – Л.: Ленингр. ун-т, 1990. – 152с.

3. *Botsaris G.D., Denr E.G.* Growth Rates of Aluminum Potassium Sulfate Crystals in Aqueous Solutions // Ind. Eng. Chem. Fundam. – 1970, Vol. 9, №2. P. 276-283.

4. *Gilmer G.H., Bennema P.* Simulation of Crystal Growth with Surface Diffusion //J. Appl. Phys. – 1972. – Vol. 43. P. 1347-1360.

5. *Nyvlt J., Sohnel O., Matuchova M., Broul M.* The Kinetics of Industrial cristallization. – Prague: Academia, 1985. – 350p.

6. *Петров Т.Г., Трейвус Е.Б., Пунин Ю.О., Касаткин А.П.* Выращивание кристаллов из растворов. – Л.: Недра, 1983. – 200с.

7. *Трейвус Е.Б.* Кинетика роста и растворения кристаллов. – Л.: Ленингр. ун-т, 1979. – 246с.

05.18.04

М. А. Леонова

Донской государственный аграрный университет
факультет биотехнологии, товароведения и экспертизы товаров
кафедра технологии молока и пищевой биотехнологии
Россия, п. Персиановский
M.LeonovaA@mail.ru

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕННОГО СЫВОРОТОЧНОГО КИСЛОМОЛОЧНОГО НАПИТКА С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

В статье представлены исследования по разработке технологии молочно-сывороточного продукта профилактического назначения с различными соотношением молока и молочной сыворотки, обогащенного солодовым экстрактом ячменя, для биокоррекции питания людей.

Ключевые слова: молочная сыворотка, солодовый экстракт ячменя, обогащение.

Состояние здоровья населения по данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) имеет тенденцию к ухудшению и характеризуется увеличением числа лиц, страдающих различными заболеваниями. Речь идет о таких заболеваниях как: гипертоническая болезнь, атеросклероз, ишемическая болезнь сердца, ожирение, желчно - и почечнокаменная болезнь, диабет, заболевания желудочно-кишечного тракта и многие другие. Все эти болезни наиболее часто связывают с неправильным питанием.

Создание новых продуктов с широким спектром защитных функций и ознакомление с ними потребителя различными рекламными способами останутся актуальными и острыми до тех пор, пока ситуация со здоровьем общества не претерпит качественных изменений. Таким образом, здоровая пища является важнейшим глобальным трендом современного рынка продуктов питания.[3]

Вовлечение в сферу производства продуктов, традиционно считавшихся отходами пищевого производства, также позволяет расширить ассортимент продукции пищевого, технического и кормового назначения. Одновременно возникает возможность организации малоотходного и безотходного производств.[2]

Целью работы является разработка технологии обогащенного сывороточного продукта профилактического назначения с различным соотношением молока и сыворотки с добавлением функционального ингредиента - солодового экстракта ячменя. На основании поставленной цели сформирована рабочая гипотеза, в основе которой лежит предположение, что солодовый экстракт ячменя окажет положительное влияние на кислотообразующую способность полезной микрофлоры в процессе ферментации молочнокислыми бактериями рода Str. thermophilus, Lb.acidophilus, а также комбинацией штаммов бифидобактерий b.longum, b.bifidum, b.infantis, вследствие содержания в нем свободных аминокислот, моносахаридов, ферментов, а также макро- и микроэлементов, способствующих ускорению адаптации микроорганизмов закваски, что позволит интенсифицировать технологический процесс, а так же, повысит биологическую ценность выработанного продукта.

В соответствии с целями и задачами исследований был проведен анализ аминокислотного, углеводного, витаминного, минерального состава солодового экстракта ячменя.

Для проведения анализа был взят образец солодового экстракта с Новочеркасского пивзавода. Исследования проводились на базе лаборатории ДонГАУ и в центре «Биотест» МГУ прикладной биотехнологии.

В результате проведенных исследований установлено, что в составе ячменного солодового экстракта преобладают такие составляющие, как глутаминовая кислота (1140.2±0.01 мг/100г продукта), аспарагиновая кислота (960±0.04 мг/100г продукта), лизин (696±0.04 мг/100г продукта), аминокислота изолейцин (738.1±0.08мг/l00г продукта). Общее количество незаменимых аминокислот составило 37.3% .

Так же, в результате исследования было выявлено, что солодовый экстракт содержит значительное количество биологически активных веществ, а именно 8 водорастворимых витаминов, среди которых преобладают такие витамины как аскорбиновая кислота (l43±2.15мкг/l00г продукта), минеральные вещества как железо (7400±0.34мг/100г продукта), цинк (2710±0.13мг/100г продукта) и др. Углеводный состав представлен смесью моно- и олигосахаридов, пищевыми волокнами.

В свежей молочной сыворотке белковые частицы находятся в нативном состоянии. Нагревание ведет к частичной или полной денатурации белков. При разработке технологии кисломолочного продукта с комбинированной молочной основой было необходимо учитывать температурный режим, при котором потеря ценных сывороточных белков будет минимальна. В результате исследований была установлена наиболее рациональная температура пастеризации творожной сыворотки – 72^0С, с выдержкой 10-15 секунд, поскольку при этой температуре наблюдается минимальное выпадение ценных сывороточных белков, обладающих иммунными свойствами.

В результате проведения реологических исследований по количеству выделившейся сыворотки методом центрифугирования было определено количество сыворотки, и молока для составления молочно-сывороточной смеси и выбрано рациональное соотношение: 70% сыворотки и 30% молока.

Дозу внесения в молочную основу солодового экстракта определяли в зависимости от интенсивности кислотообразования во время сквашивания и органолептических показателей сгустков.

При исследовании нескольких образцов с различными концентрациями солодового экстракта определено, что наиболее рациональная концентрация солодового экстракта составляет 7% от массы нормализованной смеси, скорость кислотообразования по сравнению с контролем увеличилась в 1.7 раза. Кислотность готового сгустка - 80^0Т.

Одним из важных факторов показателей качества продукции является консистенция. С использованием методов инженерной реологии были проведены исследования основных структурно - механических показателей сгустков, вырабатываемых резервуарным способом с различным содержанием солодового экстракта ячменя.

В результате проведенных исследований установлено, что внесение солодового экстракта ячменя в разных концентрациях влияет на изменение реологических свойств напитка. Наблюдается повышение вязкости продукта с увеличением концентрации вносимого солодового экстракта ячменя, за счет содержания в нем пищевых волокон, которые также являются основными структурообразователями в производстве пищевых продуктов - гемицеллюлозы и пектина.

Изучение хранимоспособности готового продукта проводили в процессе термостатирования при температуре 4±2^0С в течение 12-ти дней. Критерием оценки данного показателя были изменения органолептических свойств. Таким образом, хранимоспособность готового продукта составляет - 10 суток, без изменения органолептических показателей, при температуре 4±2^0С. Увеличение продолжительности сроков хранения готового продукта, по сравнению с другими кисломолочными продуктами, связано, вероятно, с бактерицидными свойствами солодового экстракта ячменя.

Следующим этапом исследований явилось изучение химического состава готового продукта.

Витамины и антиоксиданты - к ним относятся витамины А,С, витамины групп В, являясь функциональным ингредиентом играют важную роль в позитивном питании. Они

участвуют в метаболизме, стимулируют иммунную систему организма стараясь предупредить такие заболевания, как цинга и бери-бери. К антиоксидантам относится витамин С. Эти вещества замедляют процессы окисления насыщенных жирных кислот, входящих в состав липоидов, путем взаимодействия с ними, а также разрушают уже образовавшиеся перекиси.[1] На основании этого были проведены исследования витаминного состава выработанного продукта, которые представлены в таблице 1.

Анализируя данные таблицы 1 можно отметить, что выработанный кисломолочный продукт отличается от контроля по количественному составу. Содержание пиридоксина увеличилось в 5.8 раз (0.115±0.001 мг/100г против 0.02±0.002мг/100г), витамина А в 2 раза (0.04±0.002мг/100г против 0.02±0.002мг/100г соответственно), рибофлавина в 1.4 раза (0.16±0.001мг/100г против 0.12±0,001 мг/100г соответственно), биотина в 1.3 раза (4.24±0.01 мг/100г против 3.28±0.02мг/100г) тиамина в 11.6 раз (0.35±0.01мг/100г против 0.03±0.001мг/l00г), витамина С в 1.2 раза (0.83±0.01мг/l00г против 0.70±0.02мг/l00г).

Таблица1- Витаминный состав выработанного продукта

Витамины	Молоко пастеризованное и заквашенное болгарской палочкой (контроль)	Кисломолочный продукт с солодовым экстрактом (30% молока, 70% сыворотки)
Витамин А, мг	0.02±0.002	0.04±0.002
Тиамин (B_1), мг	0.03±0.001	0.35±0.01
Рибофлавин (B_2), мг	0.12±0.001	0.16±0.001
Пиридоксин (B_6),мг	0.02±0.002	0.115±0.001
Витамин С, мг	0.70±0.02	0.80±0.01
Фолиевая кислота, мкг	7.4±0.02	7.52±0.02
Биотин, мкг	3.28±0.02	4.24±0.01

Структурно-механические характеристики так же представляют особенный интерес при производстве кисломолочных продуктов, особенно резервуарным способом. При исследовании структурно-механических свойств готового продукта, установлено, что он обладает тиксотропными свойствами. Восстанавливаемость структуры напитка составляет 84%. Что позволяет организовать производство данного продукта резервуарным способом.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что обогащенный сывороточный кисломолочный продукт может быть рекомендован для коррекции питания лиц, страдающих заболеваниями сердечно-сосудистой системы (сопровождающимися повышением уровня холестерина в крови), нарушениями обмена веществ, различными заболеваниями ЖКТ, при пониженной сопротивляемости организма, вследствие перенесения различных заболеваний, в том числе и инфекционных, при недостатке важных алиментарных веществ в рационе питания, при снижении умственной активности, особенно в подростковом и пожилом возрасте. А результаты исследований доказывают эффективность использования солодового экстракта ячменя в качестве ценной функциональной биологически активной добавки, которая не только повысит пищевую ценность продукта, но и позволит значительно интенсифицировать технологический процесс.

Список литературы:

1. Баринов Э.В. Перспективы применения антиоксидантов в пищевых продуктах / Под ред. Протопович И.И., Титова Е.И., Тихомировой Н.А. // Кафедре технологии молока и молочных продуктов МГУПБ 60 лет: Научное издание – М.: МГУПБ, 2005, 187 с.

2. Евдокимов И.А. Современное состояние и перспективы переработки молочной сыворотки // Молочная промышленность -2006. №2. с. 34-36.

3. Шендеров Б.А. Современное состояние и перспективы развития концепции "Функциональное питание" // Пищевая промышленность. -2003. №5.

05.13.18

А. А. Ляпина, Т. Ф. Мамедова к.ф.-м.н.

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева
математический факультет
кафедра прикладной математики
Россия, г. Саранск
lyapina@e-mordovia.ru, mamedova@math.mrsu.ru

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЛЬТЕРРОВСКОГО ТИПА

В работе приведен новый подход к исследованию устойчивости решений одной системы дифференциальных уравнений вольтеровского типа.

Ключевые слова: устойчивость, асимптотическая устойчивость по части переменных, система обыкновенных дифференциальных уравнений.

В настоящее время большое внимание уделяется изучению методов исследования процессов эволюции различных сообществ, в том числе одной из центральных проблем математической экологии - проблеме устойчивости и стабильности экосистем. На сегодняшний день существует множество разработанных подходов решения данной задачи. Настоящая работа посвящена изучению процессов изменения структуры взаимодействующих сообществ в экологии, описываемых нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями. Для исследования одной из основных задач системной динамики - оценки устойчивости систем применяется метод сравнения Е.В. Воскресенского [1].

Алгоритм метода сравнения Воскресенкого состоит в следующем.

Рассмотрим уравнения

$$\dot{x} = A(t)x + f(t,x), \qquad (1)$$

$$\dot{y} = A(t)y, \qquad (2)$$

где $A(\cdot):[T,+\infty) \to Hom(R^n,R^n)$, $f \in C^{(0,1)}(R^1_+ \times R^n, R^n)$.

Решение $x(t:t_0,x_0)$ уравнения (1) существует для всех начальных условий $(t_0,x_0) \in T \times R^n$ и $t \in T$, $T=[0,+\infty)$. Предположим так же, что уравнение (1) имеет решение $x(t) \equiv 0$.

Рассмотрим множества $N_0 \subseteq M \subseteq M_0 \subseteq \overline{M}_0 \subseteq N$, где $N=\{1,2,\ldots,n\}$; Пусть выполняются условия:

1. $\left|f_j(t,x_j,\ldots,x_n)\right| \le \lambda_j\left(t,\left|x_{j_1}\right|,\ldots,\left|x_{j_q}\right|\right)$, $\forall j \in N$, $\{j_1,\ldots,j_q\} \in M_0$;

$\lambda_j:[T,+\infty)\times R^q_+ \to R^1_+$, $R^1_+=[0,+\infty)$, $\lambda_j \in C([T,+\infty)\times R^q_+)$, $\lambda_j(t,r_1,\ldots,r_i,\ldots,r) \le$

$\le \lambda_j(t,\bar{r}_1,\ldots,\bar{r}_i,\ldots,\bar{r}_q)$, $r_i \le \bar{r}_i, i=\overline{1,q}$ при всех $t \in [T,+\infty)$.

2. $R_0=\{x: x\in R^n, x=colon(x_1,\ldots,x_n), x_j=0, j\ne \overline{M}_0\}$.

3. Фундаментальная матрица $Y(t)=(y_{ij}(t)), i,j=\overline{1,n},$ нормирована в точке

$t_0 \in [T_0,+\infty), T_0 \ge T$, $Y^{-1}(t)=(y^{ji}(t)), i,j=\overline{1,n}$.

4. Эталонные функции сравнения $\mu_i : [T,+\infty) \to R^1_+, m_i : [T,+\infty) \to R^1_+$ удовлетворяют неравенствам $\mu_i \geq \max\limits_{j \in N_0} |y_{ij}(t)|$, $T_0 \leq t_0 \leq t < +\infty$, $i \in M_0$, если $N_0 \neq 0$; если $N_0 = 0$, то $\mu_i \geq 0$; $m_i(t) \geq \max\left\{\max\limits_{j \in M_0} |y_{ij}|, \mu_i(t)\right\}$, $T_0 \leq t < +\infty$, $i \in M_0$.

5. Пусть $J_i(t,\varphi) = \int\limits_{t_0}^{t} \sum\limits_{\substack{j \in M \\ k \in B}} y_{ik}(t) y^{jk}(s) f_j(s, \varphi(s)) ds - \int\limits_{t}^{+\infty} \sum\limits_{\substack{j \in N \\ k \in M}} y_{ik}(t) y^{jk}(s) f_j(s, \varphi(s)) ds$, $B = N \setminus M$, $J_i(t,\varphi)$ существует $\forall i \in N$, $c \in \mathrm{R}^1_+$ и $J_i(t,\varphi) = o(\mu_i(t))$ при $t \to +\infty$ и всех $i \in M_0$. Несобственные интегралы сходятся равномерно по t на любом компакте из $[T;+\infty)$.

6. Все решения уравнения $\dfrac{dz}{dt} = \sum\limits_{k,j \in N} |y^{jk}(t)| \lambda_j(t, zm(t))$ определены на компакте $[T,+\infty]$.

Тогда справедлива следующая теорема.

Теорема 1. Пусть уравнения (1) и (2) асимптотически эквивалентны по Брауеру, условие (5) имеет место равномерно относительно $0 < c < +\infty$ при $t \to +\infty$ и $J_i(t,c)/\mu_i(t) \to 0$ равномерно по t при $c \to 0$, $\mu_i(t) \to 0$, $\forall t \in [T,+\infty)$, $\forall i \in M_0$. Тогда для того, чтобы тривиальное решение уравнения (2) было устойчиво (асимптотически устойчиво) по части переменных, необходимо и достаточно, чтобы уравнение (3) было устойчиво (асимптотически устойчиво) по той же части переменных.

Применим этот метод к исследованию устойчивости решений системы дифференциальных уравнений вольтерровского типа [2]:

$$\begin{cases} \dfrac{dx_1}{dt} = x_1\left(r\left(1 - \dfrac{x_1}{K}\right) - \dfrac{x_2}{x_1 + p}\right) - H, \\ \dfrac{dx_2}{dt} = x_2\left(-d + \dfrac{kx_1}{x_1 + p}\right), \end{cases} \qquad (3)$$

где x_1, x_2 - численность популяций жертвы и хищника соответственно. Если популяция жертв отсутствует, то размер популяции хищников растет со скоростью r. K > 0- удельный коэффициент рождаемости «хищника»; p > 0 - эффективный коэффициент популяционного роста численности популяций (выражает влияние на скорости роста – гибели каждой популяции при наличии другой популяции), d > 0– скорость естественной гибели популяции хищников в единицу времени в расчете на одного хищника в отсутствии жертв, емкость среды ограничена величиной K, и безграничный рост жертв в отсутствии хищника невозможен. Эта величина, называемая емкостью популяции, определяется ограниченностью пищевых ресурсов, многими факторами, которые могут быть различными для разных видов. Таким образом, емкость экологической ниши представляет собой системный фактор, который определяет ограниченность роста популяции в данном ареале обитания.

H – константа - верхний порог численности популяций жертв. $g(x_1) = r\left(1 - \dfrac{x_1}{K}\right)$ - удельная скорость роста популяции жертв в отсутствии популяции хищника, причем

$g(x_1) \geq 0$ - непрерывна и убывает по x_1. $\varpi(x) = \dfrac{x_1}{x_1 + p} > 0$, $\left(\dfrac{x_1}{x_1 + p}\right)' > 0$ - функция взаимодействия видов.

Положение равновесия (x_1^*, x_2^*) системы (1) определяется следующим образом:

$$x_1^* = \varpi^{-1}\left(\frac{d}{k}\right), \quad x_2^* = \frac{d}{k}\left(x_1^* g(x_1^*) - H\right),$$

где $x_1^* g(x_1^*) > H$.

Для численной реализации выберем систему (3) с параметрами: $r = 2$, $K = 50$, $H = 10$, $p = 40$, $d = 3$, $k = 6$.

$$\begin{cases} \dfrac{dy_1}{dt} = y_1\left(2\left[1 - \dfrac{y_1}{50}\right] - \dfrac{y_2}{y_1 + 40}\right) - 10, \\ \dfrac{dy_2}{dt} = y_2\left[-3 + \dfrac{6y_1}{y_1 + 40}\right]. \end{cases}$$

Точка (40; 12) – положение равновесия системы (4).

Сделаем замену переменных: $y_1 = x_1 + 40$, $y_2 = x_2 + 12$ и перейдем к исследованию нулевого решения системы:

$$\begin{cases} \dfrac{dx_1}{dt} = (x_1 + 40)\left(2\left(1 - \dfrac{x_1 + 40}{50}\right) - \dfrac{x_2 + 12}{x_1 + 80}\right) - 10; \\ \dfrac{dx_2}{dt} = (x_2 + 12)\left(-3 + \dfrac{6(x_1 + 40)}{x_1 + 80}\right), \end{cases} \qquad (4)$$

или

$$\begin{cases} \dfrac{dx_1}{dt} = 2x_1 + 70 - \dfrac{(x_1 + 40)(x_1 + 40)}{50} - \dfrac{(x_1 + 40)(x_2 + 12)}{x_1 + 80}; \\ \dfrac{dx_2}{dt} = -3x_2 - 36 + \dfrac{6(x_1 + 40)(x_2 + 12)}{x_1 + 80}. \end{cases}$$

Соответствующая система первого линейного приближения имеет вид:

$$\begin{cases} \dfrac{dy_1}{dt} = 2y_1; \\ \dfrac{dy_2}{dt} = -3y_2. \end{cases} \qquad (5)$$

Фундаментальная матрица системы (5) и обратная к ней имеют вид:

$$Y(t) = \begin{pmatrix} 2e^{2t} & 0 \\ 0 & -3e^{-3t} \end{pmatrix}; \quad Y^{-1}(s) = \begin{pmatrix} 0{,}5e^{-2s} & 0 \\ 0 & -\dfrac{1}{3}e^{3s} \end{pmatrix}.$$

Множество $N = \{1,2\}$, $\overline{M}_0 = N$, тогда справедливы оценки компонент вектор-функций $f(t,x)$:

$$|f_1(t,x)| \le \left| 70 - \frac{(x_1+40)(x_1+40)}{50} - \frac{(x_1+40)(x_2+12)}{x_1+80} \right| \le 82 + |x_2| = \lambda_1(|x_2|),$$

при $40 < x_1 < 40 + 50\sqrt{3}$.

$$|f_2(t,x)| \le \left| -36 + \frac{6(x_1+40)(x_2+12)}{x_1+80} \right| \le |x_2|^2 = \lambda_2(|x_2|), \text{ при } x_1 > 0,\ |x_2| \ge 3 + 3\sqrt{5},$$

поэтому $M_0 = \{2\},\ M = M_0,\ B = N - M = \{0\}.$

Эталонные функции сравнения имеют вид:

$\mu_1(t) = \max\limits_{j \in N_0} \{|y_{11}(t), y_{12}(t)|\} = 2e^{2t}$, $\mu_2(t) = \max\limits_{j \in N_0} \{|y_{21}(t), y_{22}(t)\} = 3e^{-3t}$, $m_1(t) =$

$= \max\{\max\limits_{j \in N_0} \{|y_{11}(t)|, |y_{12}(t)|, \mu_1(t)\}\} = 2e^{2t}$, $m_2(t) = \max\{\max\limits_{j \in N_0} \{|y_{21}(t)|, |y_{22}(t)|, \mu_2(t)\}\} = 3e^{-3t}$.

Условие 5 выполняется, т.е.

$$|J_1(t,\varphi)| = -\int_t^{+\infty} \left(|y_{11}y^{11}| f_1 + |y_{12}y^{12}| f_1 + |y_{11}y^{21}| f_2 + |y_{12}y^{22}| f_2 \right) ds = e^{2t} \int_t^{+\infty} \left(82e^{-2s} + 3e^{-5s} \right) ds;$$

$$|J_2(t,\varphi)| = -\int_t^{+\infty} \left(|y_{21}y^{12}| f_1 + |y_{22}y^{12}| f_1 + |y_{21}y^{21}| f_2 + |y_{22}y^{22}| f_2 \right) ds = 9e^{-3t} \int_t^{+\infty} e^{-3s} ds.$$

Условие 6 или $\frac{dz}{dt} = \sum\limits_{k,j \in N} |y^{jk}(t)| \lambda_j(t, zm(t)), \frac{dz}{dt} = 41e^{-2t} - 1{,}5e^{-3t},\ z = 0{,}5e^{-3t} - 20{,}5e^{-2t}.$

Следовательно, каждое решение системы (5) определено на множестве $[T, +\infty)$.

Таким образом, условия теоремы 1 выполняются и т.к., система уравнений (5) устойчива по переменной x_2, то тривиальное решение системы уравнений (4) обладает этим же свойством.

Список литературы:

1. Воскресенский Е.В. Асимптотические методы: Теория и приложения.-Саранск: Средневолжское математическое общество, 2001. – 300 с.

2. *S.Ruan* On nonlinear dynamics of predator-prey models with discrete delay // Math. Model. Nat. Phenom., Vol. 4, № 2, 2009, P. 140-188.

05.13.05

В. Г. Манжула к.т.н.

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса
кафедра «Информационные системы и радиотехника»
Россия, г. Шахты
manjula@sssu.ru

СНИЖЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ В ИМПУЛЬСНЫХ КОМПЕНСАЦИОННО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СТАБИЛИЗАТОРАХ НАПРЯЖЕНИЯ

В работе рассмотрен возможный путь снижения избыточности в петле отрицательной обратной связи импульсного стабилизатора напряжения, основанный на использовании параметрического канала. Приведены рекомендации по расчету коэффициента передачи цепи параметрической компенсации. Приведен пример реализации импульсного стабилизатора напряжения на основе интегральной микросхемы управления.

Ключевые слова: стабилизатор напряжения, избыточность, микросхема управления.

В современной электронной аппаратуре широкое применение находят импульсные стабилизаторы напряжения, построенные на основе компенсационно-параметрического принципа стабилизации [1]. Они свободны от недостатков, присущих в отдельности параметрическому и компенсационному принципам регулирования. Недостатками параметрического принципа стабилизации являются высокое выходное сопротивление и значительная нестабильность выходного напряжения $U_н$, обусловленная его перекомпенсацией или недокомпенсацией при изменении входного напряжения. В компенсационных стабилизаторах повышение стабильности выходного напряжения связано с необходимостью увеличения коэффициента усиления в контуре обратной связи, что повышает параметрическую избыточность и снижает запас устойчивости системы [2, 3].

Рассмотрим структуру компенсационно-параметрический стабилизатора выходного напряжения $U_Н$ при изменении входного напряжения $U_П$ (рисунок 1).

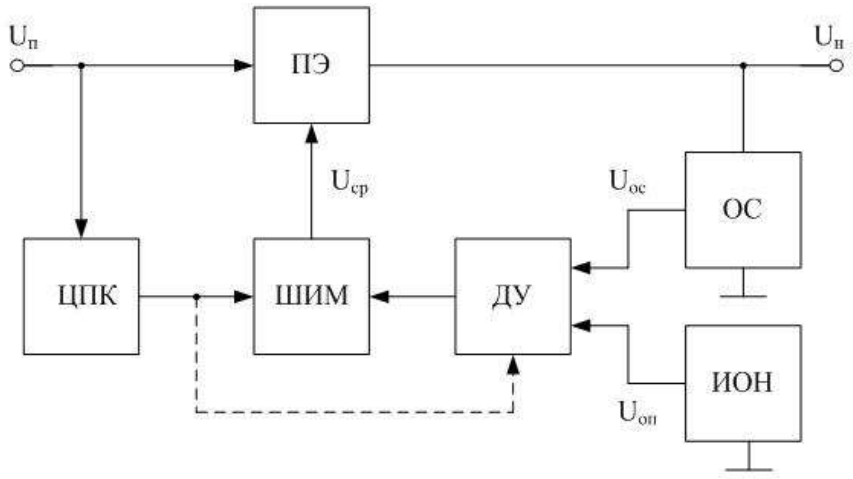


Рис. 1- Компенсационно-параметрический импульсный стабилизатор.

Данная структура включает в себя: ПЭ - преобразовательный элемент, ШИМ - широтно-импульсный модулятор, ДУ - дифференциальный усилитель, ОС - цепь обратной

связи, ИОН - источник опорного напряжения, ЦПК - цепь параметрической компенсации. Компенсационный контур обратной связи такого стабилизатора состоит из элементов ОС, ДУ, ШИМ и ПЭ. Канал параметрической компенсации изменений входного напряжения образован элементами ЦПК, ШИМ и ПЭ. Проведем анализ структуры компенсационно-параметрического импульсного стабилизатора (рисунок 1), рассматривая ее как квазинепрерывную систему. Коэффициент нестабильности выходного напряжения определяется выражением:

$$K_H = \frac{\Delta U_H}{\Delta U_П} = \frac{K_{ПР}}{1+T_U} = \frac{K_{ПР1} - K_{ПР2}}{1+T_U}, T_U = K_{ОС} K_{ДУ} K_{ШР} K_{ПЭ\gamma}, \quad (1)$$

где ΔU_H , $\Delta U_П$ - изменения входного и выходного напряжений; $K_{ПР}$ -коэффициент прямой передачи напряжения $U_П$ на выход при разомкнутой петле обратной связи через элемент ПЭ ($K_{ПР1}$) и через элемент ЦПК ($K_{ПР2}$); T_U - петлевое усиление в компенсационном контуре; $K_{ОС}$ - коэффициент передачи элемента ОС; $K_{ДУ} = U_{СР} / |U_{ОС} - U_{ОП}|$ - коэффициент передачи элемента ДУ; $K_{ШР} = \gamma / U_{СР}$ - коэффициент передачи ШИМ при λ=const, $\gamma = t_н/T$ - относительная длительность интервала накопления энергии $t_н$ в трансформаторе Тр, λ - крутизна пилообразного напряжения ШИМ; $K_{ПЭ\gamma} = U_н/\gamma$ - коэффициент передачи ПЭ при $U_П$ =const.

Очевидно, что снижение коэффициента K_H можно осуществить как увеличением петлевого усиления системы, так и уменьшением суммарного коэффициента прямой передачи. Минимальный коэффициент $K_{ПР}$ можно получить, наиболее точно реализуя условие:

$$K_{ПР1} = K_{ПР2}. \quad (2)$$

Выходной сигнал элемента ЦПК целесообразно подавать в такой узел схемы, при котором наилучшим образом можно выполнить условие (2). При подключении выхода ЦПК ко входу ДУ (см. пунктир на рисунке 1) соотношение (2) примет вид:

$$K_{ЦПК} = K_{ПЭП} / K_{ДУ} K_{Ш\lambda} K_{ПЭ\gamma}, \quad (3)$$

где $K_{ЦПК} = \lambda / U_П$ - коэффициент передачи ЦПК; $K_{ПЭП} = U_Н/U_П$ - коэффициент передачи ПЭ при γ=const; $K_{Ш\lambda} = \gamma/\lambda$ - коэффициент передачи ШИМ при $U_Р$ =const. Из соотношения (3) следует, что полная компенсация в такой структуре неосуществима из-за большой нестабильности коэффициента $K_{ДУ}$. Стабилизация этого коэффициента возможна при охвате ДУ местной отрицательной обратной связью, но это снижает результирующее петлевое усиление.

При подключении выхода ЦПК к входу ШИМ соотношение (2) представим в виде:

$$K_{ЦПК} = K_{ПЭП} / K_{Ш\lambda} K_{ПЭ\gamma}. \quad (4)$$

В этом случае условие компенсации удается выполнить практически полностью, поскольку в выражении (4) коэффициент $K_{ЦПК}$ не зависит от разброса параметров ДУ. Таким образом, наиболее приемлемой точкой подключения выхода ЦПК является вход ШИМ.

Определим параметры элемента ЦПК в случае использования в качестве ПЭ однотактного преобразователя с трансформаторной развязкой между входом и выходом. Регулировочная характеристика при μ<1 определяется соотношением:

$$K = K_{ТР}\gamma/(1-\gamma), \quad (5)$$

где $K_{ТР} = N_В/N_П$ - коэффициент передачи трансформатора Тр.

Аналитическое выражение, описывающее пилообразное напряжение ШИМ, имеет вид:

$$U_{ПИЛ}(t) = \begin{cases} \lambda t + U_X, & (n-1)T \le t \le (n-1)T + t_н \\ U_X, & (n-1)T + t_H < t < nT, \ n = 1,2,3... \end{cases}, \quad (6)$$

Для данной ШИМ параметр γ определяется выражением:

$$\gamma = 1/(1+\lambda\xi), \quad (7)$$

где $\xi=(T-t_н)/U_Р$, $U_Р=U_{СР}-U_Х$.

В соответствии с выражениями (5)-(7) коэффициенты передачи ПЭ и ШИМ имеют вид:

$$K_{ПЭП}=K_{ТР}\gamma/(1-\gamma),\ K_{ПЭ\gamma}=K_{ТР}U_П/(1-\gamma),\ K_{Ш\lambda}=1/(\lambda+\lambda^2\xi). \quad (8)$$

Тогда согласно выражению (4) получаем:

$$K_{ЦПК}=\frac{U_Н(\lambda+\lambda^2\xi)}{U_П^2K_{ТР}+U_ПU_Н}. \quad (9)$$

Для получения полной компенсации зависимость $\lambda=f(U_П)$ должна иметь вид:

$$\lambda=\left(\frac{U_ПK_{ТР}+U_Н}{U_Н}-1\right)/\xi. \quad (10)$$

Таким образом, синтез схемы элемента ЦПК необходимо производить с учетом зависимости $\lambda=f(U_П)$ (10), при выполнении которой достигается практически полная параметрическая компенсация изменений входного напряжения.

Структурная схема микроэлектронного импульсного источника вторичного электропитания (ИВЭП) с компенсационно-параметрическим принципом стабилизации представлена на рисунке 2.

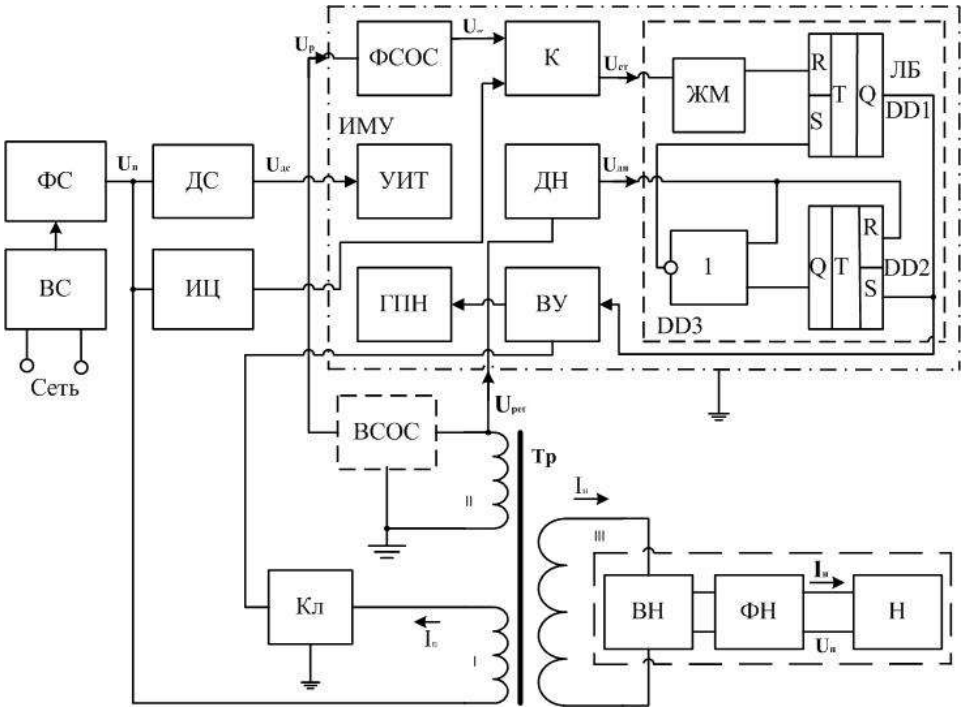


Рис.2 – Структурная схема импульсного ИВЭП.

Она включает: сетевой выпрямитель (ВС), фильтр напряжения сети (ФС), делитель выпрямленного напряжения сети (ДС), ключ (Кл), выпрямитель сигнала обратной связи (ВСОС), выпрямитель выходного напряжения (ВН), фильтр выходного напряжения (ФН), нагрузку (Н), интегрирующую цепь (ИЦ), интегральную микросхему управления (ИМУ), трансформатор (Тр). Функциональными элементами ИМУ являются: генератор пилообразного напряжения (ГПН), управляемый источник тока (УИТ), выходной усилитель (ВУ), формирователь сигнала обратной связи (ФСОС), компаратор (К), детектор нуля (ДН), логический блок (ЛБ). Алгоритм функционирования такого ИВЭП позволяет минимизировать потери мощности на ключевом элементе [4].

Элементам структуры (рисунок 1) соответствуют следующие элементы ИВЭП (рисунок 2): преобразовательный элемент – элементы Кл, ВУ, Тр; широтно-импульсный модулятор – элементы ГПН, ИЦ, К, ЛБ; цепь параметрической компенсации – элементы ДС, УИТ; дифференциальный усилитель и источник опорного напряжения – элемент ФСОС; цепь обратной связи – элемент ВСОС.

Таким образом использование компенсационно-параметрического принципа стабилизации при построении микроэлектронных ИВЭП позволяет синтезировать устройства, обладающие минимальной параметрической избыточностью и высокими точностными и энергетическими характеристиками.

Список литературы:

1. Сазонов, В. В. Компенсационно-параметрические импульсные стабилизаторы постоянного напряжения [Текст] / В. В. Сазонов. – М.: Энергоатомиздат, 1982.— 88 с.

2. Манжула, В. Г. Синтез неизбыточных структур сложных функциональных блоков [Текст] / В. Г. Манжула // Системы управления и информационные технологии. – 2010. – № 1-2(39). – С. 242–247.

3. Манжула, В. Г. Методы синтеза систем управления на основе формализации сложности структур [Текст] / В. Г. Манжула, С. А. Морозов, С. В. Федосеев // Известия ЮФУ. Техн. науки. – 2009. – № 5. – С. 37–46.

4. Манжула, В. Г. Синтез неизбыточных функциональных схем микроэлектронных систем в корпусе (SiP) [Текст] / В. Г. Манжула // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – № 3 (45). – С. 41 - 44.

05.13.12

С. Г. Мосин к.т.н., Хассан Мд. Муид

Владимирский государственный университет имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
факультет информационных технологий
кафедра вычислительной техники
Россия, г. Владимир
dipuuu@gmail.com

ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ПО ТЕХНОЛОГИИ СЕТЬ-НА-КРИСТАЛЛЕ (NOC)

Предложена подсистема автоматизированного проектирования сетей-на-кристалле с нерегулярной топологией. Приведена структурная схема подсистемы. Описаны особенности работы внутренних программных модулей подсистемы. Представлен пример использования подсистемы при проектировании кодека H.264.

Ключевые слова: сеть-на-кристалле (СНК), автоматизация проектирования СНК, нерегулярная сеть-на-кристалле

1. Введение

Интенсивное развитие интегральных технологий в последнее десятилетие обеспечило условие проектирования и производства сложных высокопроизводительных процессорных элементов – многоядерных процессоров (*MCP – Multicore processor*) и мультипроцессоров с архитектурой сеть-на-кристалле (*MPSoC – Multiprocessor system-on-chip*). По прогнозам в ближайшем будущем *MPSoC* будут включать сотни и даже тысячи процессорных элементов [1]. Для организации взаимодействия между процессорами, памятью и специализированными ядрами, реализуемых на одном кристалле, *MPSoC* необходима коммуникационная система, которая должна снизить задержки распространения сигналов и энергопотребление, а также повысить производительность.

Технология сеть-на-кристалле (*NOC – Network-on-chip*) была предложена как перспективное решение, обеспечивающее широкую полосу пропускания между различными ядрами *MCP* и *MPSoC* [2].

Основные проблемы при проектировании специализированных приложений по технологии *NoC* – сложность выбора количества необходимых маршрутизаторов и используемых портов, а также определение места их расположения в топологии схемы.

Архитектуру *NoC* разделяют на регулярную и нерегулярную сеть в зависимости от типа используемой топологии. В нерегулярной сети топология не фиксирована заранее как в регулярной, и может модифицироваться в ходе проектирования для получения наилучших показателей по повышению производительности и снижения энергопотребления кристалла *MPSoC* [3,4].

В работе представлена подсистема САПР, обеспечивающая автоматизацию процесса проектирования нерегулярных *NoC* на системном уровне с выходом на синтез в базисе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) или специализированных заказных интегральных схем (*ASIC – Application-Specific Integrated Circuits*).

2. Структура подсистемы САПР NoC

Существует множество систем автоматизированного проектирования (САПР), призванных облегчить труд разработчика и ускорить процесс проектирования электронных устройств в виде ИС. Среди лидеров на рынке САПР следует выделить *Synopsis, Mentor*

Graphics, Cadence, Xilinx и *Altera*. Однако существующие САПР в основном ориентированы на проектировании *SoC* (*System-on-chip*) и не обеспечивают в полной мере поддержку проектирования систем по архитектуре *NoC* [4].

Предлагаемая подсистема САПР предназначена для автоматизации процесса проектирования электронных систем, основанных на *NoC*. Разработанный программный комплекс представляет собой подсистему САПР, реализованную по агрегатному принципу на основе открытой архитектуры, что позволяет легко осуществлять ее наращивание.

Структура подсистемы представлена на рис. 1. Выбор данной концепции был сделан, исходя из критерия универсальности и легкости модификации и дополнения подсистемы каждым конечным пользователем при необходимости. При эксплуатации подсистемы в комплексном режиме необходимо подключение дополнительных модулей, осуществляющих импорт данных из файла отчета внешнего пакета схемотехнического моделирования.

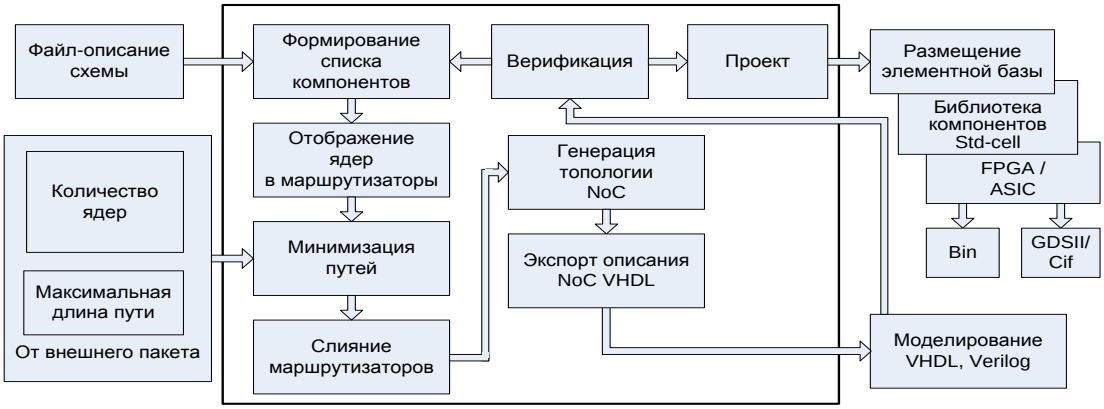


Рис. 1- Структура подсистемы САПР *NoC*.

Системный уровень процесса проектирования *NoC* (рис. 2) реализуется двумя подуровнями – функциональным и подуровнем транзакций. На функциональном подуровне (или подуровне алгоритмов) создается и верифицируется математическая модель системы в целом. На подуровне транзакций происходит моделирование архитектуры системы. Для разработки моделей использован фактически ставший промышленным стандартом язык *VHDL*. Очень важно, что уже на системном уровне возможно совместное моделирование аппаратной и программной частей проектируемой системы, определение их оптимального соотношения.

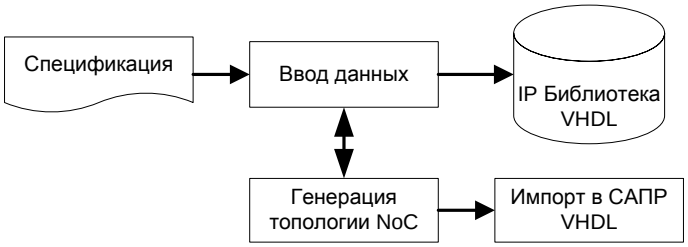


Рис. 2- Системный уровень.

Верификация математической модели может происходить совместно с верификацией системной модели аппаратной части.

2.1. Исходные данные

В качестве исходных данных в нашем случае выступают:

1. Начальная схема *NoC*.

2. Граф связанности между ядрами в *NoC* и матрица весов обозначающую пропускную способность каналов связи между ядрами.

3. IP-библиотека с описанием ядер *MPSoC* на языке *VHDL*.

Формирование спецификации на проектируемую *NoC* осуществляется в виде файла-описания схемы на языке *XML*. Спецификация включает в себя описание сведений о количестве используемых ядер, номеров портов подключения, режимов работ (чтение, запись) связей маршрута проектирования NoC.

Ниже в качестве примера приведена часть *XML*-файла, в котором задана спецификация:

```
5. <communication>
6.     <object id="cores">
7.     <connection id="0" type="rw" >
8.         <ip id="core1" port="0» type="Initiator" />
9.         <ip id="memory" port="1" type="Target" />
10.            <read width="8" latency="1000" />
11.            <write width="8" latency="1000" />
12.        </connection>
13.    .....
14.    </communication>
```

Матрица смежности задается в виде текстового файла, при этом элементы матрицы представляют собой пропускную способность каналов связи между ядрами и маршрутизаторами, например:

```
0  1  2  0  2  6  0
1  0  2  1  2  3  2
.  .  .  .  .  .  .
3  0  1  2  1  4  0
```

2.2. Генерация топологии *NoC*

На основе исходных данных в соответствии с маршрутом проектирования нерегулярных *NoC* [5, 6] выполняется генерация нерегулярной топологии сети-на-кристалле.

Алгоритм генерации включает следующие основные операции:

1) Построение маршрутизаторов. На этом этапе работы алгоритма четыре и более ядра *MPSoC* объединяют маршрутизатором.

2) Минимизация количества маршрутизаторов. На этом шаге алгоритма выполняют объединение нескольких соседних маршрутизаторов в один.

2.3. Экспорт в САПР

На основе сгенерированной топологии и *IP*-библиотеки используемых ядер предлагаемая подсистема САПР формирует *VHDL*-описание проектируемой системы с архитектурой нерегулярной *NoC*. Полученное *VHDL*-описание обеспечивает возможность экспорта проектируемой *NoC* в САПР ПЛИС для моделирования и верификации.

Ниже праведен пример трансляции *XML* описания в *VHDL*:

```
component cores0
port (
 din : in std_logic_vector(7 downto 0);
 sout : out std_logic_vector(7 downto 0);
 r : in std_logic;
 c : in std_logic
 );
end component;
```

2.4. Моделирование и верификация

Описание проектируемой *NoC* экспортируется во внешний пакет САПР ПЛИС (*Xilinx* и/или *Mentor Graphics*) для поведенческого моделирования. Полученные результаты моделирования верифицируют с параметрами из спецификации на *NoC*. При успешном моделировании системы можно приступать к синтезу проекта и разработке тестов для тестирования и расчёта возможных дефектов.

Если на этапе моделирования были выявлены ошибки или результаты не удовлетворят требованиям спецификации, то выявляются ошибки моделирования и выполняется уточнение проекта, в том числе через обратное преобразование структур *NoC* к графу и получение новой топологии.

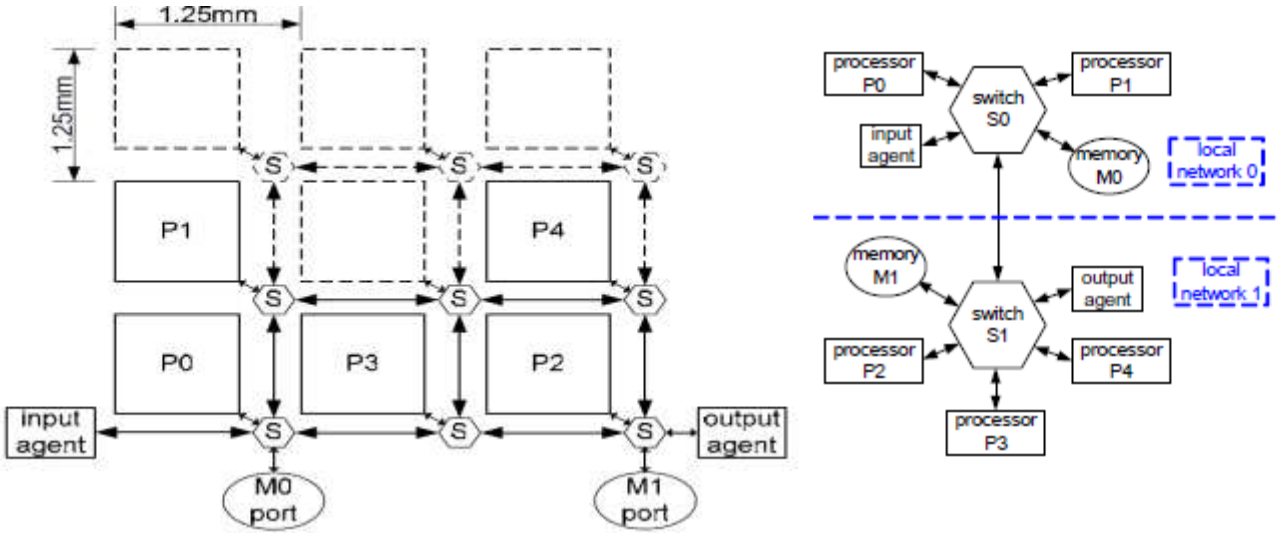
2.5. Проект системы

Далее верифицированное *VHDL*-описание проектируемой *NoC* может быть синтезировано в базис ПЛИС или *ASIC*. Для этих целей используются специализированные САПР сторонних разработчиков.

При синтезе в базисе ПЛИС выбирают тип микросхемы и стандартными средствами синтезируют *VHDL*-описание *NoC* с формированием в результате файла конфигурации *bin*. Для синтеза в базисе *ASIC* использована технология стандартных ячеек, предусматривающая применение библиотеки компонентов *Std-cell* для каждого синтезируемого *VHDL*-компонента. В результате генерируется технологический файл с описанием топологии *ASIC* в формате *gdsii* или *cif*.

3. Экспериментальные результаты

В данной работе мы сравнивали нашу нерегулярную архитектуру *NoC* с регулярной архитектурой *NoC* [5,2].Для сравнения используется проект H.264 декодера. В предложенной нами нерегулярной архитектуре *NoC* с декодером H.264 (Рис. 3.б) мы используем 2 маршрутизатора $S0$ и $S1$, в связи с чем



а) NoC архитектура H.264 из [2] б) Предложенная NoC архитектура H.264

Рис. 3- Сравнение расхода энергии двух разных синтеза топологии NoC.

уменьшается количество связей, объем переданной информации, потребляемая энергия сети (Рис. 4.) по сравнению с регулярной архитектурой *NoC* с декодером H.264 (Рис. 3.а) [2] в котором использовано 9 маршрутизаторов.

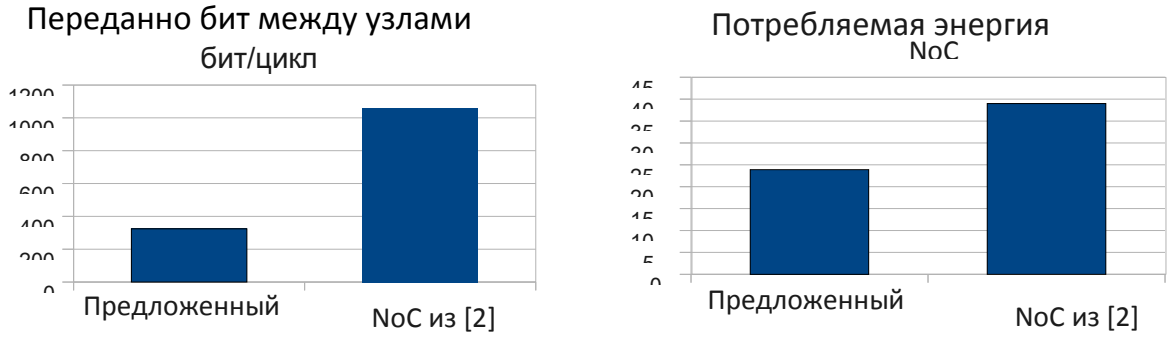


Рис. 4- Сравнения количество переданных бит между узлами и потребляемая энергия (*mW* / цикл).

Заключение

В работе представлена подсистема автоматизированного проектирования электронных устройств по технологии сеть-на-кристалле. Для обеспечения требований к повышению производительности MPSoC и снижению их энергопотребления предложено использовать нерегулярную топологию NoC. Показано назначение внутренних программных модулей подсистемы и правила взаимодействия предложенной подсистемы со стандартными коммерческими САПР сторонних производителей. Продемонстрирован пример использования разработанной подсистемы при проектировании кодека H.264. Полученные результаты показали количественно лучшие показатели по сравнению с использованием при проектировании регулярной топологии. Предложенная подсистема САПР обеспечивает поддержку процесса проектирования NoC с нерегулярной топологией, что сказывается на снижении временных затрат на проектирование электронного устройства.

Список литературы:

1. *Borkae S.* Thousand core chips-a technology perspective / *S. Borkae //* Proc. 44th Annual Design Automation Conference (DAC), 2007, P. 746 – 749.

2. *Benini L., Micheli G.D.* Networks on chips: A new SoC paradigm / *L.Benini, G.D. Micheli* // IEEE Computer, Vol. 35, no. 1, Jan., 2002, P. 70 – 78.

3. *Chathak K. S., Srinivasan K., Konjevod G.* / *K. S.Chathak, K.Srinivasan, G.Konjevod* // Automated Techniques for Synthesis of Application-Specific Network-on-Chip Architectures, IEEE Tran. on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, Vol. 27, No. 8, P. 1425 – 1438, 2008.

4. *Мосин С.Г., Хассан Мд Муид.* Подход к синтезу специализированной сети-на-кристалле с неоднородной топологией / *С.Г.Мосин, Хассан Мд Муид* // Проектирование и технология электронных средств. – 2009. – № 3. – С. 8 – 12. ISSN – 2071-9809.

5. *Mosin S. G., Md Muid Hassan*. Design flow Oriented on INOC / *S. G.Mosin, Md Muid Hassan* // In Proc. IEEE 2nd International Conference on Signals, Systems and Automation (ICSSA-2011). Gujarat, India. 2011. paper # 135.

6. *Mosin S. G., Md Muid Hassan.* The CAD Subsystem Supporting Design of Electronics Devices Based on Irregular NOC / *S. G.Mosin, Md Muid Hassan* // The Proc. of Xth IEEE International Conference “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics”, Polyana-Svalyava, Ukraine, 23-25 Feb., 2011, P. 178 – 180 . – ISBN: 978-1-4577-0042-2.

05.13.18

Е. С. Охотникова

Тюменский государственный университет
Институт Математики, естественных наук и информационных технологий
кафедра программного обеспечения
Россия, г. Тюмень
esokhotnikova@yandex.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С АДАПТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ

Рассмотрены подходы к моделированию адаптивных информационных систем. Предложены статическая и динамическая модели и соответствующие алгоритмы взаимодействия пользователя с такими системами.

Ключевые слова: моделирование, адаптация, информационные систем, модель пользователя.

Одним из направлений развития современных информационных систем является их интеллектуализация. Выделяют следующие классы интеллектуальных информационных систем (ИИС) [3]: системы с интеллектуальным интерфейсом, экспертные системы, самообучающиеся системы, адаптивные системы.

В данной работе рассматривается последний класс ИИС. Под *адаптивными информационными системами* (АИС) понимают системы, в которых заложены возможности динамического изменения параметров и алгоритмов функционирования в ответ на изменение характеристик внешней среды или действия пользователей. Разработка и применение адаптивных информационных систем целесообразны, если: велико количество пользователей системы, отличающихся целями и опытом; поддерживаемые системами проблемные области постоянно развиваются; объем контента системы позволяет варьировать способы представления информации в зависимости от характеристик пользователей. Примерами систем, поддерживающих ряд адаптивных функций, являются поисковые системы (Yandex, Nigma), системы электронного обучения («Орокс», «Прометей», «eLearning Server 3000») и др.

В исследованиях, посвященных моделированию АИС (Д.В. Ландэ, А.И. Башмаков, И.А. Башмаков, А.В. Соловов), выделяют следующие направления моделирования, необходимые для обеспечения адаптации: модель пользователя, модель предметной области, модели и алгоритмы адаптации. По мнению автора, отдельное рассмотрение моделей пользователя и адаптации нецелесообразно, поскольку модель адаптации должна быть связана с параметрами модели пользователя. Вместо данных моделей можно рассмотреть модель взаимодействия пользователя с АИС. Также предлагается сгруппировать аспекты моделирования АИС, учитывая возможность изменения значений параметров в процессе работы пользователя с АИС:

- статические модели (модель структуры контента и модель *предполагаемого* взаимодействия пользователя с АИС (ПВП));
- динамические модели (модель *реального* взаимодействия пользователя с АИС (РВП) и модель функционирования АИС).

Введем некоторые определения. Под *информационным объектом* будем понимать завершенный по смыслу блок материала, предназначенный для многократного использования. *Профилем* пользователя назовем совокупность характеристик пользователя, измеряемых на протяжении его работы с информационной системой и необходимых для

адаптации. *Траекторией* пользователя (TR) назовем последовательность информационных объектов в порядке их предъявления пользователю в соответствии с моделью контента.

Согласно [2], модель контента можно представить в виде $L=<S, W_1, W_2>$, где S – конечное множество информационных объектов, образующих контент АИС, W_1 – отношение вложенности, определяющее иерархическую структуру контента, W_2 – отношение предшествования, задающее логическую последовательность предъявления информационных объектов.

Для обеспечения возможности адаптации необходимо, чтобы информационный объект и профиль пользователя обладали рядом сопоставляемых между собой характеристик. Для информационного объекта таковыми являются характеристики позволяющие описать свойства его содержания $b_1, b_2,\ldots,b_m$. К соответствующим характеристикам профиля пользователя относятся: 1) *субъективные* характеристики $c_1, c_2,\ldots,c_m$, определяющие предпочтения пользователя по выбору контента (значения задаются пользователем); 2) *объективные* характеристики $Q=\{q_{pr}\}$, определяемые самой системой по результатам взаимодействия пользователя с очередным информационным объектом контента (p=1..m, r=1..h, где m – количество характеристик, h – количество объектов, предъявленных пользователю).

Полагаем, что информационный объект $s \in S$ *соответствует* профилю пользователя u, если $\forall$ i=1..m выполняется неравенство $f_i(b_i^s, c_i^u, Q_{ir}) \le e_i$, где i - номер характеристики, а вид функций f_i определяется в соответствии с интерпретацией соответствующих характеристик, e_i – критические значения, определяемые экспертным путем.

Моделирование взаимодействия пользователя с АИС, основано на стереотипном подходе [1], который подразумевает выделение групп пользователей, обладающих близкими значениями параметров профилей. В модели *предполагаемого* взаимодействия будем учитывать только субъективные характеристики профиля пользователя. Мера сходства профилей должна выбираться исходя из вида используемых характеристик. Полагая, что операция «-» задана на всех множествах значений характеристик, в общем виде меру сходства можно представить функцией:

$\rho=\rho(u,v)=\max |c_i^u - c_i^v|_{i=1..m}$, $u,v \in U$,

где U – множество пользователей системы. Считаем, что $\rho(u,u)=0$.

Выделение стереотипов может быть выполнено с использованием методов кластерного анализа. Автором были использованы: метод k – средних для разбиения пользователей на K - стереотипов (кластеров), центроидный метод (Sokal and Michener) - для определения числа K .

В рамках одного стереотипа пользователи обладают близкими значениями характеристик профиля, поэтому вид параметра TR пользователя u, отнесенного к стереотипу Z, может быть определен как оптимальная траектория $TR^{опт} \in \{TR_z\}$. Здесь $\{TR_z\}$ – множество траекторий пользователей стереотипа Z, хранимых в памяти АИС. Критерий оптимальности необходимо выбрать исходя из вида характеристик $b_1, b_2,\ldots,b_m, c_1, c_2,\ldots,c_m$; он может быть как частным, так и комплексным. Таким образом, модель ПВП представлена в виде кортежа $< c_1, c_2,\ldots,c_m , \rho, TR^{опт} >$.

Приведем основные этапы алгоритма ПВП: 1) задание пользователем значений субъективных параметров $c_1, c_2,\ldots,c_m$; 2) выделение стереотипов пользователей (мера сходства ρ); 3) определение оптимальной траектории (в соответствии с критерием оптимальности, если удалось отнести пользователя к одному из кластеров, или на основе информационных объектов, отвечающих условиям $f_i(b_i^s, c_i^u) \le e_i$, i=1..m) и отношений W_1, W_2; 4) последовательное рассмотрение пользователем представленных информационных объектов.

Модели контента и предполагаемого взаимодействия пользователя с АИС могут оставаться статичными на всем протяжении взаимодействия пользователя с системой или в рамках некоторых, заранее определенных этапов взаимодействия (сеансов).

В модели *реального* взаимодействия пользователя с АИС необходимо учитывать не только субъективные, но и объективные характеристики профиля пользователя. Учитывая введенное выше предположение, меру сходства профилей пользователей можно представить функцией $\varphi=\varphi(u,v)=\max\{|Q^u-Q^v|, |c^u - c^v|_{i=1..m}\}$, $u,v\in U$.

Динамическая модель РВП представлена в виде кортежа

$< c_1, c_2,\ldots,c_m, Q, \varphi, TR>$,

где TR формируется в соответствии с изменяющимися значениями параметра Q. На рис 1. изображена блок-схема алгоритма, позволяющего динамически корректировать траекторию взаимодействия с АИС, на основании субъективных и объективных параметров профиля пользователя.

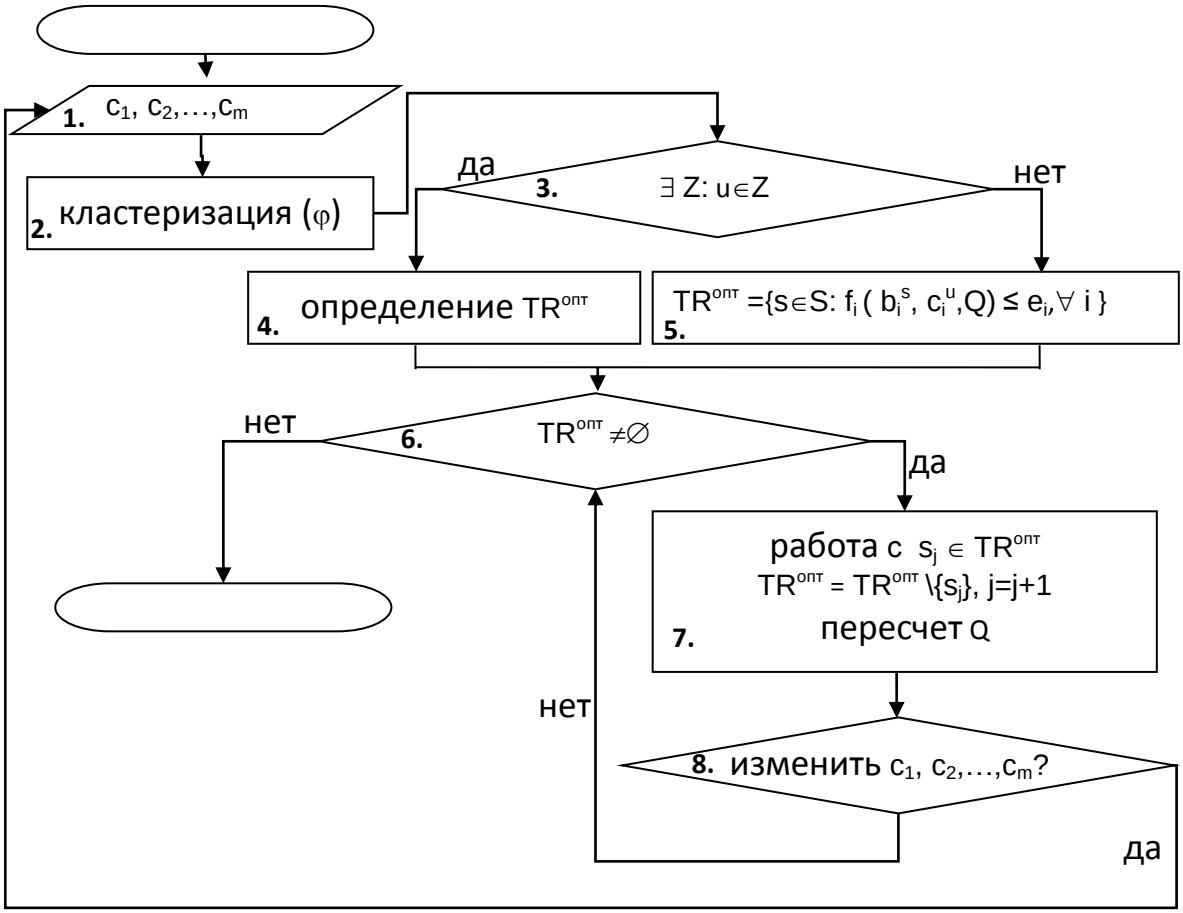


Рис. 1 - Алгоритм реального взаимодействия пользователя с АИС.

Поясним основные этапы работы алгоритма. Шаги 1-5 РВП аналогичны этапам 1-3 ПВП, но на шаге 2 РВП в качестве меры сходства используется функция φ, а на шаге 5 (если пользователь выделен в отдельный кластер) в формировании $TR^{опт}$ участвуют и субъективные, и объективные параметры пользователя. В отличие от ПВП в данном алгоритме учитываются результаты взаимодействия пользователя с АИС (параметры Q), вычисление которых выполняется по мере прохождения пользователем каждого информационного объекта (шаг 7). Кроме того, при изменении пользователем значений

субъективных параметров (шаг 8) выполняется корректировка траектории взаимодействия с АИС (шаги 2-5).

Предложенные модели и алгоритмы не накладывают ограничений на вид информационных систем и могут быть эффективно использованы на практике для расширения их адаптивного функционала, в том числе для динамического формирования индивидуальных образовательных траекторий в системах электронного обучения.

Список литературы:

1. *Буль Е.Е.* Сравнительный анализ моделей обучаемого // Труды X Всероссийской научно-методической конференции «Телематика, 2003» - 2003. – Т2. – с.364-366.

2. *Охотникова Е.С.* Математическое моделирование контента адаптивной информационной системы (на примере систем электронного обучения) // От инноваций к качеству образования: Материалы всероссийской научно-методической видеоконференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – С. 206-208.

3. *Тельнов Ю.Ф.* Интеллектуальные информационные системы/ Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. – М.: МЭСИ, 2004. – 246с.

05.12.04

С. Н. Скобелева к.т.н.

Поволжский государственный университет сервиса
факультет информационно-технического сервиса
кафедра «Информационный и электронный сервис»
Россия, г. Тольятти
Skobeleva-sn@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕТЕРОДИННОГО СПОСОБА ПРИЁМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В РАДИОСИСТЕМАХ БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ

В статье рассматривается вопрос выбора оптимального способа приёма и обработки сигналов в радиосистемах ближнего действия. Показано, что с точки зрения простоты схемных решений, настройки, эксплуатации, дешевизны изготовления и надёжности в системах ближнего действия предпочтительнее использовать синхронные гетеродинные приёмные тракты.

Ключевые слова: радиосистемы ближнего действия, способы приёма и обработки сигналов, детекторные способы, гетеродинные способы, чувствительность, избирательность.

В соответствии с [5] «под радиосистемами ближнего действия (РБД) понимают системы, действующие на малых расстояниях (от долей — единиц до десятков — сотен метров). Их можно разделить на системы извлечения информации (радиолокация, радионавигация), радиоуправления, передачи информации. Широкое распространение получили радиолокационные станции (РЛС)».

Автор подчеркивает, что «малая дальность действия и относительно большая мощность отраженных от объектов сигналов делают возможным широкое использование в системах ближней радиолокации (СБРЛ) приемников прямого усиления».

С этим утверждением трудно согласиться, так как предпочтение какому-либо способу приёма и обработки сигналов определяется по совершенно другим критериям.

Известно [3, 4], что существующие в настоящее время способы приема и обработки сигналов можно разбить на две большие группы: детекторные и прямого преобразования (гетеродинные).

К детекторным способам приема и обработки сигналов относятся те, в которых выделение модулирующей функции производится с помощью классического детектирования (амплитудного, частотного, фазового) радиосигнала или сигнала промежуточной частоты. В зависимости от способа усиления сигнала до подачи его на детектор детекторные способы подразделяются на: классический детекторный; прямого усиления; супергетеродинный. Детекторные способы приема и обработки сигналов подразумевают осуществление селекции сигнала и реализацию основного его усиления на радио и (или) промежуточной частоте.

К способам прямого преобразования относятся те способы приема и обработки сигналов, в которых модулирующая функция получается путем переноса спектра радиосигнала непосредственно в область звуковых частот, исключая операцию его детектирования. К способам прямого преобразования относятся: несинхронный гетеродинный; синхронный гетеродинный.

Способы прямого преобразования (гетеродинные) подразумевают прямой перенос спектра радиосигнала в область звуковых частот и осуществление селекции сигнала, а также основного его усиления на звуковых частотах.

Необходимо решить, какому из этих способов отдать предпочтение в радиосистемах ближнего действия.

Сравнительный анализ проведем по характеристикам: чувствительности; помехозащищенности; избирательности.

Отношение чувствительностей синхронного и классического детекторов определяется выражением [2]:

$$U_0 / U_{\text{ïïë}} = 2\grave{a}_{\tilde{a}} / \grave{a}_{\tilde{n}},$$

где $\grave{a}_{\tilde{a}}$ – амплитуда напряжения гетеродина, $\grave{a}_{\tilde{n}}$ – амплитуда полезного сигнала на входе детекторов.

Таким образом, наибольший выигрыш в чувствительности получается при наименьшем сигнале на входе детекторов, что лишний раз подтверждает, что предварительное усиление до детектора в гетеродинном приемном тракте не нужно и можно показать [2], что оно даже вредно.

В [3] показано, что при наличии на входе детекторов смеси сигнала и помехи типа ”белого шума” отношение сигнал/шум на выходе классического амплитудного детектора имеет вид:

$$(q_{\hat{a}\hat{u}\tilde{o}})_{\grave{A}D} = \frac{(\overline{\text{Ð}_{\tilde{n}}})_{\hat{a}\hat{u}\tilde{o}}}{(\delta^2_{\text{ø}})_{\hat{a}\hat{u}\tilde{o}}} = \frac{A_0{}^4 (1 + m_A{}^2 \delta_\lambda^2)^2}{4N_0{}^2 \Delta F_\lambda{}^2 \left[1 + \dfrac{A_0{}^2 (1 + m_A{}^2 \delta_\lambda^2)}{2N_0 \Delta F_\lambda}\right]}, \qquad (1)$$

а на выходе синхронного детектора:

$$(q_{\hat{a}\hat{u}\tilde{o}})_{CD} = \frac{(\overline{\text{Ð}_{\tilde{n}}})_{\hat{a}\hat{u}\tilde{o}}}{(\delta^2_{\text{ø}})_{\hat{a}\hat{u}\tilde{o}}} = \frac{A_0{}^2 (1 + m_A{}^2 \delta_\lambda^2)}{N_0 \Delta F_\lambda}, \qquad (2)$$

где A_0, m_A - амплитуда и коэффициент модуляции полезного сигнала;

ΔF_λ - полоса частот информационного сообщения λ(t);

N_0 - спектральная плотность входного шума;

δ_λ^2 - дисперсия случайного сообщения λ(t);

$\delta_{ø}^2$ - дисперсия шума.

Беря отношение выражения (2) к выражению (1), получаем выигрыш в помехозащищенности синхронного детектора относительно классического амплитудного детектора, определяемый выражением:

$$\frac{(q_{\hat{a}\hat{u}\tilde{o}})_{CD}}{(q_{\hat{a}\hat{u}\tilde{o}})_{\grave{A}D}} = \frac{N_0 \Delta F_\lambda}{A_0{}^2 (1 + m_A{}^2 \delta_\lambda^2)} + 2,$$

или учитывая, что отношение сигнал / шум на входе обоих детекторов равно:

$$q_{\hat{a}\tilde{o}} = \frac{(\overline{\text{Ð}_{\tilde{n}}})_{\hat{a}\tilde{o}}}{(\delta^2_{\text{ø}})_{\hat{a}\tilde{o}}} = \frac{A_0{}^2 (1 + m_A{}^2 \delta_\lambda^2)}{2N_0 \Delta F_\lambda},$$

в конечном итоге получаем:

$$\frac{(q_{\hat{a}\hat{u}\tilde{o}})_{CD}}{(q_{\hat{a}\hat{u}\tilde{o}})_{\grave{A}D}} = 2\left(1 + \frac{1}{q_{\hat{a}\tilde{o}}}\right).$$

Таким образом, получаем колоссальный выигрыш в помехозащищенности синхронного детектора относительно классического детектора в области малых отношений мощности полезного сигнала к мощности помехи на входе детекторов.

Результаты проведенного анализа существующих способов приёма и обработки сигналов позволяют определиться с приёмным трактом радиосистем ближнего действия.

Классический детекторный тракт сразу можно исключить ввиду чрезвычайно низкой чувствительности, что требует необоснованно большой мощности радиопередатчика. Это экономически не выгодно и экологически не допустимо.

Из оставшихся типов (прямого усиления, супергетеродинный) следует отдать предподчение приёмнику прямого усиления по следующим причинам:

– Прежде всего, необходимо учесть, что назначение и область использования радиосистем ближнего действия различны и многообразны. Это системы различного рода сближения, стыковки, посадки, обеспечения безопасности при движении объектов в группе, полетах на малых высотах, охраны объектов и т. д. [1, 5]. Отсюда следует, что в данных системах используется фиксированная частота, следовательно, вопрос сохранения постоянной полосы пропускания отсутствует.

– В приёмных трактах прямого усиления отсутствуют дополнительные каналы приёма.

– Приёмные тракты прямого усиления гораздо проще, надёжнее и дешевле супергетеродинных трактов. Кроме этого, необходимо отметить простоту настройки и эксплуатации.

Поскольку в системах ближнего действия возможно использование модулированных колебаний, то среди гетеродинных приёмных трактов следует отдать предпочтение синхронным трактам.

Остаётся выяснить, какому тракту (прямого усиления или синхронного гетеродинного) отдать предпочтение в системах ближнего действия.

Как показано выше, чувствительность приёмных трактов гетеродинного типа даже без УРЧ не хуже чувствительности приёмных трактов прямого усиления. Более того, в [2] показано, что в приёмных трактах гетеродинного типа УРЧ даже вреден.

Поскольку избирательность по соседнему каналу в приёмных трактах гетеродинного типа определяется полосой пропускания УЗЧ, то отпадает необходимость в полосовых LC фильтрах. Следовательно, открывается широкая дорога интегральной технологии производства радиоприёмных устройств со всеми вытекающими отсюда последствиями. Кроме этого, необходимо отметить, что реализовать необходимое усиление на радиочастоте гораздо сложнее, чем на звуковой. Следовательно, настройка и эксплуатация гетеродинных трактов гораздо проще и дешевле, чем трактов прямого усиления.

Поскольку в радиосистемах ближнего действия используются фиксированные частоты, то можно применять гетеродинные тракты с методом прямого захвата, что намного упростит схему приёмного устройства.

Таким образом, с точки зрения простоты схемных решений, настройки, эксплуатации, дешевизны изготовления и надёжности в системах ближнего действия предпочтительнее использовать синхронные гетеродинные приёмные тракты.

Список литературы:

1. *Воловач, В. И.* Реализация структуры обнаружения в радиотехнических устройствах охранной сигнализации [Текст] // Вестник Тольяттинского государственного университета сервиса: Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 1. – Тольятти, ТГУС, 2006. - С. 46–57.

2. *Поляков, В.Т.* Радиолюбителям о технике прямого преобразования [Текст]. – М.: Патриот, 1990. - 262с.

3. Радиоприемные устройства [Текст] : учебное пособие для радиотехн. спец. вузов / Ю.Т. Давыдов, Ю.С. Данич, А.П. Жуковский : под ред. А.П. Жуковского. – М.: Высшая школа, 1989. - 342с.

4. *Сотин, Б.С.* Развитие техники радиоприема. Очерки истории радиотехники [Текст]. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1960. - 446с.

5. *Шелухин, О.И.* Радиосистемы ближнего действия [Текст]. - М.: Радио и связь, 1989. - 240с.

05.13.01

А. А. Султанбеков

Санкт-Петербургский государственный университет
факультет прикладной математики – процессов управления
кафедра управления медико-биологическими системами
Россия, г. Санкт-Петербург
andrey.sultanbekov@gmail.com

УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОДНОГО КЛАССА СУЩЕСТВЕННО НЕЛИНЕЙНЫХ РАЗНОСТНЫХ СИСТЕМ

В работе рассматриваются существенно нелинейные разностные системы треугольного вида. Предполагается, что на исследуемые системы действуют возмущения. Доказывается теорема об устойчивости по нелинейному треугольному приближению. Показывается, что для некоторых классов систем условия, при которых возмущения не нарушают устойчивости нулевого решения, можно ослабить.

Ключевые слова: разностная система, функция Ляпунова, асимптотическая устойчивость.

Постановка задачи. Пусть задана система разностных уравнений

$$x(k+1) = x(k) + f(x(k)), \qquad (1)$$

где $x(k) = (x_1(k), \cdots, x_n(k))^*$, компоненты вектора $f(z)$ являются непрерывно дифференцируемыми при всех $z \in E^n$ однородными функциями порядка $\mu > 1$. Из однородности $f(z)$ следует, что система (1) имеет нулевое решение.

Пусть нулевое решение однородной системы дифференциальных уравнений $\dot{z} = f(z)$ асимптотически устойчиво, тогда нулевое решение системы (1) тоже асимптотически устойчиво [2].

Наряду с системой (1) рассмотрим возмущенную систему

$$\mathrm{x(k+1) = x(k) + f\big(x(k)\big) + r\big(k, x(k)\big).} \qquad (2)$$

Будем считать, что векторная функция $\mathrm{r\big(k, x(k)\big)}$ при $k = 0,1,\cdots$ непрерывна в области $\|z\| < H$, причем для любого k на указанном множестве справедлива оценка $\|r(k,z)\| \leq L\|z\|^{\sigma}$. Здесь H, L, σ — положительные постоянные.

В соответствии с известным критерием устойчивости по нелинейному приближению [2] получаем, что при выполнении неравенства $\sigma > \mu$ нулевое решение системы (2) также асимптотически устойчиво.

Предположим теперь, что в правых частях уравнений нелинейного приближения, кроме однородных членов порядка μ, присутствуют слагаемые меньшего порядка, т. е. вместо системы (1) рассмотрим систему

$$\mathrm{x(k+1) = x(k) + f\big(x(k)\big) + q\big(x(k)\big).} \qquad (3)$$

Здесь векторная функция $q(z)$ непрерывна при $\mathrm{\|z\| < H}$ и удовлетворяет неравенству $\mathrm{\|q(z)\| \leq M\|z\|^{\lambda}}$, $\mathrm{M > 0}$, $0 < \lambda < \mu$. Считаем, что нулевое решение рассматриваемой системы асимптотически устойчиво.

Будем искать условия на порядок возмущения σ, при которых система

$$\mathrm{x(k+1) = x(k) + f\big(x(k)\big) + q\big(x(k)\big) + r\big(k, x(k)\big)} \qquad (4)$$

сохраняет асимптотически устойчивое нулевое решение. В работе [3] ставилась такая же задача только для систем дифференциальных уравнений. Было показано, что из выполнения условия $\sigma > \mu$ уже, вообще говоря, не следует то, что возмущенная система имеет асимптотически устойчивое нулевое решение. Аналогично непрерывному случаю можно показать, что выполнение условия $\sigma > \mu$ также недостаточно для того, чтобы система (4) имела асимптотически устойчивое нулевое решение.

В данной работе будем считать, что система разностных уравнений (3) является треугольной. Найдем условия асимптотической устойчивости нулевого решения для возмущенных систем, а также рассмотрим классы систем, для которых возможно уточнение этих условий.

Устойчивость по нелинейному треугольному приближению. Рассмотрим систему разностных уравнений

$$x_1(k+1) = x_1(k) + f_1(x_1(k)) + q(k, x(k)), \qquad (5)$$

$$x_2(k+1) = x_2(k) + f_2(x_2(k)),$$

где $x_1(k) \in E^{n_1}$, $x_2(k) \in E^{n_2}$, $n_1 + n_2 = n$, $x(k) = (x_1(k), x_2(k))^*$, элементы векторов $f_1(z_1)$ и $f_2(z_2)$ – непрерывно дифференцируемые однородные функции порядка $\mu > 1$, $z_1 \in E^{n_1}$, $z_2 \in E^{n_2}$, $z = (z_1, z_2)^*$, векторная функция $q = q(k, z)$ при $k = 0,1,\cdots$ непрерывна в области $\|z\| < H$ и удовлетворяет неравенству $\|q(k,z)\| \le M\|z_1\|^\alpha \|z_2\|^\beta$, $M > 0$, $\alpha \ge 0$, $\beta > 0$, $\alpha + \beta < \mu$. Система (5) относится к классу так называемых треугольных систем [5].

Будем считать, что нулевые решения однородных систем дифференциальных уравнений

$$\dot{z}_s = f_s(z_s),\ s = 1,2, \qquad (6)$$

асимптотически устойчивы. Известно [2], что в этом случае нулевое решение системы (5) также асимптотически устойчиво.

Рассмотрим теперь возмущенную систему

$$x_1(k+1) = x_1(k) + f_1\big(x_1(k)\big) + q(k, x(k)) + r_1(k, x(k)), \qquad (7)$$

$$x_2(k+1) = x_2(k) + f_2\big(x_2(k)\big) + r_2(k, x(k)).$$

Здесь векторные функции $r_1(k,z)$ и $r_2(k,z)$ при $k = 0,1,\cdots$ непрерывны в области $\|z\| < H$ и удовлетворяют условиям

$$\|r_s(k,z)\| \le L_s\|z\|^\sigma, \qquad (8)$$

$\sigma > 1$, $L_s > 0$, $s = 1,2$. Тогда имеет место следующая теорема.

Теорема 1. *Если выполнено неравенство*

$$\sigma > \mu(\mu - \alpha)/\beta, \qquad (9)$$

то нулевое решение системы (7) *асимптотически устойчиво.*

Доказательство. Известно [7], что из асимптотической устойчивости нулевых решений изолированных подсистем (6) следует существование дважды непрерывно дифференцируемых однородных порядка $\gamma_1 - \mu + 1$ и $\gamma_2 - \mu + 1$ соответственно функций Ляпунова $V_1(z_1)$ и $V_2(z_2)$, удовлетворяющих требованиям теоремы Ляпунова об асимптотической устойчивости. В качестве γ_1 и γ_2 можно выбирать любые рациональные числа большие $\mu + 1$ с четными числителями и нечетными знаменателями. Для системы (7) функцию Ляпунова строим в виде $\mathrm{V}(\mathrm{z}) = \mathrm{V}_1(\mathrm{z}_1) + \mathrm{V}_2(\mathrm{z}_2)$.

Найдется $\widetilde{\mathrm{H}} > 0$ такое, что при $\mathrm{k} \ge 0$, $\|\mathrm{x(k)}\| < \widetilde{\mathrm{H}}$ получаем

$$\Delta \mathrm{V} \le -\widetilde{\mathrm{b}_1}(\|\mathrm{x}_1(\mathrm{k})\|^{\gamma_1} + \|\mathrm{x}_2(\mathrm{k})\|^{\gamma_2}) + \widetilde{\mathrm{b}_2}(\|\mathrm{x}_1(\mathrm{k})\|^{\gamma_1-\mu+\alpha}\|\mathrm{x}_2(\mathrm{k})\|^{\beta} +$$

$$+(\|\mathrm{x}_1(\mathrm{k})\|^{\alpha}\|\mathrm{x}_2(\mathrm{k})\|^{\beta})^{\gamma_1-\mu+1} + (\|\mathrm{x}_1(\mathrm{k})\|^{\sigma} + \|\mathrm{x}_2(\mathrm{k})\|^{\sigma})(\|\mathrm{x}_1(\mathrm{k})\|^{\gamma_1-\mu} +$$

$$+(\|x_1(k)\|^{\alpha}\|x_2(k)\|^{\beta})^{\gamma_1-\mu}) + \|x_1(k)\|^{\sigma(\gamma_1-\mu+1)} + \|x_2(k)\|^{\sigma(\gamma_1-\mu+1)} +$$
$$+\|x_1(k)\|^{\sigma}\|x_2(k)\|^{\gamma_2-\mu} + \|x_2(k)\|^{\gamma_2-\mu+\sigma} + \|x_1(k)\|^{\sigma(\gamma_2-\mu+1)} + \|x_2(k)\|^{\sigma(\gamma_2-\mu+1)}),$$

где $\widetilde{b_1}$, $\widetilde{b_2}$ – положительные постоянные.

Для существования окрестности положения $z = 0$, в которой ΔV будет отрицательно-определенной, достаточно [4], чтобы выполнялись следующие ограничения

$$\gamma_1/\gamma_2 > (\mu - \alpha)/\beta, \quad \gamma_1/\gamma_2 < \sigma/\mu. \qquad (10)$$

Множество допустимых значений параметров γ_1, γ_2 не является пустым, если выполнено условие (9).

Выберем γ_1, γ_2, удовлетворяющие неравенствам (10). Тогда для достаточно малых значений $\|x(k)\|$ и при всех $k \geq 0$ будет справедлива оценка

$$\Delta V \leq -\widetilde{a_1}(\|x_1(k)\|^{\gamma_1} + \|x_2(k)\|^{\gamma_2}),$$

где $\widetilde{a_1}$ – положительная постоянная. Таким образом, функция $V(z)$ удовлетворяет требованиям дискретного аналога теоремы Ляпунова об асимптотической устойчивости [2]. Теорема доказана.

Уточнение условий устойчивости по нелинейному приближению. Пусть $q(k,z) = B(k)g(z_2)$, где матрица $B(k)$ ограничена при $k \geq 0$, компоненты вектора $g(z_2)$ являются непрерывно дифференцируемыми однородными функциями порядка β, $1 < \beta < \mu$. Тогда возмущенная система (7) имеет вид

$$x_1(k+1) = x_1(k) + f_1\big(x_1(k)\big) + B(k)g(x_2(k)) + r_1(k,x(k)), \qquad (11)$$
$$x_2(k+1) = x_2(k) + f_2\big(x_2(k)\big) + r_2(k,x(k)).$$

Здесь $f_1(z_1)$ и $f_2(z_2)$ – непрерывно дифференцируемые однородные функции порядка $\mu > 1$; векторные функции $r_1(k,z)$ и $r_2(k,z)$ при $k = 0,1,\cdots$ непрерывны в области $\|z\| < H$ и удовлетворяют неравенствам (8). Снова считаем, что нулевые решения систем (6) асимптотически устойчивы.

В данном случае условие (9), при выполнении которого возмущения не нарушают асимптотическую устойчивость нулевого решения, принимает вид $\sigma > \mu^2/\beta$.

Положим $C(0) = 0$, $C(k) = \sum_{s=0}^{k-1} B(s)$ при $k = 1,2,\cdots$. Пусть существует число $\varphi, 0 \leq \varphi \leq 1$, такое, что

$$\lim_{k\to\infty} \left|\frac{1}{k^{\varphi}} C(k)\right| \leq d.$$

Здесь d – положительная постоянная. В частности, таким свойством обладают матрицы $B(k)$, средние значения элементов которых равны нулю.

Тогда полученное ограничение $\sigma > \mu^2/\beta$ на порядок возмущений можно ослабить с помощью предложенного в [1] способа построения неавтономных функций Ляпунова для существенно нелинейных систем.

Теорема 2. *Нулевое решение системы* (11) *является асимптотически устойчивым при выполнении условия*

$$\sigma > \begin{cases} \dfrac{\mu^2}{\beta} & \text{при } \varphi \geq \dfrac{\beta}{\mu}, \\ \dfrac{\mu(\mu+1)}{2\beta - \varphi(\mu-1)} & \text{при } \dfrac{2\beta-\mu-1}{\mu-1} \leq \varphi, < \dfrac{\beta}{\mu}, \\ \mu & \text{при } \varphi < \dfrac{2\beta-\mu-1}{\mu-1}. \end{cases}$$

Д о к а з а т е л ь с т в о. Для возмущенной системы функцию Ляпунова выбираем в виде

$$V(k,z) = V_1(z_1) + V_2(z_2) - \left(\frac{\partial V_1}{\partial z_1}\right)^* C(k)g(z_2). \qquad (12)$$

Здесь функции $V_1(z_1)$ и $V_2(z_2)$ обладают такими же свойствами, как и в предыдущей теореме. Функция (12) при всех $\|x(k)\| < H$ и при $k = 0,1,\cdots$ удовлетворяет следующим неравенствам:

$$a_1 \sum_{s=1}^{2} \|x_s(k)\|^{\gamma_s-\mu+1} - (k+1)^{\varphi}\,\eta_1(k)\|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu}\|x_2(k)\|^{\beta} \le V\big(k,x(k)\big) \le$$

$$\le a_2 \sum_{s=1}^{2} \|x_s(k)\|^{\gamma_s-\mu+1} + (k+1)^{\varphi}\,\eta_1(k)\|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu}\|x_2(k)\|^{\beta},$$

где a_1, a_2 – положительные постоянные, функция $\eta_1(k)$ неотрицательная и ограниченная при $k = 0,1,\cdots$.

Найдется $H_1 > 0$ такое, что при $k \ge 0$, $\|x(k)\| < H_1$ справедливо соотношение

$$\Delta V \le -b_1(\|x_1(k)\|^{\gamma_1} + \|x_2(k)\|^{\gamma_2}) + b_2(\|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu+\sigma} +$$
$$+\|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu}\|x_1(k)\|^{\sigma} + \|x_1(k)\|^{\gamma_1+\mu-1} + \|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu-1}\|x_2(k)\|^{2\beta} +$$
$$+\|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu-1}(\|x_1(k)\|^{2\sigma} + \|x_2(k)\|^{2\sigma}) + \|x_1(k)\|^{2\mu}\|x_2(k)\|^{\beta(\gamma_1-\mu-1)} +$$
$$+\|x_2(k)\|^{\beta(\gamma_1-\mu+1)} + \|x_2(k)\|^{\beta(\gamma_1-\mu-1)}(\|x_1(k)\|^{2\sigma} + \|x_2(k)\|^{2\sigma}) +$$
$$+\big(\|x_1(k)\|^{2\mu} + \|x_2(k)\|^{2\beta}\big)(\|x_1(k)\|^{\sigma} + \|x_2(k)\|^{\sigma})^{\gamma_1-\mu-1} +$$
$$+(\|x_1(k)\|^{\sigma} + \|x_2(k)\|^{\sigma})^{\gamma_1-\mu+1} + \|x_2(k)\|^{\gamma_2-\mu}(\|x_1(k)\|^{\sigma} + \|x_2(k)\|^{\sigma}) +$$
$$+(\|x_1(k)\|^{\sigma} + \|x_2(k)\|^{\sigma})^{\gamma_2-\mu+1}) + b_3(k+1)^{\varphi}\eta_2(k)\Psi(\|x_1(k)\|, \|x_2(k)\|),$$

где b_1, b_2, b_3 – положительные постоянные, функция $\eta_2(k)$ неотрицательная и ограниченная при $k = 0,1,\cdots$,

$$\Psi(\|x_1(k)\|, \|x_2(k)\|) = \|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu}\|x_2(k)\|^{\beta-1+\mu} + \|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu+\sigma}\|x_2(k)\|^{\beta-1} +$$
$$+\|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu}\|x_2(k)\|^{\beta-1+\sigma} + \|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu+\sigma(\beta-1)}\|x_2(k)\|^{\mu} +$$
$$+\|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu}\|x_2(k)\|^{\sigma(\beta-1)+\mu} + \|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu+\sigma\beta} + \|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu}\|x_2(k)\|^{\beta\sigma} +$$
$$(\|x_2(k)\|^{\beta} + (\|x_1(k)\|^{\sigma} + \|x_2(k)\|^{\sigma})^{\beta})(\|x_1(k)\|^{\gamma_1-1} + \|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu-1}\|x_2(k)\|^{\beta} +$$
$$+\|x_1(k)\|^{\gamma_1-\mu-1}(\|x_1(k)\|^{\sigma} + \|x_2(k)\|^{\sigma}) + \|x_1(k)\|^{\mu}\|x_2(k)\|^{\beta(\gamma_1-\mu-1)} +$$
$$\|x_2(k)\|^{\beta(\gamma_1-\mu)} + \|x_2(k)\|^{\beta(\gamma_1-\mu-1)}(\|x_1(k)\|^{\sigma} + \|x_2(k)\|^{\sigma}) + (\|x_1(k)\|^{\sigma} +$$
$$+\|x_2(k)\|^{\sigma})^{\gamma_1-\mu} + (\|x_1(k)\|^{\sigma} + \|x_2(k)\|^{\sigma})^{\gamma_1-\mu-1}(\|x_1(k)\|^{\mu} + \|x_2(k)\|^{\beta})). \quad +$$

Если параметры γ_1 и γ_2 удовлетворяют неравенствам

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} > \frac{\mu+1}{2\beta},\ \frac{\gamma_1}{\gamma_2} > \frac{\mu}{\sigma},\ \frac{\gamma_1}{\gamma_2} < \frac{\sigma}{\mu}, \qquad (13)$$

то найдется такое $H_2 > 0$, что при $\|x(k)\| < H_2$ и для всех $k = 0,1,\cdots$ справедлива оценка

$$\Delta V \le -a_3 \sum_{s=1}^{2} \|x_s(k)\|^{\gamma_s} + b_3(k+1)^{\varphi}\eta_2(k)\Psi(\|x_1(k)\|, \|x_2(k)\|),$$

где a_3 – положительная постоянная.

Существует такое положительное число a_4, что при $\|x(k)\| < H$ имеет место соотношение:

$$\sum_{s=1}^{2}\|x_s(k)\|^{\gamma_s} \geq a_4\left(\sum_{s=1}^{2}\|x_s(k)\|^{\gamma_s-\mu+1}\right)^{1+\omega}.$$

Здесь $\omega = \max_{j=1,2}\left(\frac{\mu-1}{\gamma_j-\mu+1}\right)$.

Заметим (см. [2]), что для невозмущенной системы (5) найдутся числа ζ и A такие, что для любого решения $x(k)$, начальные данные которого удовлетворяют условиям

$$k_0 \geq 0, \quad \|x_s(k_0)\| < (\zeta/k_0)^{\frac{1}{(\gamma_s-\mu+1)\omega}}, \quad s = 1,2,$$

при всех $k \geq k_0$ справедливы оценки

$$\|x_s(k)\| < (A/k)^{\frac{1}{(\gamma_s-\mu+1)\omega}}, \quad s = 1,2.$$

Найдем ограничения, при которых существуют такие числа $\tilde{\zeta}$, $\tilde{\mathrm{A}}$ и $\tilde{\mathrm{L}}$, что для любого решения $\mathrm{x(k)}$ возмущенной системы, начальные данные которого удовлетворяют условиям

$$k_0 \geq \tilde{\mathrm{L}}, \quad \|x_s(k_0)\| < \left(\tilde{\zeta}/k_0\right)^{\frac{1}{(\gamma_s-\mu+1)\omega}}, \quad s = 1,2, \qquad (14)$$

при всех $k \geq k_0$ имеют место оценки

$$\|x_s(k)\| < \left(\tilde{\mathrm{A}}/k\right)^{\frac{1}{(\gamma_s-\mu+1)\omega}}, \quad s = 1,2. \qquad (15)$$

Рассмотрим случай, когда для γ_1 и γ_2 выполнено соотношение $\gamma_1/\gamma_2 \geq 1$. Тогда $\min_{i=1,2}(\gamma_i - \mu + 1) = \gamma_2 - \mu + 1$. В соответствии с подходом, использовавшимся в работах [1, 2], выберем числа $\tilde{\zeta} > 0$ и $\tilde{A} > 0$ так, чтобы они удовлетворяли ограничениям

$$\tilde{\zeta} > \frac{3a_2}{\omega a_3 a_4 2^{\omega}}, \quad \tilde{A} > \frac{3a_2}{\omega a_3 a_4}\left(\frac{3a_2}{a_1}\right)^{\omega}.$$

Далее задаем $\tilde{\mathrm{L}} > 0$ настолько большим, чтобы при $k \geq \tilde{\mathrm{L}}$ были справедливы следующие соотношения:

$$(k+1)^{\varphi}\eta_1(k)\left(\tilde{\mathrm{A}}/k\right)^{\frac{\beta-(\gamma_1-\mu+1-\gamma_1+\mu)\frac{\gamma_2-\mu+1}{\gamma_1-\mu+1}}{\mu-1}} < \frac{a_1}{2},$$

$$b_3(k+1)^{\varphi}\eta_2(k)\left(\tilde{\mathrm{A}}/k\right)^{\frac{\nu_2-(\gamma_1-\nu_1)\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}{\mu-1}} < \frac{a_3}{2p}, \text{ если } \gamma_1-\nu_1 \geq 0,$$

$$b_3(k+1)^{\varphi}\eta_2(k)\left(\tilde{\mathrm{A}}/k\right)^{\frac{(\nu_1-\gamma_1)(\gamma_2-\mu+1)}{(\gamma_1-\mu+1)(\mu-1)}}\left(\tilde{\mathrm{A}}/k\right)^{\frac{\nu_2}{\mu-1}} < \frac{a_3}{2p}, \text{ если } \gamma_1-\nu_1 < 0,$$

$$\left(\tilde{\mathrm{A}}/k\right)^{\frac{1}{(\gamma_s-\mu+1)\omega}} < \frac{\delta}{2}, \qquad s = 1,2,$$

где ν_1 и ν_2 – степени $\|x_1(k)\|$ и $\|x_2(k)\|$ слагаемых в $\Psi(\|x_1(k)\|, \|x_2(k)\|)$; p – количество слагаемых в $\Psi(\|x_1(k)\|, \|x_2(k)\|)$; $\delta = \max\{H, H_1, H_2\}$.

Для существования такого $\tilde{\mathrm{L}}$ достаточно, чтобы выполнялись ограничения

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} > \frac{1}{\beta-\varphi(\mu-1)}, \quad \frac{\gamma_1}{\gamma_2} > \frac{\mu+1}{2\beta-\varphi(\mu-1)}, \quad \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \geq 1 \qquad (16)$$

Объединяя условия (13) и (16), получаем

$$\max\left\{\frac{1}{\beta-\varphi(\mu-1)}, \frac{\mu+1}{2\beta-\varphi(\mu-1)}, 1\right\} < \frac{\gamma_1}{\gamma_2} < \frac{\sigma}{\mu}.$$

Можно заметить, что множество γ_1, γ_2 не пусто, если выполнено соотношение

$$\sigma > \begin{cases} \dfrac{\mu}{\beta-\varphi(\mu-1)} & при\ \varphi \geq \dfrac{\beta}{\mu}, \\ \dfrac{\mu(\mu+1)}{2\beta-\varphi(\mu-1)} & при\ \dfrac{2\beta-\mu-1}{\mu-1} \leq \varphi, < \dfrac{\beta}{\mu}, \\ \mu & при\ \varphi < \dfrac{2\beta-\mu-1}{\mu-1}. \end{cases}$$

Так же как и в доказательстве теоремы 1 работы [6], можно показать, что при условии (14) оценки (15) имеют место для любого $k \geq k_0$.

Аналогично поступая при $\gamma_1/\gamma_2 < 1$, приходим к тому, что если имеют место неравенства

$$\max\ \left\{\frac{\mu}{\sigma}, \frac{1+\varphi(\mu-1)}{\beta}, \frac{\mu+1+\varphi(\mu-1)}{2\beta}\right\} < \frac{\gamma_1}{\gamma_2} < 1,$$

то такие $\tilde{\zeta}$, $\tilde{A}$ и $\tilde{L}$ найдутся. Данная ситуация возможна при $\varphi < \frac{2\beta-\mu-1}{\mu-1}$, если $\sigma > \mu$.

Объединяя условия, накладываемые на σ, получаем, что множество допустимых значений параметров γ_1, γ_2, для которых существуют $\tilde{\zeta}$, $\tilde{A}$ и $\tilde{L}$, не является пустым, если выполнено условие

$$\sigma > \max\ \left\{\frac{\mu}{\beta-\varphi(\mu-1)}, \frac{\mu(\mu+1)}{2\beta-\varphi(\mu-1)}, \mu\right\}.$$

В случае, когда $\sigma > \mu^2/\beta$, данный подход, основанный на построении неавтономных функций Ляпунова, не дает лучших, чем в теореме 1, условий, поэтому воспользуемся результатами предыдущей теоремы.

Следствие. *Пусть* $C(k)$ *ограничена при* $k = 0,1,\cdots$. *Тогда при выполнении неравенства* $\sigma > \mu \max\ \{1; (\mu+1)/(2\beta)\}$ *нулевое решение системы* (11) *асимптотически устойчиво.*

П р и м е р 1. Рассмотрим систему

$$x_1(k+1) = x_1(k) - {x_1}^3(k) + \Psi(k){x_2}^2(k), \qquad (17)$$
$$x_2(k+1) = x_2(k) - {x_2}^3(k).$$

Считаем, что $\Psi(k)$ ограничена при $k = 0,1,\cdots$. Тогда нулевое решение системы (17) является асимптотически устойчивым.

Теперь рассмотрим возмущенную систему

$$x_1(k+1) = x_1(k) - {x_1}^3(k) + \Psi(k){x_2}^2(k) + {x_2}^\sigma(k), \qquad (18)$$
$$x_2(k+1) = x_2(k) - {x_2}^3(k) + {x_1}^\sigma(k),$$

где σ – положительное рациональное число с нечетным знаменателем.

В соответствии с теоремой 1 получаем, что при $\sigma > 9/2$ нулевое решение системы (18) также является асимптотически устойчивым.

Предположим теперь, что $\Psi(\mathrm{k}) = \cos(\pi\sqrt{\mathrm{k}})$, $\mathrm{k} = 0,1,\cdots$. Нетрудно показать, что последовательность $\mathrm{C(k)}$ $(\mathrm{C}(0) = 0,\ \mathrm{C(k)} = \sum_{\mathrm{s}=0}^{\mathrm{k}-1} \cos\left(\pi\sqrt{\mathrm{s}}\right),\ k = 1,\cdots)$ не является ограниченной, и то, что при $\varphi > 1/2$

$$\lim_{k\to\infty} \frac{1}{k^\varphi} \mathrm{C}(k) = 0.$$

Применяя теорему 2, получаем, что при $\sigma > 4$ система (18) имеет асимптотически устойчивое нулевое решение. Видно, что теорема 2 задает большую область допустимых значений для σ, нежели теорема 1.

Если $\Psi(k) = \sin k$, то $\sum_{s=0}^{k-1} \sin k$ будет ограничена при $k = 0,1,\cdots$. Согласно следствию из теоремы 2 при $\sigma > 3$ возмущения не нарушают асимптотической устойчивости нулевого решения. Следствие теоремы 2 задает наибольшую область допустимых значений для параметра σ.

Список литературы:

1. Александров А. Ю. К вопросу об устойчивости по неавтономному первому приближению // Изв. вузов. Матем. – 2000. – № 10. – С. 13–20.
2. Александров А. Ю., Жабко А. П. Об устойчивости решений нелинейных разностных систем // Изв. вузов. Матем. – 2005. – № 3. – С. 3–12.
3. Александров А. Ю., Платонов А. В. Об устойчивости по нелинейному неоднородному приближению // Матем. заметки. – 2011. – Т. 90, № 6. – С. 803–820.
4. Зубов В. И. Математические методы исследования систем автоматического регулирования. – Л.: Судпромгиз, 1959. – 324 с.
5. Калитин Б. С. О принципе сведения для асимптотически треугольных дифференциальных систем // Прикл. математика и механика. – 2007. – Т. 71, № 3. – С. 389–400.
6. Султанбеков А. А. Некоторые условия устойчивости нелинейных неавтономных разностных систем // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 10. – 2012. Вып. 1. – С. 111–120.
7. Rosier L. Homogeneous Lyapunov function for homogeneous continuous vector field // Systems & Control Letters. – 1992. – Vol. 19. – P. 467–473.

05.19.02

Д. Д. Шабалов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал НИЯУ МИФИ
инженерно-технологический факультет
кафедра технологии и проектирования
Россия, г. Димитровград
den.schabalov@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОБИВА НЕТКАНОГО ПОЛОТНА НА ЕГО СВОЙСТВА

В работе представлены результаты изучения данных, характеризующих обработку нетканого полотна последовательно на трёх иглопробивных машинах. Процесс формирования нетканого полотна оценен с помощью интенсивности пробива (иглопрокалывания) полотна, который сочетает в себе геометрические особенности иглы, зазоры и расстояния между деталями иглопробивных машин в зоне формирования нетканого полотна. Определена степень влияния интенсивности пробива полотна на его свойства.

Ключевые слова: нетканое полотно, интенсивность пробива нетканого материала, воздухопроницаемость, уравнение регрессии, дисперсия.

В ходе исследования характеристик формируемого нетканого полотна оценили влияние параметров настройки иглопробивных машин (ИПМ) на воздухопроницаемость и объёмную плотность полотна. Для испытаний использовали нетканое полотно арт. ПНВ-ПС-307П из лавсановых штапельных волокон 0,75 текс и 1,7 текс, в процентном соотношении 30/70, выпускаемое в условиях ООО «Номатекс» на линии «Биаджоли». Критерий интенсивности пробива полотна ($К_{инт.}$) объединяет все необходимые заправочные параметры ИПМ и геометрические особенности иглы [1]. Условное число зазубрин отдельной иглы, проникающих в момент пробива полотна, характеризуется критерием интенсивности пробива иглы η, зазубрин, рассчитывающимся по полученным нами формулам:

- на 1 (3) ИПМ (верхний пробив):

$$\eta_{(Dilo\ 1\ и\ 3)} = \frac{h_{пр} + h_{пол(ср)} - h - L_{о\text{-}з}}{L_{заз}}, \quad (1)$$

- на 2 ИПМ (нижний пробив):

$$\eta_{(Dilo\ 1\ и\ 3)} = \frac{h_{пр} - L_{о\text{-}з}}{L_{заз}}, \quad (2)$$

где: $h_{пр}$ – глубина прокалывания холста (полотна), мм; $h_{пол(ср)}$ – средняя толщина полотна в зоне пробива, мм; h - расстояние между очистительным и подкладочным столами ИПМ, мм; $L_{о\text{-}з}$ – кратчайшее расстояние от острия иглы до зазубрины, мм; $L_{заз}$ - кратчайшее расстояние между зазубринами, мм (Рисунок 1).

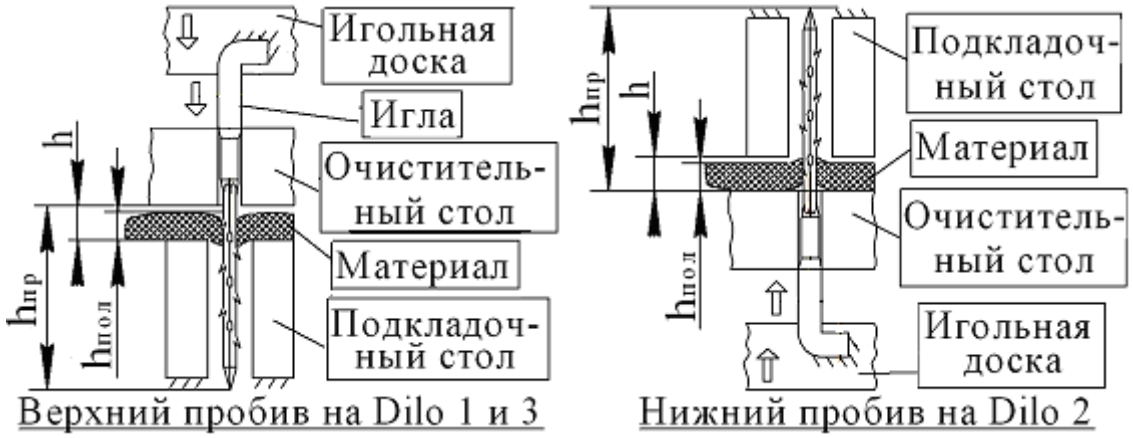


Рисунок 1 – Зона пробива на ИПМ.

В таблице 1 представили: параметры ИПМ, игл, расчёты критерия интенсивности пробива иглы по формулам (1, 2).

Таблица 1 – Определение интенсивности пробива иглы.

Параметр	ИПМ	1	2	3
Расстояние между столами, мм	h	15	9	7
Глубина пробива полотна, мм	$h_{пр}$	10	8,5	8
Расстояние между зазубринами иглы, мм	$L_{заз}$	2,12	1,60	1,60
Минимальное расстояние от острия иглы до зазубрины, мм	$L_{о-з}$	6,36	4,8	4,8
Толщина полотна в середине ИПМ, мм	$h_{пол(ср)}$	10,75	5,96	5,29
Интенсивность пробива иглы, зазубрин	η	0,42	2,31	0,93

Далее была определена интенсивность пробива полотна $К_{инт}$, тыс. зазубрин/см^2, и его нарастающая интенсивность $\sum К_{инт}$, тыс. зазубрин/см^2, на трёх ИПМ:

$$К_{инт} = \frac{\eta \cdot L_{пр} \cdot П_{игл}}{v_м \cdot 60 \cdot 1000}, \quad (3)$$

$$\sum К_{инт} = К_{инт(Dilo\ 1)} + К_{инт(Dilo\ 2)} + К_{инт(Dilo3)}, \quad (4)$$

где: $П_{игл}$, игл/(см^2·мин) - количество взаимодействий игл с нетканым полотном на его см^2 в минуту, $L_{пр}$ – длина игольного стола ИПМ, мм; $v_м$ – скорость перемещения полотна в зоне пробива, мм/с. В таблице 2 представили: параметры ИПМ, расчёты критерия интенсивности пробива нетканого полотна по формулам (3, 4).

Таблица 2 – Определение интенсивности пробива нетканого полотна.

Параметр		ИПМ	1	2	3
Средняя объёмная плотность полотна, г/см^3		ОП	0,073	0,122	0,131
Средняя воздухопроницаемость полотна, м^3/(м^2·с)		В	1,72	1,68	1,62
Плотность пробива, игл/(см^2·мин)		$П_{игл}$	100,2	140,2	140,2
Длина игольного стола, мм		$L_{пр}$	700	610	610
Скорость движения полотна, мм/с		$v_м$	7,2	11,54	11,54
Средняя интенсивность пробива полотна, тыс. зазубрин/см^2	На ИПМ	$К_{инт}$	0,068	0,286	0,115
	Нарастающая по линии	$\sum К_{инт}$	0,068	0,354	0,469

Установлено влияние интенсивности пробива нетканого полотна на его воздушную проницаемость и его объёмную плотность (Рисунок 2).

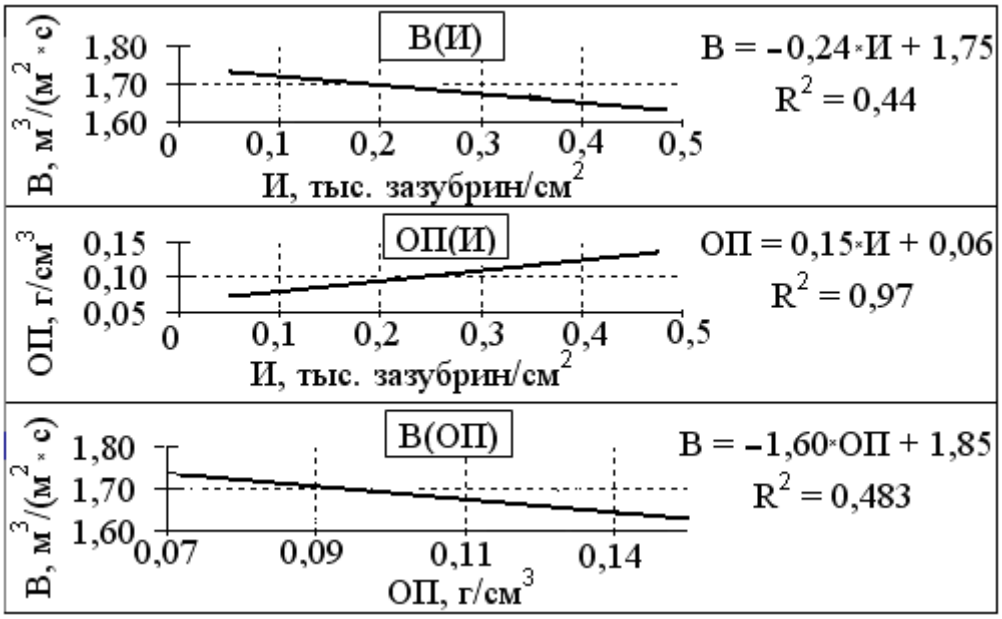


Рисунок 2 - Зависимости параметров полотна.

Благодаря уменьшающейся воздухопроницаемости нетканого полотна за счет сокращения расстояний между его волокнами, зависимость воздухопроницаемости нетканого материала от интенсивности пробива полотна В(И), а также зависимость его воздухопроницаемости от объёмной плотности В(ОП) имеют убывающие регрессии. Причина сокращения пространства между волокнами нетканого полотна кроется в переплетении волокон между собой зазубринами игл ИПМ и за счет сближения волокон в процессе обработки на ИПМ. Зависимость объёмной плотности нетканого материала от интенсивности пробива полотна ОП(И) имеет возрастающую регрессию, так как в процессе переплетения волокон между собой зазубринами игл ИПМ происходит сокращение расстояний между волокнами и увеличение числа волокон в одном и том же объёме полотна.

Таблица 3 – Определение статистической значимости и надежности уравнения регрессии.

Зависимость		ОП(И)	В(ОП)	В(И)
Средняя ошибка аппроксимации А, %		3,43	2,04	2,13
Проверка условия А < 8 - 10 %		Качество построенных моделей хорошее		
Индекс детерминации, R^2		0,966	0,483	0,440
Линейный коэффициент парной корреляции, r_{xy}		0,983	0,695	0,664
Теснота связи по Чеддоку		весьма тесная	заметная	заметная
Критерий Фишера $F_{факт}$		7115	234	197
Проверка условия $F_{факт} > F_{табл}$		значимо	значимо	значимо
Критерий Стьюдента $t_{факт}$ для коэффициентов *a*, b_1,…, b_n в уравнении регрессии вида $y=a+bx_1+…+bx_n$	Коэффициент *a*	0,064	0,069	1,745
	$t_{факт}$ (для *a*)	105	158	305
	Проверка условия $t_{факт} > t_{табл}$	значимо	значимо	значимо
	Коэффициент *b*	0,15	-1,60	-0,24
	$t_{факт}$ (для *b*)	84	15	14
	Проверка условия $t_{факт} > t_{табл}$	значимо	значимо	значимо
По степеням свободы $df_1 = 1$ (число параметров при x) и $df_2 = n - df_1 - 1 = 250$ (объём выборки n = 252) определен табличный критерий Фишера ($F_{табл} = 3,88$) и Стьюдента ($t_{таб} = 1,96$) с доверительной вероятностью *a*=0,05 [2].				

Коэффициент детерминации R^2 характеризует долю дисперсии, объясняемую регрессией, в общей дисперсии результативного признака [3].

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,966$ подтверждает увеличение объёмной плотности нетканого полотна, которое происходит, в основном, в результате пробива нетканого полотна. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,966$, позволяет сказать, что интенсивностью пробива полотна объясняется 96,6 % дисперсии его объёмной плотности (Таблица 3), а на долю неучтенных признаков приходится 3,4 %. К неучтенным признакам можно отнести увеличение свободного пространства между волокнами нетканого полотна, возникшего от роста численности отверстий, оставленных в нём иглами ИПМ. Также дисперсия объёмной плотности частично может зависеть на 3,4 % от сокращения размера объёма нетканого полотна в результате его натяжения в зонах пробива.

Объёмной плотностью нетканого материала объясняется 48,3 % его дисперсии воздухопроницаемости, а на долю неучтенных признаков приходится 51,7 %. При коэффициенте детерминации ($R^2 = 0,483$) следует обратить внимание не только на увеличение объёмной плотности в процессе пробива нетканого полотна. Распределение дисперсии воздухопроницаемости полотна в процентах по не учтенным факторам таково (Таблица 3): 44 % приходится на интенсивность пробива полотна и 7,7 % (100 – 48,3 – 44) – спад воздухопроницаемости нетканого полотна в результате сокращения его размеров (утонения) при натяжении.

Интенсивность пробива нетканого полотна оказывает влияние на его воздухопроницаемость, то есть может создать дополнительную проходимость воздушного потока в полостях нетканого полотна, оставленных иглами и их зазубринами; зависит от глу-

бины проникновения игл и их зазубрин в материал; также зависит от частоты взаимодействия игл с нетканым материалом.

Уравнение регрессии В = - 0,24·И + 1,75 показывает, что с увеличением интенсивности пробива нетканого полотна в среднем на 1 тыс. зазубрин/см^2 (Таблица 2) происходит незначительное уменьшение его воздухопроницаемости, которое составляет примерно 0,24 м^3/(м^2·с) или 14 % (0,24:1,72·100%) от её начального значения 1,72 м^3/(м^2·с). Благодаря дополнительной воздушной проходимости отверстий, оставленных иглами ИПМ в нетканом полотне, спад воздухопроницаемости замедляется в процессе обработки на ИПМ. Интенсивностью пробива полотна объясняется 44 % дисперсии воздухопроницаемости (при $R^2 = 0,44$), а на долю остальных неучтенных факторов приходится 56 %, из них: 48,3% - это объёмная плотность полотна; 7,7 % (56 - 48,3) - тот же спад воздухопроницаемости нетканого полотна в результате сокращения его размеров при натяжении.

Выводы

1. Нами рассчитан критерий интенсивности пробива нетканого полотна арт. ПНВ-ПС-307П, вырабатываемого на линии «Биаджоли», объединяющий в себе заправочные параметры ИПМ и геометрические особенности иглы.

2. Получены статистически значимые модели, описывающие зависимость воздухопроницаемости нетканого полотна от его объемной плотности и зависимость объёмной плотности нетканого полотна от его интенсивности пробива, а так же зависимость воздухопроницаемости нетканого материала от интенсивности пробива продукта в процессе его формирования.

3. Установлено обратно - пропорциональное изменение воздухопроницаемости с изменением объёмной плотности нетканого материала и интенсивностью пробива полотна. Также установлено, что изменение воздухопроницаемости нетканого полотна вызвано не только изменением его объёмной плотности и интенсивностью пробива, но и другими характеристиками материала – сокращением пространства между волокнами за счет натяжения нетканого полотна в зоне его формирования, пропускной способностью воздушного потока в полостях, оставленных иглами ИПМ.

Список литературы:

1. *Горчакова В.М., Сергеенков А.П., Волощик Т.Е.* Оборудование для производства нетканых материалов. Учебное пособие — М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2006. - 680 с. ISBN 5-8196-0082-7 – Том 2 с. 11 – 13, 16 – 20, 36 – 40, 42 – 50, 86 – 119.

2. *Г.Л. Громыко.* Теория статистики. Учебник / Под ред. проф. Г.Л.Громыко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2005 г. – 476 с. ISBN 5-16-002158-2 с. 109 – 118, 156 – 159, 186 – 197, 256 – 267.

3. *Ноздрина, Н. А.* Эконометрика. Множественная регрессия, система эконометрических уравнений и временные ряды в эконометрических исследованиях. Учебное пособие. Часть 2. / Н. А. Ноздрина.- Димитровград: ДИТУД УлГТУ, 2006. - 82 с./ – с. 4 – 11, с 40 – 45.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

Б.Н. Иванов, Р.Н. Костромин, В.С. Минкин
ГЕРМЕТИКИ ДЛЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ НА БАЗЕ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

Разработаны новые рецептуры составов герметиков на основе жидких тиоколов с добавлением серосодержащих битуминозных песчаников. Получены герметизирующие композиции с заданной жизнеспособностью, высокой адгезией и стабильными физико-механическими свойствами. Данные герметизирующие композиции прошли пробные испытания и рекомендованы для промышленного применения.

Ключевые слова: герметизирующие композиции, полисульфидные олигомеры, битуминозный песчаник, адгезия, жизнеспособность, рецептурный состав.

B.N. Ivanov, R.N. Kostromin, V.S. Minkin
SEALANTS FOR THE OIL INDUSTRY BASED ON POLYSULFIDE OLIGOMERS

New receipts for sealing compositions, based on liquid thiocols mixed with added sulphur-containing bituminous sandstones, have been developed. As a result, sealing compositions with preset viability, high adhesion and stable physic-mechanical properties where made. These compositions passed all the tests and are recommended for industrial production.

Keywords: sealing compositions, polysulfide oligomers, bituminous sandstone, adhesion, viability, prescription composition.

В.К. Половняк, В.А. Сарбулак-Протасов, Д.Ф. Хайбрахманова
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ КАЗАНИ И ОКРЕСТНОСТЕЙ

Проведен анализ жесткости воды из различных источников г. Казани и окрестностей (более 30 проб), проведен сопоставительный анализ родниковой и водопроводной воды и показано, что без дополнительной очистки водопроводную воду для питья применять не следует.

Ключевые слова: питьевая вода, жесткость, ионы тяжелых металлов.

V.K. Polovnyak, V.A. Sarbulak-Protasov, D.F. Haybrahmanova
ENVIRONMENTAL ISSUES OF DRINKING WATER AND ENVIRONS OF KAZAN

The analysis of the hardness of the water from various sources of Kazan and the surrounding area (30 samples), a comparative analysis of spring water and tap waterand it is shown that without additional purification tap water for drinking should not be used.

Keywords: Drinking water, hardness, heavy metal ions.

Е.Н. Бурлуцкая, П.А. Данилов, Т.С. Демьянова, В.Н. Храмов
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА МИКРОПОВРЕЖДЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТВЕРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

В работе приведены экспериментальные результаты по исследованию характера микроповреждений на поверхностях твердых

E.N. Burlutskaya, P.A. Danilov, T.S. Dem'yanova, V.N. Khramov
THE ANALYSIS OF THE MICRODAMAGES CHARACTER ON SURFACES OF HARD TOOTH TISSUES AT THE ACTION BY LASER PULSES WITH VARIOUS DURATIONS

The experimental results on analysis of the microdamages character on surfaces of hard tooth tissues (enamel, dentine) at the action by pulses of neodymium laser with various

тканей зуба при воздействии лазерными импульсами неодимового лазера различной длительности, а также предварительная оценка эффекта экранирования лазерной плазмой воздействующего излучения. Эксперименты на свежеудаленных человеческих зубах показали преимущество лазерно-плазменного метода, заключающееся в отсутствии оплавления внутренних поверхностей образующегося кратера, карбонизации тканей и нежелательных микроповреждений.

Ключевые слова: взаимодействие лазерного излучения с веществом, эмаль, дентин, лазерно-плазменное воздействие, лазеры в стоматологии.

durations (from nanoseconds up to microseconds) and also a preliminary estimate of shielding effect of acting radiation by laser plasma are given in this paper. Experiments on the freshly-extracted human teeth have shown the advantage of the laser-plasma method consisting in absence of fusion of interior surfaces of the generatored crater, carbonization of tissues and undesirable microdamages.

Keywords: laser-matter interaction, lasers in stomatology, laser plasma action, enamel, dentine.

О.Л. Головков, Г.А. Купцова, В.А. Степанов

ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ В КРИСТАЛЛЕ ND:YAG-ЛАЗЕРА ПРИ НАКАЧКЕ ЛАЗЕРНЫМИ ДИОДАМИ

В статье исследованы причин возникновения двулучепреломления в кристалле Nd^{3+}:YAG-лазера при накачке лазерными диодами.

Ключевые слова: двулучепреломление, Nd^{3+}:YAG-лазер, тепловая линза.

O.L. Golovkov, G.A. Kupcova, V.A. Stepanov

BIREFRINGENT IN CRYSTAL OF ND:YAG-LASER WITH DIODE LASER PUMPING

In article, authors research a reason of arising birefringent in crystal of Nd:YAG-laser with diode laser pumping.

Keywords:Birefringent, Nd:YAG-laser, thermal lens.

Р.Х. Закиров, Ю.Г. Коноплев, В.И. Митряйкин, О.А. Саченков

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОМЕХАНИКИ СУСТАВА

В работе представлена параметрическая трехмерная модель тазобедренного сустава и реализация на её основе шарнирной модели пояса нижних конечностей. Приведены результаты расчетов по определению сил, действующих в тазобедренном суставе при элементарных движениях.

Ключевые слова: биомеханика, тазобедренный сустав, математическое моделирование, эндопротезирование.

R.H. Zakirov, Y.G. Konoplev, V.I. Mitryaikin, O.A. Sachenkov

SIMULATION OF HIP JOINT BIOMECHANICS

A parametric 3D model of hip and hinged belt model is shown. For the given model was calculated to determine the forces acting at the hip at the elementary movements.

Keywords: biomechanics, hip, mathematical modeling, arthroplasty.

Г.О. Мареев, А.В. Скрипаль, Д.А. Усанов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОДИННОГО ЭФФЕКТА В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРАХ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НАНОСМЕЩЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ

G.O. Mareev, A.V. Skripal, D.A. Usanov

USAGE OF THE LASER AUTODYNE EFFECT FOR ASESSMENT NANOVIBRATION DISPLACEMENTS OF BIOLOGICAL OBJECTS

ОБЪЕКТОВ

В работе представлены основные возможности использования автодинного эффекта, возникающего в полупроводниковых лазерах, для измерения наносмещений биологических объектов. Проведены измерения смещения барабанной перепонки человека in vivo (50 отологически здоровых лиц).

Ключевые слова: автодинный эффект, полупроводниковый лазер, барабанная перепонка.

The results of autodyne effect usage for assessment nanovibration displacements of biological objects have been presented. The article describes the theory and the operation of autodyne system for measuring human tympanic membrane displacement (studied on 50 normal people).

Key words: autodyne effect, semiconductor laser, tympanic membrane.

Ф.Р. Шакирзянов

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ МЕТОДИК РАСЧЕТА СИСТЕМЫ “ТОНКОСТЕННАЯ КОНСТРУКЦИЯ-ГРУНТ” С УЧЕТОМ ВЫЕМКИ ГРУНТА И ПОЛЗУЧЕСТИ

Анализируются две методики определения предельной нагрузки и осадки системы “тонкостенная конструкция-грунт” от воздействия собственного веса системы и внешних нагрузок. В первой методике оценка запаса предельной нагрузки системы проводится на основе теории предельного равновесия, а осадка определяется по жеско-ползучей модели деформирования. Вторая методика расчета основана на модели упруго-вязко-пластического деформирования, в которой прослеживается процесс изменения напряженно-деформированного состояния системы с учетом деградации и экскавации грунта.

Ключевые слова: механика грунтов, ползучесть, пластичность, предельная нагрузка, метод конечных элементов.

F.R. Shakirzyanov

COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCULATING METHODS THE SYSTEM “THIN-WALLED STRUCTURE-SOIL” WITH EXCAVATION, CREEP AND DEGRADATION

In this paper analyzed two methods of determining the limit load and settlement of "thin-walled structure-soil" under its own weight and external loads. In the first method the limit load assessment of the system is based on the theory of limiting equilibrium, and the settlement is determined by the rigid creeping model deformation. The second method is based on the model of elasto-visco-plastic deformation, which outlined the process of stress-strained state system taking into account degradation of mechanical properties of the soil, and gradual excavation.

Keywords: soil mechanics, creep, plasticity, limit load, finite element method.

Н.А. Гавриленко, Н.В. Саранчина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАЛЛАДИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИТИЗОНА, ИММОБИЛИЗОВАННОГО В ПОЛИМЕТАКРИЛАТНУЮ МАТРИЦУ

Обобщены результаты исследований по взаимодействию палладия (II) с дитизоном, иммобилизованным в полиметакрилатную матрицу. Разработана методика твердофазно-спектрофотометрического определения палладия. Диапазон

N.A. Gavrilenko, N.V. Saranchina

DETERMINATION OF PALLADIUM USING DITHIZONE IMMOBILIZED IN A POLYMETHACRYLATE MATRIX

The interaction of palladium (II) with dithizone immobilized in a polymethacrylate matrix was studies. The solid-phase spectrophotometric procedure was proposed for determination of palladium with the range of determinated concentrations 0,1-1,0 mg/L.

определяемых содержаний палладия (II) составляет 0,1-1,0 мг/л.

Ключевые слова: палладий (II), полиметакрилатная матрица, иммобилизованный дитизон, твердофазная спектрофотометрия.

Keywords: palladium(II), polymethacrylate matrix, immobilized dithizone, solid-phase spectrophotometry.

И.В. Голиков, Д.И. Донская, А.А. Ильин, Е. А. Индейкин, В.Г. Курбатов

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЭПОКСИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛА

Изучено влияние аминного отвердителя модифицированного полианилином (ПАНи) на противокоррозионные свойства эпоксидных покрытий в различных коррозионно-активных средах. Показано, что добавка ПАНи в эпоксидные покрытия позволяет повысить противокоррозионные свойства. Установлено, что защитное действие эпоксидных покрытий модифицированных ПАНи сильно зависит от используемой коррозионно-активной среды.

Ключевые слова: эпоксидные покрытия, полианилин, противокоррозионные свойства, спектроскопия электрохимического импеданса.

I.V. Golikov, D.I. Donskaya, A.A. Iliyn, E.A. Indeikina, V.G. Kurbatov

THE MODIFIED EPOXY COATING FOR CORROSION PROTECTION OF METAL

The influence of the amine hardener modified by polyaniline (PANI) on the anticorrosion properties of epoxy coatings in different corrosion-active environments was studied. It is shown that the addition of PANI in the epoxy coatings can improve its anticorrosion properties. Established that the protective effect of epoxy coatings modified by PANI strongly depends on the corrosion-active environment.

Keywords: Epoxy coatings, polyaniline, anticorrosion properties, electrochemical impedance spectroscopy.

С.В. Дворяк, Г.В. Маврин, И.А. Насыров, Д.Д. Фазуллин

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ФТОРОПЛАСТОВОГО СОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ СТОЧНЫХ ВОД РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ

Нефтесодержащие сточные воды представляют значительную токсикологическую опасность для водных экосистем и для человека. Исследование методов очистки сточных вод от растворенных и коллоидных органических загрязнений весьма актуальны. Проведены исследования фильтрационных свойств зерен фторопласта-4 по отношению к эмульгированным и неэмульгированным нефтепродуктам. Показан коалесцирующий эффект нефтяной эмульсии на поверхности зерен фторопласта. Определена

S.V. Dvoryak, G.V. Mavrin, I.A. Nasyrov, D.D. Fazullin

FILTRATION PROPERTIES OF THE POLYTETRAFLUOROETHYLENE (PTFE) SORBENT FOR WASTEWATER TREATMENT BY DIFFERENT LEVELS OF POLLUTION BY PETROLEUM PRODUCTS

Oil-containing wastewater present significant toxicological danger to aquatic ecosystems and to humans. Investigation of wastewater treatment by dissolved and colloidal organic pollutants are highly relevant. The investigations of filtration properties of the grains polytetrafluoroethylene with respect to the emulsified and no emulsified petroleum products. Shows the effect of coalescing oil emulsion on the surface of grains of polytetrafluoroethylene. Determination of the effectiveness of the proposed method of water purification from petroleum products.

эффективность предлагаемого метода очистки воды от нефтепродуктов.

Ключевые слова: фильтрация, коалесценция, адсобрция, нефтепродукты, смазочно-охлаждающие жидкости, фторопласт-4.

Key words: filtration, coalescence, adsorption, petroleum product, coolant-cutting fluids, polytetrafluoroethylene.

Л.Х. Абдулхаликова

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОПАСТИ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

В статье исследуются механические свойства лопастей из стеклопластика в зависимости от температурного режима их изготовления и термонапряжений, возникающих в процессе полимеризации изделия.

Ключевые слова: стеклопластик, лопасть из стеклопластика, полимеризация, термонапряжения.

L.H. Abdulhalikova

THE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF TECHNOLOGICAL FACTORS AND THERMOTENSIONS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE BLADES MADE OF FIBERGLASS

The mechanical properties of the blades made of fiberglass are studied. These properties depend on the temperature regime of the blades production and the thermotensions that occur during the polymerization product.

Keywords: fiberglass, blade made of fiberglass, polymerization, thermotensions.

В.В. Андреев, А.Л. Виноградов, М.К. Седов

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ МЕТАЛЛОВ

Прогнозирование показателей сопротивления усталости металлов практически всегда осложняется недостатком экспериментальных данных и отсутствием моделей, позволяющих учесть сложное взаимодействие совокупности факторов, определяющих условия циклического нагружения. Использование искусственных нейронных сетей (ИНС) позволяет отчасти решить эту проблему. Однако при этом возникают новые задачи, связанные, например, с формированием сети оптимальной структуры. Цель работы заключалась в исследовании влияния параметров настройки ИНС, а также характеристик обучающей выборки на точность прогноза показателей сопротивления усталости на основе сравнения результатов, полученных с использованием ИНС и результатов аппроксимации исходной выборки.

V.V. Andreev, A.L. Vinogradov, M.K. Sedov

THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK PARAMETERS OPTIMIZATION TO METAL FATIGUE INDICATORS PREDICTING

Forecasting of metals fatigue indicators are almost always complicated by the lack of experimental data and the lack of models that take into account the complex interaction of the factor combinations that determine the conditions of cyclic loading. The use of artificial neural networks (ANN) can partly solve this problem. However, there are new problems, such as those associated with the formation of the optimal structure of the network. The purpose of the work was to study the effect of the settings of ANN, as well as characteristics of the training set on prediction accuracy rates of fatigue resistance based on a comparison of results obtained using the ANN and the results of approximation of the original sample.

Keywords: artificial neural network, metal fatigue parameters prediction.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, прогнозирование показателей сопротивления усталости металлов.

А.Н. Аношкин, А.Д. Бабин, С.В. Лимонов
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ СОПЛА ГАЗОТУРБИННОГО АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ИЗ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КАРБИДО-КРЕМНИЕВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Проведен газодинамический и тепловой расчет сопла газогенератора авиационного двигателя из углерод-углеродного карбидо-кремниевого композиционного материала (УУКК КМ). Получены распределения полей статического давления и температур в потоках газа, температурные поля в материале сопла при взлетном режиме. Результаты расчета могут быть использованы для определения напряженно-деформированного состояния и уточнения конструкции изделия.

Ключевые слова: углерод-углеродный карбидо-кремниевый композиционный материал, авиационный двигатель, сопло, газодинамический и тепловой расчет.

A.N. Anoshkin, A.D. Babin, S.V. Limonov
RESEARCH HEAT STATE OF GAS TURBINE ENGINE NOZZLE MADE OF CARBON-CARBON SIC COMPOSITE MATERIAL

The research present computational fluid dynamics analysis and heat analysis the nozzle made of carbon-carbon SiC composite material. The result of analysis is static pressure field, temperature field in material and gas flow on take off regime. The result may be used for further structural analysis and improvement of nozzle construction.

Keywords: carbon-carbon SiC composite material, gas turbine engine, nozzle, computational fluid dynamics analysis and heat analysis.

Б.Ф. Байрамов
СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯСКОРОСТИ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА ГИДРОПРИВОДА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЁ ДИНАМИКИ

Предложена система автоматизированного регулирования скорости движения выходного звена гидропривода. Проведено математическое моделирование и получены условия устойчивости работы гидропривода с такой системой.

Ключевые слова: гидропривод; регулирование скорости выходного звена; математическое моделирование динамики; устойчивость работы.

B.F. Bairamov
DRIVE'S OUTLET UNIT AND ITS DYNAMICS INVESTIGATION

The system of automatic speed regulation of hydraulic drive's outlet unit is suggested. Mathematical modeling is done and conditions of hydraulic drive's stability with this system are obtained.

Keywords: hydraulic drive, regulation of hydraulic drive's outlet unit, mathematical modeling of dynamics, stability of work.

В.Ф. Беккер
СТРАТЕГИЯ МНОГОУРОВНЕВОГО ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ АБСОРБЦИОННОЙ

V.F. Bekker
STRATEGY OF MULTILEVEL PHYSICAL MODELING OF INDUSTRIAL ABSORPTION COLUMN WITH MOVABLE

КОЛОННЫ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

Рассматривается методика многоуровневого физического моделирования абсорбции оксидов азота водой в колонне в подвижной насадкой, включающая исследование кинетики абсорбции на пилотной установке и структуры потоков в отдельной секции колонны на лабораторной установке.

Ключевые слова: абсорбция, подвижная насадка, оксиды азота, структура потоков.

NOZZLE

The technique of multilevel physical modeling of nitrogen oxides absorption in water in a column with movable nozzle in given in addition to studying of an absorption kinetics by experimental device and a flow structure by laboratorial device.

Keywords: absorption, movable nozzle, nitrogen oxides, the structure of flows.

В.Н. Будилов

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ СООРУЖЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ

Предложен бесконтактный метод измерения частоты колебаний сооружений и конструкций для мониторинга их состояния. Метод не требует дорогостоящего оборудования и может работать при больших расстояниях до объекта. Получено экспериментальное подтверждение работоспособности метода.

Ключевые слова: бесконтактные измерения, мониторинг сооружений, телевизионные системы, цифровой датчик изображения, видеопоток.

V.N. Budilov

THE METHOD OF MEASURING OSCILLATION FREQUENCY OF STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS WITH A DIGITAL CAMERA

We propose a non-contact method of measuring the oscillation frequency of constructions and structures to monitor their condition. This method does not require expensive equipment and can operate at large distances from the object. Correctness of the method is confirmed experimentally.

Keywords: non-contact measurements, structure health monitoring, television systems, digital image sensor, video stream.

Р.В. Бульбович, Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, В.Я. Модорский, П.В. Писарев

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АКТИВНОЙ ЗАГЛУШКИ РЕЗОНАТОРА

Приводятся результаты численных экспериментов по исследованию процесса возбуждения волновых процессов в акустическом резонаторе. Установлены режимы, при которых в волноводах переменного сечения возникает механический резонанс. Рассчитаны три варианта модели заглушки резонатора, являющейся, по сути, акустическим трансформатором, с целью улучшения характеристик во фронте формируемой излучателем ударной волны.

Ключевые слова: акустический

R.V. Bulbovich, L.N. Butimova, D.V. Zimin, V.Ya. Modorsky, P.V. Pisarev

NUMERICAL MODELLING OF THE IS INTENSE-DEFORMED CONDITION OF THE ACTIVE CAP OF THE RESONATOR

Results of numerical experiments on research of process of excitation of wave processes in the acoustic resonator are resulted. Modes at which in wave guides of variable section there is a mechanical resonance are established. Three variants of model of a cap of the resonator which is, as a matter of fact, the acoustic transformer, for the purpose of improvement of characteristics in front of a shock wave formed by a radiator are calculated.

Keywords: the acoustic transformer, a wave guide, wave processes, the modal analysis, the

трансформатор, волновод, волновые процессы, модальный анализ, гармонический анализ, аэроупругие колебания.

harmonious analysis, aeroelastic fluctuations.

Т.В. Бурнышева, Ю.А. Кравцова

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕК ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Представлены результаты исследования влияния сквозных вырезов на устойчивость сетчатых композиционных оболочек при осевом статическом нагружении. Приведены собственные значения матриц жесткости и геометрической жесткости оболочки. Построены первые формы потери устойчивости конструкции.

Ключевые слова: сетчатые оболочечные конструкции, потеря устойчивости конструкции, собственные значения, формы потери устойчивости.

T.V. Burnysheva, J.A. Kravcova

SOLUTION TO THE PROBLEM OF STABILITY OF LATTICED HULL FROM COMPOSITE MATERIALS AT STATIC LOADING

The results of investigation of the effects the influence of notches on the stability of latticed hull from composite materials at axial static loading. Shows the eigenvalues of the matrix stiffness and geometric stiffness of the hull. Shows of the first eigenform construction.

Keywords: latticed hull construction, buckling, eigenvalues, eigenform construction.

П.А. Бурцев, М.В. Грушичева, В.В. Слепцов

ОТРАБОТКА СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

В статье проведен обзор основных типов электромагнитных помех и отработка методов снижения их воздействия для применения в опытных образцах системы измерения профилей деталей вращения сложной формы и блочно – модульного стенда для исследования асинхронного электропривода.

Ключевые слова: электромагнитные помехи, цифровые интерфейсы, гальваническая развязка.

P.A. Burtsev, M.V. Grushicheva, V.V. Slepcov

WORKING OUT CIRCUIT SOLUTIONS OF DIGITAL INTERFACES FOR LOWERING ELECTROMAGNETIC NOISES

In article reviewed the main types of electromagnetic noises and development of methods to reduce their exposure to the use of prototypes system for measuring profiles of rotation of parts of complex shape and block - modular stand for the study of asynchronous electric drive.

Keywords: Electromagnetic noises, digital interfaces, the galvanic decoupling.

Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, В.Я. Модорский, В.Ю. Петров, П.В. Писарев

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗОНАНСНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Разработан расчетно-экспериментальный комплекс для численного и физического моделирования междисциплинарных задач

L.N. Butimova, D.V. Zimin, V.Ya Modorsky, B.U. Petrov, P.V. Pisarev

WORKING OUT OF THE EXPERIMENTAL COMPLEX FOR THE ANALYSIS OF RESONANT PROCESSES IN POWER INSTALLATIONS

The settlement-experimental complex is developed for numerical and physical modeling of interdisciplinary problems of mechanics of

механики сплошных сред, в частности изучения и верификации динамических процессов в системе «поток газа – деформируемая конструкция.

Ключевые слова: экспериментальный комплекс, резонансное взаимодействие, проектирование, изготовление установки.

continuous environments, in particular studying and verifications of dynamic processes in system «a gas stream – a deformable design.

Keywords: an experimental complex, resonant interaction, designing, installation manufacturing.

Л.Н. Бутымова, Д.В. Зимин, В.Я. Модорский, П.В. Писарев, Ю.В. Соколкин

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КРУПНОГАБАРИТНОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Произведена серия численных экспериментов по определению воздействия транспортных нагрузок на крышу вагона-хоппера. Исследования проводились для одной секции и для многосекционной крыши. Для оценки физико-механических характеристик материала, использованного при численном моделировании проведены испытания образцов. Для проведения расчетов использованы высокопроизводительные системы (HPC) и вычислительные технологии на основе инженерного конечно элементного комплекса ABAQUS.

Ключевые слова: композиционные материала; численное моделирование; высокопроизводительные вычислительные системы; инженерный комплекс ABAQUS.

L.N. Butimova, D.V.Zimin, V.Ya. Modorksy, P.V. Pisarev, U.V. Sokolkin

NUMERICAL MODELLING OF THE DEFORMED CONDITION OF THE LARGE-SIZED DESIGN FROM THE COMPOSITE MATERIAL

A series of numerical experiments by definition of influence of transport loadings on a car-hopper roof is made. Researches were spent for one section and for a multisection roof. For an estimation of physicomechanical characteristics of the material used at numerical modeling tests of samples are conducted. For carrying out of calculations high-efficiency systems (HPC) and computing technologies on the basis of engineering certainly element complex ABAQUS are used.

Keywords: composite a material; numerical modeling; high-efficiency computing systems; engineering complex ABAQUS.

В.М. Бушуев, Я.В. Лямин, И.Л. Синани

КИНЕТИКА ОБЪЕМНОГО НАСЫЩЕНИЯ ПИРОУГЛЕРОДОМ ПОРИСТОЙ УГЛЕРОДНОЙ СРЕДЫ

На основе кинетического уравнения осаждения пироуглерода при пиролизе метана на внешнем контуре твердой поверхности выведено кинетическое уравнение в объеме пористой графитовой среды в изотермическом режиме. Проведено апробирование полученного уравнения при моделировании процесса насыщения пироуглеродом шликерной композиции и получена хорошая сходимость экспериментальных и расчетных данных.

V.M. Bushuev, Ya.V. Lyamin, I.L. Sinani

KINETICS VOLUME SATURATION OF PYROCARBON OF THE POROUS CARBON MEDIUM

Kinetic equation in the volume of the porous graphite medium in isothermal conditions on the basis of the kinetic equation ofpyrocarbon deposition by pyrolysis of methane on the outer contour of the solid surface is deduced. Conducted testing the resulting equation in modeling the process of saturation ofpyrocarbon slip composition. Good convergence of experimental and calculated data is obtained

Keywords: reaction of pyrolysis, porosity, density, volumetric compaction, slips composition, porous body, graphite powder,

Ключевые слова: реакция пиролиза, пористость, плотность, объемное уплотнение, шликерная композиция, пористое тело, графитовый порошок, углерод – углеродные композиционные материалы (УУКМ).

carbon - carbon composite materials (CCKM).

В.М. Бушуев, Р.К. Мусин, И.Л. Синани

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПИРОУПЛОТНЕНИЯ ТКНЕПРОШИВНЫХ УГЛЕРОДНЫХ КАРКАСОВ В ТЕРМОГРАДИЕНТНОМ РЕЖИМЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Для изготовления герметичных конструкций из углерод-углеродных композиционных материалов, устойчивых в экстремальных условиях высокотемпературного и химического воздействий агрессивных металлических расплавов и химических сред, необходимо создание несущей основы с последующей ее герметизацией.. Экспериментально обоснованы технологические параметры процесса насыщения пироуглеродом ткане-прошивных каркасов термоградиентным способом, которые обеспечили высокую производительность технологических процессов; максимально возможную плотность и высокие механические свойства материала несущей основы. В качестве основного варианта несущей основы выбран композиционный материал на основе ткани УРАЛ ТМ-4.

Ключевые слова: термоградиентный метод, зона пиролиза, градиент температур, несущая основа, насыщение пироуглеродом, углеродный каркас, технологические параметры, плотность, пористость.

V.M. Bushuev, R.K. Musin, I.L. Sinani

THE REGULARITIES OF PYROCOMPACTION TISSUE-SEWED CARBON FRAMEWORK IN THE GRADIENT OF TEMPERATURE MODE FOR PRODUCTION HERMETIC CONSTRUCTION

We need a supporting carrier with subsequent sealing for the production of hermetic construction of carbon-carbon composite materials that are resistant to extreme conditions of high temperature and chemical effects of aggressive metal melts and chemical environments. Experimentally substantiated technological parameters of the process saturation of the tissue-sewed pyrocarbon framework gradient of temperature method. They offer high-performance processes, the highest density and high mechanical properties of the material of carrier. As a basic version of the carrier based on the selected composite material based on tissue URAL TM-4.

Key words: method of gradient temperature, zone of pyrolysis, gradient of temperature, carrier, saturation of pyrocarbon, carbon framework, technological parameters, density, porosity.

Р.И. Валиев, В.И. Ильин, Б.Ю. Шакиров, Ю.И. Шакиров

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ С ЖИДКИМ ЭЛЕКТРОДОМ

Разработана система управления и плазменная электротермическая установка (ПЭТУ) с жидким катодом. Исследованы и отработаны режимы очистки с поверхности изделий, снятия заусенцев с

R.I. Valiev, V.I. Ilyin, B.Y. Shakirov, Y.I. Shakirov

THE CONTROL SYSTEM FOR SURFACE TREATMENT PROCESS BY PLASMA THERMO-ELECTRICAL INSTALLATIONS WITH LIQUID ELECTRODE

A system of control and plasma electrothermal system with a liquid cathode has been developed. Studied and practiced modes of surface cleaning products, deburring parts of complex configuration after machining.

деталей сложной конфигурации после механической обработки.

Ключевые слова: плазменная электротермическая установка, очистка поверхности изделий, снятия заусенцев, система управления.

Keywords: electrothermal plasma installation, cleaning the surface of products, deburring tools, system management.

В.П. Валуйских, Ф.Н. Захаров

КОНСТРУКТИВНЫЙ РЯД ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Рассматривается конструктивный ряд водопропускных труб с различным строительным подъёмом для автомобильных дорог. Предлагаются оригинальные, защищённые патентами, конструктивные решения полуэллиптических и полукольцевых железобетонных труб, позволяющие на 30÷45% снизить затраты материала по сравнению с широко распространёнными кольцевыми трубами.

Ключевые слова: железобетонные водопропускные трубы, полуэллиптические, полукольцевые, пространственно соединённые звенья.

F.N. Zakharov, V.P. Valuiskikh

A NUMBER OF CONSTRUCTIVE CULVERTS FOR THE HIGHWAYS

A number of constructive culverts with different camber for the highways is considered here. Original constructive solutions of semielliptical and semicircular reinforced pipes protected by the patents are offered. These solutions permit to reduce costs for the materials of 30-45% in comparison with widespread circular pipes.

Key words: concrete culverts, semielliptical, semicircular, spacially connected links.

Д.Б. Вафин, А.В. Садыков, Д.А. Садыкова

ТРЕХМЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ АЭРОДИНАМИКИ И ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ

Проведены численные исследования пространственного распределения температуры, осредненных значений скоростей турбулентного течения продуктов сгорания газообразного топлива в топочных камерах трубчатых печей цилиндрического типа нефтехимической промышленности. Сложный теплообмен в камере радиации моделируется трехмерными дифференциальными уравнениями сохранения энергии, компонентов количества движения, неразрывности, k–ε модели турбулентности, одноступенчатой модели горения, интегро-дифференциальным уравнением переноса энергии излучения. Изучено влияние трехмерного изменения

D.B.Vafin ,A.V.Sadykov, D.A.Sadykova

THREE-DIMENSIONAL CALCULATIONS OF AERODYNAMICS AND THERMAL CHARACTERISTICS OF CYLINDRICAL TUBULAR FURNACES

The spatial distributions of temperature, averaged values of turbulent flow velocities for combustion products of gaseous fuel in furnace chambers of industrial cylinder type tubular furnaces has been numerically studied. Complicated heat exchange in radiation chamber is simulated by the three-dimensional differential equations for conservation of energy, components of movement quantity, indissolubility, k-ε models of turbulence, one-stage burning model, the integral-differential equation of carrying radiation energy. The influence of three-dimensional change of stream parameters on distribution of thermal stream densities on the tubular screen, etc. parameters is also explored.

Keywords: heat exchange, radiation,

параметров потока на распределение плотностей тепловых потоков по трубчатому экрану, и др. параметров.

Ключевые слова: теплообмен, излучение, турбулентность, трубчатые печи.

turbulence, tubular furnaces.

Н.Н. Волкова, В.А. Куничан, А.И. Легаев, Д.В. Чащилов

ДЕСТРУКЦИЯ ХЛОПКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ПРОЦЕССЕ ГИПОХЛОРИТНОЙ ОТБЕЛКИ

В работе представлено описание процесса деструкции целлюлозы в процессе отбелки. Изложен механизм деструкции, связанный с разрушением «легкодоступных» и «труднодоступных» для деструктирующего агента связей в макромолекуле целлюлозы. Экспериментально определены константы скоростей деструкции при гипохлоритной отбелке хлопковой целлюлозы.

Ключевые слова: хлопковая целлюлоза, гипохлоритная отбелка, деструкция, математическая модель.

N.N. Volkova, V.A. Kunichan, A.I. Legaev, D.V. Chaschilov

DESTRUCTION OF A COTTON CELLULOSE IN THE COURSE OF HYPOCHLORITE BLEACHING

The description of process of destruction of cellulose in the course of whitening is offered. The mechanism of destruction connected with destruction of "readily available" and "remote" communications in a macromolecule of cellulose is stated. Are experimentally defined constants of decomposition rates at cotton cellulose hypochlorite bleaching.

Keywords: cotton cellulose, hypochlorite bleaching, destruction, mathematical model.

Е.В. Десяев, Т.Ф. Мамедова

О ПОСТРОЕНИИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматривается задача об управляемости за бесконечное время в некотором классе допустимых управлений для нелинейных динамических систем. Получены достаточные условия существования управлений.

Ключевые слова: система обыкновенных дифференциальных уравнений, управляемость за бесконечное время, асимптотическая эквивалентность по Брауеру.

E.V. Desyaev, T.F. Mamedova

CONSTRUCTION OF CONTROL FOR LINEAR DYNAMIC SYSTEMS

The problem of controllability for infinite time in a certain class of admissible controls for linear dynamic systems. Obtain sufficient conditions for the existence of controls.

Keywords: system of ordinary differential equations, control over an infinite time, the asymptotic equivalence of Brauer.

А.М. Долганов, Т.Н. Иванова,
А.А. Паклина, Э.И. Рахмангулова

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБЛАСТИ КЛИНА ПРИ ШЛИФОВАНИИ ПЛАСТИН ПО КРОМКЕ

Интенсивное тепловыделение при шлифовании является причиной серьезных структурных изменений и деформирования поверхностных слоев, снижающих качество поверхностного слоя пластины. Поэтому исследование особенностей распределения температуры при шлифовании в клиновидных телах является важной самостоятельной теплофизической задачей. Цель исследований: полученные зависимости распределения температуры от угла раствора клина и на поверхности клина позволят управлять температурным полем при шлифовании пластин по кромке.

Ключевые слова: шлифование, пластина, кромка, клин, тепловые процессы.

A.M. Dolganov, T.N. Ivanova, A.A. Paklina,
E.I. Rakhmangulova

ANALYSIS OF THERMAL PROCESSES IN WEDGE AREA DURING EDGE GRINDING OF PLATES

Intensive heat release during grinding is the cause of deep structural distortions and deformation of surface layer, which degrade quality of plate surface layer. Therefore, the analysis of temperature distribution peculiarities during grinding of wedges presents an independent important task of thermal physics. Object of analysis: the obtained relationship between temperature distribution and corner angle, and temperature distribution on wedge surface allow to control temperature field during edge grinding of plates.

Keywords: grinding, plate, edge, wedge, thermal processes.

А.В. Жданов, М.Г. Маликов

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Статья посвящена созданию модели стрелочного перевода, необходимой для определения параметров и создания конструкции приводов для перемещения остряков стрелочного перевода для высокоскоростных линий.

Ключевые слова: стрелочные переводы, модель, привод.

A.V. Zhdanov, M.G. Malikov

MODELLING OF WORK turnout OF TRANSFER OF HIGH-SPEED TRUNK-RAILWAYS

The article is devoted to the creation of a model turnout needed to determine the parameters of the design and creation of actuators to move the wits turnout for high-speed lines.

Key words: turnouts, the model, the drive.

А.В. Жданов , М.Г. Маликов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРСПЕКТИВНОГО ЭМП СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Статья посвящена разработке математической модели перспективного электромеханического привода (ЭМП) стрелочного перевода увеличенной длины с целью определения параметров по взаимодействию привода с остряками. В результате моделирования получены

A.V. Zhdanov, M.G. Malikov

MATHEMATICAL MODEL OF LONG-TERM ELECTROMECHANICAL DRIVE TURNOUT OF HIGH-SPEED RAIL LINES

The article is devoted to the development of a mathematical model of long-term electromechanical drive (EMD), turnout increased length in order to determine the parameters of the interaction leads to the wits. As a result, modeling the equations are the basis of a simulation of the drive.

уравнения положенные в основу программы моделирования привода.

Ключевые слова: стрелочный перевод, модель, электромеханический привод.

Key words: turnout, model, an electromechanical drive.

А.В. Жданов, Д. В. Штых

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ ПРИВОДОВ ЛИНЕЙНЫХ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

В связи с повышением требований к приводам линейных перемещений по точности и плавности остро встаёт проблема оценки качества движения выходного звена. В данной работе рассмотрены основные показатели, применяемые для численного выражения степени неточности линейного перемещения. Приведены примеры использования ЭВМ и современного программного обеспечения (MathCAD 14) для вычисления показателей кинематической точности и плавности при равномерном движении. Выявлены недостатки применения указанных параметров, предложен дополнительный показатель максимальных значений ускорения и его производной для уточнённой оценки качества движения.

Ключевые слова: линейное перемещение, точность, показатель плавности.

A.V. Zhdanov, D.V. Shtyh

INDICATORS OF QUALITY STUDY OF LINEAR MOTION DRIVES MICROMOVINGS

Due to the increased requirements for drives for linear motion precision and smoothness of the acute problem of assessing the quality of the output link motion. This paper describes the main indicators used to quantify the degree of inaccuracy of the linear displacement. Examples of the use of computers and modern software (MathCAD 14) to calculate the kinematic parameters of accuracy and smoothness in uniform motion. Identified shortcomings of the above parameters, proposed an additional indicator of the maximum values of acceleration and its derivative for an updated assessment of quality of movement.

Key words: linear motion, precision, smoothness index.

С.М. Зраенко

ОЦЕНКА ДОПЛЕРОВСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРАЕКТОРНОГО СИГНАЛА В РАДИОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

В работе представлены результаты определения потенциальной точности доплеровских параметров траекторного сигнала от точечной цели в радиолокаторе с синтезированной апертурой. Получены соотношения для расчета количества каналов обработки по радиальной и тангенциальной составляющим ее скорости.

Ключевые слова: радиолокатор с синтезированной апертурой, точечная цель, радиальная и тангенциальная скорость, доплеровские параметры сигнала, потенциальная точность.

S.M. Zraenko

EVALUATION OF DOPPLER PARAMETERS SIGNAL IN SAR

This paper presents the results of determining the potential accuracy of Doppler parameters of the trajectory of the point target signal in synthetic aperture radar. Relations are obtained for calculating the number of processing channels on radial and tangential components of its velocity.

Keywords: synthetic aperture radar, point target, the radial and tangential velocity, the Doppler signal parameters, the potential accuracy.

С.В. Истомин, В.Н. Турченко

К ВОПРОСУ О КАДРОВОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ОХРАНЫ ТРУДА В ОРГАНИЗАЦИЯХ

Нормативные документы перед руководителями предприятий выдвигают ряд требований и рекомендаций по поводу наличия специалиста по охране труда или службы охраны труда. Существуют определенные возможности и сложности, связанные с подготовкой кадров, связанных с управлением охраной труда. Совершенствование кадрового обеспечения охраны труда, решение имеющихся здесь проблем, неразрывно связаны с принятием определенных нормативных актов, регулирующих данную сферу.

Ключевые слова: штатная численность; инженер по охране труда; служба охраны труда; число сотрудников службы охраны труда; ответственный за охрану труда; обучение по охране труда; нормативные правовые акты по охране труда; обязанности; Квалификационный справочник; квалификационные требования; проектные документы

S.V. Istomin, V.N. Turchenko

TO THE QUESTION ABOUT THE SKILLED PROVIDING OF LABOUR PROTECTION IN ORGANIZATIONS

Normative documents before the leaders of enterprises put forward the row of requirements and recommendations concerning the presence of specialist on a labor or service of labour protection. there are certain possibilities and difficulty, associated with personnel training, related to management of occupational safety and health. Perfection of the skilled providing of labor protection, decision of present here problems Inseparably linked with acceptance of certain normative acts, regulating the given sphere.

Keywords: staff numbers, the engineer for labor safety, service of labor protection, number of employees of service of labor protection, accountable for a labor protection, normative legal acts on a labor protection, duties, qualification reference book, qualification requirements, project documents.

Д.В. Кубасов, С.П. Санников

ФРАГМЕНТИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ОСНОВАНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

В работе предложен новый метод повышения трещиностойкости асфальтобетонного покрытия на жестком основании.

Ключевые слова: фрагментация, трещиностойкость асфальтобетона, жесткие дорожные основания.

D.V. Kubasov, S.P. Sannikov

FRAGMENTATION THE CONCRETE BASES FOR INCREASE OF DURABILITY THE ASPHALT CONCRETECOVERINGS

In work the new method of increase strength asphaltic concrete coverings on the rigid basis is offered.

Keywords: fragmentation, strength asphaltic concrete, the rigid road bases.

С.В. Лановецкий, С.В. Островский, П.В. Серый

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТАДИИ РОСТА КРИСТАЛЛА КАРБАМИДА ПРИ ПОСТОЯННОМ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИИ

Приведены результаты исследований скорости роста кристаллов карбамида. Получены данные по влиянию различных

S.V. Lanovetskiy, S.V. Ostrovskiy, P.V. Seryiy

STUDY OF KINETIC EFFECTS CRYSTAL GROWTH RATE OF CARBAMIDE AT PERMANENT OVERCOOLING

Results of study of growth rate of carbamide crystal are given. Data on influence of various factors on crystal growth rate in carbamide solutions have been obtained. The solution temperature influence of crystal mechanism

факторов на скорость роста кристаллов в пересыщенных растворах карбамида. Определено влияние температуры раствора на механизм роста кристаллов.

Ключевые слова: карбамид, скорость роста кристалла, кристаллизация, механизм роста.

growth has been determined.

Key words: carbamide, crystal growth, crystallization, growth mechanism

М.А. Леонова

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕННОГО СЫВОРОТОЧНОГО КИСЛОМОЛОЧНОГО НАПИТКА С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

В статье представлены исследования по разработке технологии молочно-сывороточного продукта профилактического назначения с различными соотношением молока и молочной сыворотки, обогащенного солодовым экстрактом ячменя, для биокоррекции питания людей.

Ключевые слова: молочная сыворотка, солодовый экстракт ячменя, обогащение.

M.A. Leonova

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF ENRICHED FERMENTED WHEY DRINK WITH FUNCTIONAL PROPERTIES.

The article presents the research on the development of technology milky-whey product with different ratio of milk and whey, Enriched malt of extract barley, for biocorrection nutrition human.

Keywords: Milky-whey, Malt extract of barley, Enrichment

А.А. Ляпина, Т.Ф. Мамедова

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЛЬТЕРРОВСКОГО ТИПА

В работе приведен новый подход к исследованию устойчивости решений одной системы дифференциальных уравнений вольтеровского типа.

Ключевые слова: устойчивость, асимптотическая устойчивость по части переменных, система обыкновенных дифференциальных уравнений.

A.A. Lyapina, T.F. Mamedova

ABOUT THE SURVEY OF STABILITY SOLUTIONS OF DIFFERENTIAL EQUATATION OF VOLTERRA TYPE

In this paper a new approach to the stability of solutions of a system of differential equations such as Voltaire are given.

Keywords: stability, asymptotic stability of some of the variables, the system of ordinary differential equations.

В.Г. Манжула

СНИЖЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ В ИМПУЛЬСНЫХ КОМПЕНСАЦИОННО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СТАБИЛИЗАТОРАХ НАПРЯЖЕНИЯ

В работе рассмотрен возможный путь снижения избыточности в петле отрицательной обратной связи импульсного стабилизатора напряжения, основанный на

V. G. Manzhula

REDUCTION OF PARAMETRIC REDUNDANCY IN COMPENSATORY AND PULSED PARAMETRIC VOLTAGE REGULATOR

The paper considers a possible way to reduce redundancy in the parametric loop negative feedback pulse voltage based on the use of parametric channel. The recommendations on the calculation of the coefficient of chain

использовании параметрического канала. Приведены рекомендации по расчету коэффициента передачи цепи параметрической компенсации. Приведен пример реализации импульсного стабилизатора напряжения на основе интегральной микросхемы управления.

Ключевые слова: стабилизатор напряжения, избыточность, микросхема управления.

transfer parameter compensation. An example of pulse voltage on the basis of an integrated circuit control.

Keywords: voltage regulator, the redundancy control chip.

С.Г. Мосин, Хассан Мд. Муид

ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ПО ТЕХНОЛОГИИ СЕТЬ-НА-КРИСТАЛЛЕ (NOC)

Предложена подсистема автоматизированного проектирования сетей-на-кристалле с нерегулярной топологией. Приведена структурная схема подсистемы. Описаны особенности работы внутренних программных модулей подсистемы. Представлен пример использования подсистемы при проектировании кодека H.264.

Ключевые слова: сеть-на-кристалле (СНК), автоматизация проектирования СНК, нерегулярная сеть-на-кристалле

S.G. Mosin, Md Muid Hassan

THE CAD SUBSYSTEM FOR ELECTRONICS DEVICES BASED ON NETWORK-ON-CHIP TECHNOLOGY (NOC)

The CAD subsystem for network-on-chip with irregular topology has been proposed. The structure of the subsystem has been represented. The features of the subsystem's internal modules functioning have been described. The example of the subsystem application for codec H.264 designing has been shown.

Keywords: network-on-chip (NoC), design automation of NoC, irregular NoC

Е.С. Охотникова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С АДАПТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ

Рассмотрены подходы к моделированию адаптивных информационных систем. Предложены статическая и динамическая модели и соответствующие алгоритмы взаимодействия пользователя с такими системами.

Ключевые слова: моделирование, адаптация, информационные систем, модель пользователя.

E.S.Okhotnikova

A MATHEMATICAL MODELLING OF THE USER INTERACTION WITH ADAPTIVE INFORMATION SYSTEM

This article is concerned with the mathematical modelling of adaptive information systems. Static and dynamic models and user-system interaction algorithms were suggested.

Keywords: modelling, adaptation, information system, user model

С.Н. Скобелева

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕТЕРОДИННОГО СПОСОБА ПРИЁМА И ОБРАБОТКИ

S.N. Skobeleva

THE USE OF HETERODYNE METHOD OF RECEPTION AND PROCESSING OF

СИГНАЛОВ В РАДИОСИСТЕМАХ БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ

В статье рассматривается вопрос выбора оптимального способа приёма и обработки сигналов в радиосистемах ближнего действия. Показано, что с точки зрения простоты схемных решений, настройки, эксплуатации, дешевизны изготовления и надёжности в системах ближнего действия предпочтительнее использовать синхронные гетеродинные приёмные тракты.

Ключевые слова: радиосистемы ближнего действия, способы приёма и обработки сигналов, детекторные способы, гетеродинные способы, чувствительность, избирательность.

SIGNALS IN RADIO-ELECTRONic SYSTEMS OF A SHORT RANGE

The article considers the question of a choice of an optimum way of receiving and processing of signals in radio-electronic systems of a short range. It is shown that in terms of simplicity of circuit design, configuration, operation, low cost manufacturing and reliability in systems of a short range the use of synchronous heterodyne receiving tracts is preferable.

Key words: short range radio-electronic systems, methods of reception and processing of signals, detection methods, heterodyn methods, sensitivity, selectivity.

А.А. Султанбеков

УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОДНОГО КЛАССА СУЩЕСТВЕННО НЕЛИНЕЙНЫХ РАЗНОСТНЫХ СИСТЕМ

В работе рассматриваются существенно нелинейные разностные системы треугольного вида. Предполагается, что на исследуемые системы действуют возмущения. Доказывается теорема об устойчивости по нелинейному треугольному приближению. Показывается, что для некоторых классов систем условия, при которых возмущения не нарушают устойчивости нулевого решения, можно ослабить.

Ключевые слова: разностная система, функция Ляпунова, асимптотическая устойчивость.

A.A. Sultanbekov

STABILITY CONDITIONS OF A CLASS OF ESSENTIALLY NONLINEAR DIFFERENCE SYSTEMS

In this paper, essentially nonlinear difference systems of triangular form are studied. It is assumed that the investigated systems are influenced by perturbations. The theorem on the stability by nonlinear triangular approximation is proved. It is shown that for certain class of systems the conditions under which perturbations do not destroy stability of the zero solution can be relaxed.

Keywords: difference system, Lyapunov's function, asymptotic stability.

Д.Д. Шабалов

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОБИВА НЕТКАНОГО ПОЛОТНА НА ЕГО СВОЙСТВА

В работе представлены результаты изучения данных, характеризующих обработку нетканого полотна последовательно на трёх иглопробивных машинах. Процесс формирования нетканого полотна оценен с помощью интенсивности пробива (иглопрокалывания) полотна, который сочетает в себе геометрические особенности иглы, зазоры и расстояния

D.D. Shabalov

INFLUENCE OF INTENSITY PUNCH OF THE NONWOVEN CLOTH ON IT IS PROPERTIES

In work results of studying of the data characteristing processing of a nonwoven cloth are presented is consecutive on three needle-punch cars. Work needle-punch cars is estimated by means of intensity needle-punch cloths which combines geometrical features of a needle, backlashes and distances between details needle-punch cars in a zone of formation of a nonwoven cloth. Degree of

между деталями иглопробивных машин в зоне формирования нетканого полотна. Определена степень влияния интенсивности пробива полотна на его свойства.

Ключевые слова: нетканое полотно, интенсивность пробива нетканого материала, воздухопроницаемость, уравнение регрессии, дисперсия.

influence of criterion of intensity needle-punch cloths on its properties is defined.

Keywords: nonwoven cloth, intensity needle-punch a nonwoven material, air permeability, the regress equation, a dispersion.

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 передаваемой произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих редакционных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработке его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й В Е С Т Н И К П О В О Л Ж Ь Я

Сборник научных статей

№1 2012

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 20.02.2012 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

11,4 усл.печ.л. 13,1 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 505.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 238-32-08

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»