

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№2 2015

Направления:

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

Казань

2015

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №2 2015г. – Казань:
Научно-технический вестник Поволжья, 2015. – 254 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

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.

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

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

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Научно-технический вестник Поволжья, 2015 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>О.В. Вечер, Е.И. Дискаева, Е.И. Камениченко</i> ТЕПЛООБМЕН В РЕЖИМЕ ПУЗЫРЬКОВОГО КИПЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ДВУХ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ	10
<i>В.В. Дружинин, А.А. Лазарев</i> АНАЛИЗ РАЗМЕРА ПИРАМИДЫ ГИЛЬБРАЙТА В ТЕОРИИ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ	14
<i>В.В. Дружинин, И.Р. Смагин, Н.О. Хромов</i> ПРИЗНАКИ ДЕЛИМОСТИ НА ПРОСТЫЕ ЧИСЛА	16
<i>В.А. Евдокимова, С.В. Ланкин</i> СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИНОПТИЛОЛИТА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ДЕГИДРАТАЦИИ	19
<i>К.В. Остапович, А.Р. Абдуллаев</i> О КВАЗИНИЛЬПОТЕНТНОСТИ ПРОИЗВЕДЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ОПЕРАТОРОВ	24
<i>С.В. Рыков, Д.А. Кудрявцев, В.А. Рыков</i> НОВОЕ УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ R32	27

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>М.В. Базунова, Д.Р. Валиев, Р.Ф. Тухватуллин, Е.И. Кулиш</i> ПОЛИМЕРНЫЕ ГЕЛИ БИОМЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВОДНО-ЭТАНОЛЬНЫХ РАСТВОРОВ СУКЦИНАМИДА ХИТОЗАНА	30
<i>Т.Е. Иванова, А.В. Исмагилова</i> О МЕХАНИЗМЕ КАТАЛИЗИРУЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ МЕДИ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ НИТРАТ-ИОНОВ В УСЛОВИЯХ ЕЕ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ	33
<i>С.В. Смердов, В.В. Шмидт, И.Г. Жихарева</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТНО-КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ СПЛАВОМ Fe-Ni ДЛЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	36
<i>И.Ф. Туктарова, Р.Ю. Лаздин, В.В. Чернова</i> ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АНТИБИОТИКА СУЛЬФАТА ГЕНТАМИЦИНА НА ПРОЦЕСС ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА ХИТОЗАНА В РАСТВОРЕ УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ	41
<i>Е.А. Фарберова, Е.А. Тиньгаева, Н.А. Чиркова, А.Д. Чучалина</i> СФЕРИЧЕСКИЕ УГЛЕРОДНЫЕ СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	44

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>П.А. Абросимов, В.В. Малышев, А.В. Старков, М.А. Титков, С.Ю. Шмигирилов</i> МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОТКЛИКА КОНСТРУКЦИИ СПУСКАЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В УСЛОВИЯХ НАЗЕМНОЙ СТЕНДОВОЙ ОТРАБОТКИ	48
<i>А.П. Абызов, В.Б. Ступко, А.А. Елакова</i> РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ВНУТРЕННИМИ РАЗРЫВАМИ ШВА В УСЛОВИЯХ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК	55
<i>А.П. Абызов, В.Б. Ступко, С.М. Петров</i> МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ КОНТЕЙНЕРА ВИБРАЦИОННОГО СТАНКА С ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМИ ВИБРОПЛОЩАДКАМИ	59
<i>И.А. Акимов, А.И. Акимов, Т.И. Жумагазеев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МАССОПЕРЕНОСА НА ВТОРОМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В УСТАНОВКАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА (АВТП)	63

И.А. Акимов, А.И. Акимов, Е.О. Каракулина ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В МНОГОСЛОЙНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЯХ НА ПЕРВОМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	68
И.З. Ахметзянов ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ПРИ УЧЕТЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ	73
А.Ю. Барыкин, Р.Р. Басыров, М.М. Мухаметдинов ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА САЛОНА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ	76
А.П. Буйносов, Д.С. Денисов РАЗРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ НА ПТОЛ	79
А.П. Буйносов, А.М. Кислицын КОМПЛЕКСНАЯ МНОГОУРОВНЕВАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ	82
А.П. Буйносов, И.О. Шепелева МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ БАНДАЖЕЙ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ	86
Т.В. Гаибова, Н.А. Шумилина ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТНЫМ РИСКОМ ОТКАЗА ОБОРУДОВАНИЯ	90
А.М. Галлямов, Т.В. Гончарова, Л.Н. Шафигуллин, Р.В. Шibaков, М.Н. Гончаров ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО НАПЫЛЕНИЯ (HVOF)	94
О.А. Глухов, К.А. Смотров, Е.Е. Винокурова О МЕТОДАХ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРА ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО РИСКА	99
М.И. Глушко, Е.В. Федоров ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОГО ОБЪЁМА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СЕТИ ЛОКОМОТИВА	103
Д.Р. Григорьева, А.Г. Файзуллина, Р.Ш. Шарипов, Р.Р. Басыров ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	106
А.А. Денисевич, М.О. Бланк, С.Н. Ливенцов РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ УЗЛОМ ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ СМЕСИ КИСЛОТ ПРОИЗВОДСТВА БЕЗВОДНОГО ФТОРИСТОГО ВОДОРОДА	109
А.А. Денисевич, С.Н. Ливенцов, Е.М. Гладырь РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЁРА	112
Н.А. Дородников, Л.А. Безбородов, С.А. Арустамов, И.М. Дородникова РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЛВС С УЧЁТОМ ТРЕБОВАНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	115
А.Ю. Дуженко ТРЕБОВАНИЯ К МОРСКИМ СУДАМ, ПЕРЕВОЗЯЩИМ РАДИОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	118
С.И. Закиров ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОПЕРАТИВНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ИХ НАДЕЖНОСТНЫЕ И СТОИМОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	121
Т.Н. Иванова, О.В. Никитина ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ	126
В.А. Карпычев, А.В. Копылова БАЙЕСОВ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ РИСКА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ	130
А.О. Киклевич, Е.А. Хлютина, Г.П. Жигулин ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ АПОСТЕРИОРНОЙ МОДЕЛИ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ	134
Ю.П. Кирилин, В.В. Кирьянов УПРАВЛЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОМ АППАРАТА ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА С РЕГУЛИРУЕМЫМ МАНОМЕТРИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ РЕАКЦИОННОЙ МАССЫ	137

<i>А.В. Ключников, М.Д. Шагимуратов</i> ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ АСИММЕТРИЧНОСТИ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ МАСС ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	141
<i>Е.Л. Кузнецова</i> ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС В НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧЕ С УЧЕТОМ РАЗЛОЖЕНИЯ СВЯЗУЮЩЕГО В АНИЗОТРОПНЫХ ТЕЛАХ	144
<i>И.В. Кулешов, О.Г. Москалёва</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ТОМОГРАФИИ	147
<i>Н.Г. Митрофанов, И.Н. Зенкин, Д.А. Котёлкин</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛАМОВ ХИМВОДООЧИСТКИ ТЭЦ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	151
<i>А.С. Некрасова</i> МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ КОМПАНИИ-ПОСРЕДНИКА ПОСРЕДСТВОМ МОДЕРНИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ	155
<i>Н.Н. Прокопьев, В.В. Бухтояров, Э.А. Петровский, Н.А. Бухтоярова</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ТУРБОАГРЕГАТА	158
<i>С.В. Прохоров</i> МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ ГРАФИКА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАШИННЫХ ПАРКОВ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ	161
<i>Д.А. Романов</i> ЦЕНТР ПО РАЗРАБОТКЕ ПОЛИМЕРОВ ШЕФФИЛДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА	164
<i>П.М. Салов, Т.Г. Виноградова, С.С. Сайкин, А.В. Гартфельдер, А.А. Алексеев, Н.В. Пегов</i> ОЦЕНКА РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПЛАСТИН	168
<i>Е.В. Сафонова</i> АВТОГЕНЕРАТОРЫ: ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И РАБОТЫ, СТАБИЛЬНОСТЬ ЧАСТОТЫ	171
<i>А.И. Субботин</i> РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В УПРУГОЙ ПОЛУПЛОСКОСТИ ОГРАНИЧЕННОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ	175
<i>А.И. Субботин</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА МОДЕЛЯХ	179
<i>М.В. Таланов, А.В. Карасев, В.М. Таланов</i> СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНКИ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ	183
<i>А.С. Терехов, В.А. Тюлькин, И.М. Титла, И.И. Кучеренко</i> ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА ВОДИТЕЛЯ НА ВРЕМЯ РЕАГИРОВАНИЯ НА ДВИЖУЩИЙСЯ ОБЪЕКТ	186
<i>А.С. Титова</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ НЕГЕРМЕТИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКЕ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КАМЕРАХ	190
<i>В.А. Тихонов, О.Р. Середкина, М.А. Куликов, С.Г. Козлов, Н.С. Шеманская</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИНКРУСТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ	193
<i>А.В. Толков, И.В. Шинаков, А.В. Жданов</i> СРАВНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ ВИНТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ	196
<i>М.С. Трофимова</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕДУРЫ «ПЕРСПЕКТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ» РОССИЙСКИМИ ПОСТАВЩИКАМИ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ	200
<i>Г.М. Тутаев, Е.Н. Белкина</i> АНАЛИЗ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ С АСИНХРОНИЗИРОВАННЫМ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ	206
<i>А.Р. Фардеев, Р.Г. Марданишин, А.А. Фардеев</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ МАНИПУЛЯТОРА	210

<i>Ш.Ш. Хузятов, Р.А. Валиев</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ ПАТТЕРНА	215
<i>В.В. Чекрыгина</i> МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ (РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ)	219
<i>В.А. Шаманов, С.В. Леонтьев, В.А. Голубев, В.А. Харитонов</i> КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ГАЗОБЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ	225
<i>В.Г. Шибakov, Д.А. Халиков, М.Н. Гончаров</i> ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ БАНКОВ ДАННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	228
<i>А.В. Щеголев, А.И. Сердюк, А.И. Сергеев</i> МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПРОЦЕССА ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКИ	232
АННОТАЦИИ	235

THE RELEASE MAINTENANCE

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

<i>O.V. Vecher, E.I. Discaeva, E.I. Kamenichenko</i> HEAT-TRANSFER AT NUCLEATE BOILING ON AT THE INTERFACE OF TWO LIQUID PHASES	10
<i>V.V. Druzhinin, A.A. Lazarev</i> ANALYSIS OF THE SIZE OF THE PYRAMID OF GILBRAITH IN THE THEORY OF PRIME NUMBERS	14
<i>V.V. Druzhinin, I.R. Smagin, N.O. Khromov</i> DIVISIBILITY RULES FOR PRIME NUMBERS	16
<i>V.A. Evdokimova, S.V. Lankin</i> STRUCTURAL CHANGES OF CLINOPTILOLITE IN THE PROCESS OF DEHYDRATION	19
<i>K.V. Ostapovich, A.R. Abdullaev</i> ON THE QUASINILPOTENCY OF A PRODUCT OF LINEAR OPERATORS	24
<i>S.V. Rykov, D.A. Kudryavtsev, V.A. Rykov</i> THE NEW EQUATION OF THE SATURATION LINE OF R32	27

CHEMICAL SCIENCE

<i>M.V. Bazunova, D.R. Valiev, R.F. Tukchvatullin, E.I. Kulish</i> POLYMERIC GELS FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS BASED ON WATER-ETHANOL SOLUTIONS OF CHITOSAN SUCCINAMIDE	30
<i>T.E. Ivanova, A.V. Ismagilova</i> ABOUT MECHANISM OF CATALYTIC INFLUENCE OF COPPER ON REDUCTION OF NITRATE-IONS AT CONDITIONS OF COPPER ELECTRODEPOSITION	33
<i>S.V. Smerdov, V.V. Shmidt, I.G. Zhikhareva</i> OPTIMIZATION CORROSION PROTECTIVE PROPERTIES OF COVERINGS Fe-Ni ALLOY FOR THE PETROCHEMICAL EQUIPMENT	36
<i>I.F. Tuktarova, R.Yu. Lazdin, V.V. Chernova</i> STUDY OF INFLUENCE OF ANTIBIOTIC GENTAMICIN SULFATE ON THE PROCESS ENZYMATIC HYDROLYSIS OF CHITOSAN IN ACETIC ACID SOLUTION	41
<i>E.A. Farberova, E.A. Tingaeva, N.A. Chirkova, A.D. Chuchalina</i> SPHERICAL CARBON ADSORBENTS BASED ON POLYMER MATERIALS	44

ENGINEERING SCIENCE

<i>P.A. Abrosimov, V.V. Malishev, A.V. Starkov, M.A. Titkov, C.Y. Shmigirilov</i> THE MATHEMATICAL MODELING TECHNIQUE OF THE DYNAMIC RESPONSE OF THE STRUCTURE OF LANDING SPACECRAFT IN A GROUND METAL MINING	48
<i>A.P. Abizov, V.B. Stupko, A.A. Elakova</i> PAYMENT LIMIT LOADS WELDS INTERNAL SEAM RUPTURES UNDER STATIC LOADS	55
<i>A.P. Abizov, V.B. Stupko, S.M. Petrov</i> MODEL OF THE MOTION OF THE CONTAINER VIBRATING MACHINE WITH AUXILIARY VIBROPLATFORM	59
<i>I.A. Akimov, A.I. Akimov, T.I. Zhumagazeev</i> RESEARCH THE OF MASS TRANSFER AT THE SECOND PRODUCTION PHASE OF COMPOSITE MATERIALS BY THE POLYMERIZATION METHOD IN INSTALLATIONS OF THE AUTOMATIC CONDUCTING TECHNOLOGICAL PROCESS (ACTP)	63
<i>I.A. Akimov, A.I. Akimov, E.O. Karakulina</i> INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER IN MULTILAYER CYLINDRICAL PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS	68
<i>I.Z. Ahmetzyanov</i> OPTIMAL VEHICLE SPEED CONTROL CONSIDERING VERTICAL ROAD PROFILE	73

A.Yu. Barykin, R.R. Basyrov, M.M. Mukhametdinov ASSESSMENT OF OVERALL PERFORMANCE SYSTEMS PROVIDING MICROCLIMATE SALON OF THE CAR	76
A.P. Buinosov, D.S. Denisov DEVELOPMENT DIAGNOSTIC COMPLEX DURING MAINTENANCE OF ELECTRIC LOCOMOTIVES IN PTOL	79
A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn COMPLEX MULTILEVEL MEASURING SYSTEM FOR CONTROLLING THE PARAMETERS OF WHEELSETS LOCOMOTIVES	82
A.P. Buinosov, I.O. Shepeleva MODELING HARDENED STEEL BANDAGE DURING THE HEAT TREATMENT OF WHEELSETS ELECTRIC LOCOMOTIVES	86
T.V. Gaibova, N.A. Shumilina THE FORMALIZATION OF THE PROBLEM OF PROJECT RISK MANAGEMENT OF EQUIPMENT FAILURE	90
A.M. Gallyamov, T.V. Goncharova, L.N. Shafigullin, R.V. Shibakov, M.N. Goncharov RECOVERY OPERATIONAL PROPERTIES OF CRITICAL PARTS METHOD OF HIGH-SPEED SPUTTERING (HVOF)	94
O.A. Glukhov, K.A. Smotrin, E.E. Vinokurova ABOUT METHODS OF CALCULATION THE PARAMETERS OF THE FIRE FOR INDIVIDUAL FIRE RISK ASSESSMENT	99
M.I. Glushko, E.V. Fedorov DETERMINATION OF THE ACTUAL VOLUME OF THE PNEUMATIC SYSTEM OF THE LOCOMOTIVE	103
D.R. Grigoreva, A.G. Faizullina, R.Sh. Sharipov, R.R. Basyrov THE USE OF THE MATHEMATICAL APPARATUS IN THE CONSTRUCTION OF HIGHWAYS	106
A.A. Denisevich, M.O. Blank, S.N. Liventsov DEVELOPMENT OF A CONTROL ALGORITHM FOR MIXING AND LOADING OF FLUORITE	109
A.A. Denisevich, S.N. Liventsov, E.M. Gladyr DEVELOPMENT OF A THERMAL MODEL OF THE EXPERIMENTAL ELECTROLYZER	112
N.A. Dorodnikov, L.A. Bezborodov, S.A. Arustamov, I.M. Dorodnikova DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF A UNIVERSAL LAN BASED ON REQUIREMENTS INFORMATION SECURITY	115
A.Y. Duzhenko REQUIREMENTS FOR SEAGOING VESSELS CARRYING RADIOACTIVE MATERIALS	118
S.I. Zakirov RESEARCH OF THE MAINTENANCE IMPACT ON DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEMS RELIABILITY AND COSTS	121
T.N. Ivanova, O.V. Nikitina STUDY OF RESIDUAL STRESS RESULTING FROM THE GRINDING ALLOY STEELS	126
V.A. Karpychev, A.V. Kopylova BAYESIAN APPROACH TO RISK ASSESSMENT ON RAILWAY TRANSPORT	130
A.O. Kiklevich, E.A. Khlyupina, G.P. Zhigulin DEFINING OF THE KEY PARAMETERS IN THE PROCESS OF CONSTRUCTING A POSTERIORI MODEL OF THREATS TO THE INFORMATION SECURITY	134
Yu.P. Kirin, V.V. Kiryanov CONTROL OF THE CONDENSER OF THE DEVICE OF VACUUM SEPARATION OF TITANIUM SPONGE WITH THE ADJUSTABLE MANOMETRIC MODE OF REACTIONARY WEIGHT	137
A.V. Klyuchnikov, M.D. Shagimuratov DESIGN PRINCIPLES AND SCHEME STRUCTURE OF A SYSTEM OF DYAGNOSING ASYMMETRY IN MASS DISTRIBUTION IN FLYING VEHICLES	141
E.L. Kuznetsova TRANSIENT HEAT AND MASS TRANSFER IN ANISOTROPIC BODIES WITH THE BINDING AGENTS' DESTRUCTION	144
I.V. Kuleshov, O.G. Moskalyova RESEARCH OF DISPERSIBLE PHENOMENA AT IMPULSIVE TOMOGRAPHY	147
N.G. Mitrofanov, I.N. Zenkin, D.A. Kotelkin USE WASTE OF CHEMICAL WATER PURIFICATION IN MANUFACTURE OF BUILDING MATERIALS	151
A.S. Nekrasova METHODS OF INCREASING COMPETITIVENESS INTERMEDIARY COMPANY BY UPGRADING LOGISTICS BUSINESS PROCESSES	155

<i>N.N. Prokopiev, V.V. Bukhtoyarov, E.A. Petrovsky, N.A. Bukhtoyarova</i> EFFICIENCY RESEARCH OF APPLICATION OF DATA ANALYSIS TECHNIQUES FOR TURBO UNITS PARAMETERS PREDICTION	158
<i>S.V. Prohorov</i> METHOD OF MAINTENANCE SCHEDULES MACHINE PARK, BASED ON ASSESSMENT OPERATIONAL FACTORS	161
<i>D.A. Romanov</i> THE POLYMER CENTRE AT THE UNIVERSITY OF SHEFFIELD	164
<i>P.M. Salov, T.G. Vinogradova, S.S. Saykin, A.V. Gartfelder, A.A. Alekseev, N.V. Pegov</i> ASSESSMENT OF THE CUTTING ABILITY OF TOOL PLATES	168
<i>E.V. Safonova</i> ACTIVE OSCILLATOR: FEATURES OF CONSTRUCTION AND OPERATION, FREQUENCY STABILITY	171
<i>A.I. Subbotin</i> DISPERSION OF STRESSES IN THE ELASTIC HALF-PLANE OF THE LIMITED DISTRIBUTIVE ABILITY	175
<i>A.I. Subbotin</i> SIMULATION OF THE WORK OF THE BASES OF BASE PLATES WITH EXPERIMENTAL STUDIES ON THE MODELS	179
<i>M.V. Talanov, A.V. Karasev, V.M. Talanov</i> METHOD OF REDUCING ESTIMATION ERROR OF ROTOR SPEED OF INDUCTION MOTOR USING KALMAN FILTER IN DIGITAL CONTROL SYSTEM	183
<i>A.A. Terekhov, V.A. Tyulkin, I.M. Titla, I.I. Kucherenko</i> INFLUENCE OF DRIVER AGE FOR THE PERIOD OF RESPONSE TO MOVING OBJECT	186
<i>A.S. Titova</i> MODELING OF THERMAL CONDITIONS OF ONBOARD EQUIPMENT NONPRESSURIZED SPACECRAFTS FOR TESTS IN CHAMBERS	190
<i>V.A. Tikhonov, O.R. Serezhkina, M.A. Kulikov, S.G. Kozlov, N.S. Shemanskaya</i> MATHEMATICAL DESCRIPTION OF PROCESSES INCRUSTATION ON METAL SURFACES	193
<i>A.V. Tolkov, I.V. Shinakov, A.V. Zhdanov</i> COMPARISON OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF POWER SCREW MECHANISMS	196
<i>M.S. Trofimova</i> RESEARCH OF APPLICATION OF THE "ADVANCED PRODUCT QUALITY PLANNING" PROCEDURE BY THE RUSSIAN SUPPLIERS OF AUTOMOTIVE INDUSTRY	200
<i>G.M. Tutaev, E.N. Belkina</i> THE ANALYSIS OF LOSSES IN THE ELECTRIC DRIVE WITH THE ASYNCHRONIZED VALVE MOTOR	206
<i>A.R. Fardeev, R.G. Mardanshin, A.A. Fardeev</i> DETERMINING THE CONDITIONS OF ASYMPTOTIC STABILITY OF THE NOMINAL MODE OF MANIPULATOR WORK	210
<i>Sh.Sh. Khuzyatov, R.A. Valiev</i> DESIGNING OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS BASED ON PATTERN METHODS	215
<i>V.V. Chekrygina</i> TECHNIQUE OF DECISION MAKING UNDER UNCERTAINTY (THE EDITORIAL AND PUBLISHING ACTIVITIES)	219
<i>V.A. Shamanov, S.V. Leontev, V.A. Golubev, V.A. Kharitonov</i> THE CONCEPT OF AAC's PRODUCTION CONTROL	225
<i>V.G. Shibakov, D.A. Halikov, M.N. Goncharov</i> INFORMATION MODELS FOR DATA BANKS OF THERMAL INSULATION MATERIALS	228
<i>A.V. Shegolev, A.I. Serdjuk, A.I. Sergeev</i> TECHNIQUES FOR ANALYZING DEEP-DRAWING PROCESS	232

ABSTRACTS	235
------------------	-----

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.04.14

О.В. Вечер, Е.И. Дискаева, Е.И. Камениченко

Ставропольский государственный медицинский университет,
факультет гуманитарного и медико-биологического образования,
кафедра физики и математики, Ставрополь, vecher.olga@mail.ru

ТЕПЛООБМЕН В РЕЖИМЕ ПУЗЫРЬКОВОГО КИПЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ДВУХ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ

Проведен теоретический анализ теплообмена при кипении на границе раздела двух жидких фаз. Предложены методы оценки плотности теплового потока по величине перегретого слоя жидкости и переохлажденного слоя расплава и суммарному температурному напору в них.

Ключевые слова: *теплообмен, несмешивающиеся жидкости, пузырьковое кипение.*

В современной теплотехнике широко используются различные жидкости или их паровые фазы. Для увеличения эффективности тепловых установок необходимыми являются знания, позволяющие рассчитывать все теплофизические параметры систем в различных режимах работы.

Процесс теплообмена при кипении жидкости отличается значительным разнообразием конкретных условий, влияющих на его протекание. Этим условиям отвечают различные количественные и качественные закономерности. Все это крайне усложняет задачу построения строгой теории теплообмена при кипении жидкой фазы. Большой интерес представляет случай кипения более летучей жидкости на поверхности менее летучей, например, воды и Н-гексана на поверхности ртути, глицерина и парафина на поверхности олова, воды на расплаве Вуда. Несмотря на значительное количество подобных исследований, их результаты далеко не полностью отражают процессы теплообмена при кипении на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей. Недостаточно исследованными остаются аспекты, связанные с характером зависимости величины плотности теплового потока от температурного напора.

Характеризуя процесс отвода тепла от поверхности нагрева соприкасающейся с ней жидкостью в режиме пузырькового кипения, можно представить тепловой поток в виде суммы следующих величин:

$$q = q_k + q_n + q_m, \quad (1)$$

где q_k - плотность теплового потока, отводимая в результате микроконвекции, q_n - плотность теплового потока, отводимая парообразованием, q_m - плотность теплового потока, отводимая за счет теплопроводности пара. Если же поверхность нагрева также представляет собой жидкость, то определенный вклад в распределение энергии вносит распыление капель более плотной фазы. Поэтому, при кипении воды на расплаве Вуда, суммарный тепловой поток будет равен:

$$q = q_k + q_n + q_m + q_{кан} \quad (2)$$

где, согласно [1]:

$$q_{кан} = \frac{4}{3} \pi r_k^3 \cdot \rho_2 n_k \cdot C_2 \Delta T, \quad (3)$$

где r_k - средний радиус капли, ρ_2 - плотность более тяжелой жидкости, C_2 - удельная теплоемкость более тяжелой жидкости, n_k - число капель, распыляемых с единицы поверхности в единицу времени при температурном напоре ΔT . Таким образом, в случае кипения на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей, процесс теплообмена происходит с большей интенсивностью, чем при кипении жидкости на твердой поверхности нагрева.

Плотность теплового потока, обусловленная испарением жидкости, может быть представлена с использованием величины скорости испарения жидкости следующим соотношением [2]:

$$q_n = \frac{1}{6} \pi f_0 D_0^3 \rho'' n L \quad (4)$$

где f_0 - частота парообразования, D_0 - отрывной диаметр паровых пузырьков, ρ'' - плотность паровой фазы в пузырьках, n - плотность центров парообразования, L - удельная теплота парообразования. В выражении (4) величина $\frac{1}{6} \pi f_0 D_0^3 \rho'' n$ имеет физический смысл и размерность скорости испарения жидкости.

При кипении на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей величина скорости испарения с поверхности более плотной фазы $v_\omega(T)$ будет определяться выражением [2]:

$$v_\omega(T) = v_{s \max} \cdot \exp\left(\frac{C \Delta T \left(\frac{LM}{R} + \Delta T\right)}{T T_s}\right), \quad (5)$$

где $v_{s \max}$ - максимальная скорость испарения со свободной поверхности жидкости, C - постоянный множитель, зависящий от природы жидкости, $\Delta T = T - T_s$ - величина перегрева жидкости, M - молярная масса жидкости, R - универсальная газовая постоянная, T и T_s - температуры поверхности нагрева и кипения жидкости.

С учетом выражения (5), плотность теплового потока, обусловленная испарением жидкости, может быть записана в виде:

$$q_n = v_{s \max} \cdot \exp\left(\frac{C \Delta T \left(\frac{LM}{R} + \Delta T\right)}{T T_s}\right) \cdot L \quad (6)$$

Интенсивное перемешивание жидкости в области роста паровых пузырьков, называемое микроконвекцией, обеспечивает наиболее значительный вклад в отвод теплоты от поверхности нагрева. В режиме пузырькового кипения плотность теплового потока, отводимая за счет микроконвекции может быть представлена в виде [4]:

$$q_k = \frac{5}{3} (\pi)^{0.4} \cdot \left(\frac{8}{125}\right)^{0.2} \cdot (\lambda \Delta T)^{0.8} \cdot \left(\frac{L \sigma}{\nu}\right)^{0.2} \cdot n_f^{0.4} = 1,53 (\lambda \Delta T)^{0.8} \cdot \left(\frac{L \sigma}{\nu}\right)^{0.2} \cdot n_f^{0.4}, \quad (7)$$

где λ - удельная теплопроводность, σ - коэффициент поверхностного натяжения, ν - кинематическая вязкость кипящей жидкости; n_f - плотность центров парообразования.

Теплота, передаваемая от нагревателя за счет теплопроводности пара составляет, по данным различных исследователей, не более 2% [3,5].

Таким образом, обобщив вышесказанное, можно представить выражение для суммарной плотности теплового потока в виде:

$$q = 1,53 \cdot (\lambda \Delta T)^{0.8} \cdot \left(\frac{L \sigma}{\nu}\right)^{0.2} \cdot n_f^{0.4} + v_{s \max} \cdot \exp\left(\frac{C \Delta T \left(\frac{LM}{R} + \Delta T\right)}{T T_s}\right) \cdot L + \frac{4}{3} \pi r_k^3 \cdot \rho_2 n_k \cdot C_2 \Delta T \quad (8)$$

При другом подходе к определению температурной зависимости плотности теплового потока в режиме пузырькового кипения необходимо рассмотреть процессы на границе раздела двух соприкасающихся жидкостей, где возникает перегретый слой кипящей жидкости δ и переохлажденный слой расплава δ' (рис.1)

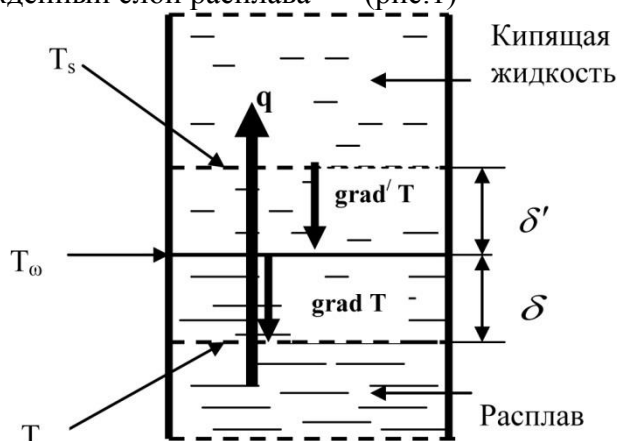


Рис. 1 – Характер передачи тепла от расплава к жидкости

Из рисунка 1 видно, что градиенты температуры в перегретом слое жидкости и в переохлажденном слое расплава имеют одинаковое направление: в жидкости – к границе раздела соприкасающихся гомогенных фаз, в расплаве – от указанной границы вглубь расплава. Тепловой поток, отданный расплавом жидкости, и вызвавший его переохлаждение на толщине δ' , пойдет на перегрев слоя жидкости толщиной δ . Плотность теплового потока, переданная кипящей жидкости, согласно закону Фурье будет определяться выражением:

$$q = \lambda \frac{\Delta T}{\delta}, \quad (9)$$

где ΔT - температурный напор в пределах перегретого слоя жидкости, λ - теплопроводность перегретого слоя жидкости. Очевидно, что плотность теплового потока, отводимого от переохлажденного слоя расплава будет определяться аналогичным уравнением:

$$q' = \lambda' \frac{\Delta T'}{\delta'}, \quad (10)$$

где $\Delta T'$ - температурный напор в пределах переохлажденного слоя расплава, λ' - теплопроводность переохлажденного слоя расплава. Рассматривая пограничный слой между расплавом и жидкостью, можно говорить о наличии в нем суммарного перегрева, приходящегося на перегретый слой жидкости и переохлажденный слой расплава:

$$\Delta T^* = T_p - T_s \quad (11)$$

Тогда выражение для плотности теплового потока примет вид:

$$q \left(\frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta'}{\lambda'} \right) = \Delta T^* \quad (12)$$

Разрешив его относительно плотности теплового потока, получим:

$$q = \frac{\lambda' \lambda}{\lambda' \delta + \lambda \delta'} \cdot \Delta T^*, \quad (13)$$

Таким образом, описание процесса теплопередачи при кипении жидкости на поверхности расплава может быть проведено с точки зрения микроскопических параметров, таких как количество активных центров кипения, радиус микрокапель расплава и их количество на единицу площади. Использование второго подхода более осуществимо с практической точки зрения, что открывает огромные возможности для соответствующих экспериментальных исследований.

Список литературы

1. *Марков И.И.* Термодинамика и межфазные явления в механизме действия центров кипения: Автореф. дис. докт. техн. наук. - Ставрополь, 1994. – 36 с.
2. *Марков И.И.* Современные представления о процессе генерации пара и теплообмене при кипении жидкостей в различных условиях / И.И. Марков, А.А. Хащенко, О.В. Вечер. – Ставрополь: АГРУС, 2014. – 116 с.
3. *Овсянник А.В.* Моделирование процессов теплообмена при кипении жидкостей / А.В. Овсянник. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. –284 с.
4. *Соловьев, С.Л.* Теплообмен при развитом пузырьковом кипении жидкости // Теплофизика и аэромеханика. – 1999. – Т. 6, №4. - С.509-517.
5. *Хрынина Е.И.* Исследование основных свойств и критических параметров жидких теплоносителей: Автореф. канд. физико-математических наук. – Ставрополь, 2006. – 18 с.

01.01.06

В.В. Дружинин, А.А. Лазарев

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

АНАЛИЗ РАЗМЕРА ПИРАМИДЫ ГИЛЬБРАЙТА В ТЕОРИИ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ

Решается вопрос о размерах пирамид Гильбрайта построенных из разностей простых чисел по модулю. Анализ показывает, что (ранее нерешенный вопрос) размер пирамиды на простых числах может быть любым.

Ключевые слова: *простые числа, пирамида Гильбрайта.*

В 1958 г. английский математик Н.Л. Гильбrait, анализируя разности последовательных простых чисел (ПЧ) и разности разностей, взятых по модулю, обнаружил, что если располагать эти разности по строкам, то из N ПЧ образуется пирамида – равнобедренный треугольник **ABC** (см. рис.1), левая сторона которого **AC** состоит из «1». Вопрос о том, насколько велика эта пирамида, аналитически не решен [1], хотя численные расчеты показали ее существование вплоть до $N = 3 \cdot 10^{11}$. В данной статье мы показываем по статистическим и аналитическим данным, что такая пирамида не ограничена.

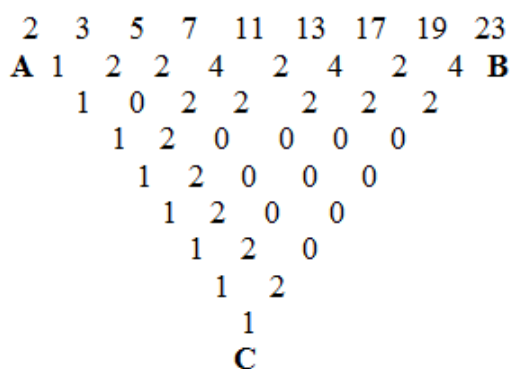


Рис. 1. Пирамида Гилбрайта.

В начале рассмотрим, некоторые начальные наборы чисел в строке над АВ, которые дают такую пирамиду. Геометрическая прогрессия $\{1; 2; 4; 8; 16; \dots\}$ всегда дает АС из «1» независимо от длины начальной строки. При этом нулей в пирамиде нет. Арифметическая прогрессия с разностью «2» после числа «2»: $2\{3; 5; 7; 9; \dots\}$ также дает нужную левую сторону. При этом все остальные числа после первой строки нули. Если возьмем произвольный набор из N ПЧ и после него поставим арифметическую прогрессию с четной разностью $d < N$ $\{p_N + dk\}$, $k \in \mathbb{N}$, то такая пирамида также будет иметь АС из «1». Поскольку набор ПЧ есть разность из натурального ряда и арифметических прогрессий (решето Эратосфена) и численно располагается между указанными геометрической и первой арифметической прогрессией, то предпосылки (необходимое условие) бесконечности имеют место.

Анализ структуры четных чисел в строках пирамиды показывает следующие особенности. В первой строке АВ нулей нет и числа «2» стоят рядом только один раз – в начале строки. Далее числа «2», соответствующие парам-близнецам разделены другими большими числами. Это легко доказывается путем деления на «3» и соответствует тому, что близнецы не соприкасаются.

Не наблюдаются в первой строке рядом стоящие две «4», «8», «16» за счет кратности «3». Этот факт затрудняет появление нулей во второй строке. Числа «6» попадают парами и

даже тройками. Например, четыре ПЧ {251; 257; 263; 269} дают такую тройку и, следовательно, два нуля во второй строке. Число рядом стоящих нулей с понижением строки возрастает, а потом убывает в связи с сокращением длины самой строки. Если бы интервалы между простыми числами росли монотонно, то возможно любое, даже во всю строку, число нулей. Однако, наличие близнецов на всей числовой оси [2] дает сбой и прерывает цепочку нулей.

В пирамиде Гильбранта наблюдается своеобразная «черта оседлости», линия, отделяющая строки, содержащие только «0» и «2», и строки, содержащие большие числа. На рис. 1 эта черта проходит между первой и второй строкой. С ростом N черта оседлости понижается, но очень медленно. На рис. 2 показана эта зависимость, рассчитанная численно вплоть до $N = 1000$. Тенденция такова, что номер n первой строки ниже черты оседлости $n \approx 1,1 \cdot \sqrt{N}$. Все строки ниже n , кроме первого числа «1», содержат «0» и «2», и их вычитание по модулю дает правильную линию АС.

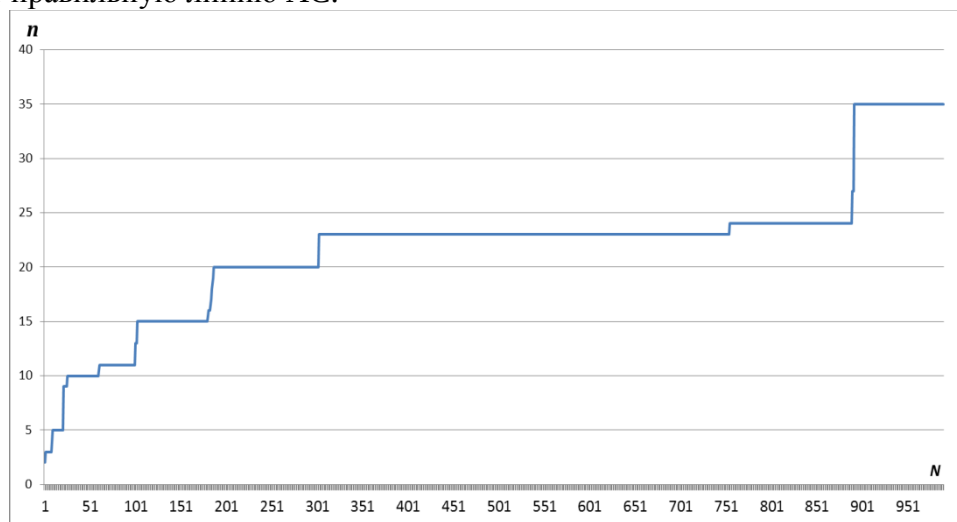


Рис. 2. Зависимость черты оседлости от N .

Далее, найдем зависимость первого наибольшего расстояния между ПЧ от числа ПЧ. Известно, что можно получить любое сколь угодно большое расстояние между ПЧ, взяв $(M! + 1) + 2k$, где $k = [(M - 1)/2]$. Расстояние между двумя ПЧ примерно равно $\Delta_M \approx 2(k - 1)$. Само число ПЧ определим по формуле Лежандра

$$N = \tilde{\pi}(M!) = M! / (\ln(M!) - 1) \approx (\sqrt{2\pi M} \cdot M^{M-1} / e^M \cdot ((\ln M) - 1)). \quad (1)$$

При этом новое число ПЧ $(N + \Delta_M)$ дает новую черту оседлости

$$n' = 1,1 \cdot \sqrt{N + 1} = 1,1 \left(\sqrt{N} + \frac{1}{2\sqrt{N}} \right) = n + \frac{1,1}{2\sqrt{N}}.$$

Отсюда следует, что новое число ПЧ $(N + 1) > n'$, т.е. любой зазор между двумя последовательными ПЧ дает длину новой стороны ВС больше новой черты оседлости. А это гарантирует сохранение свойств пирамиды.

Пример. Пусть $M = 5$, $M! = 120$, $k = 2$, $\Delta_M \geq 2$. Действительно, имеются два составных числа {123; 125}. Предыдущее ПЧ $p = 113$, $N = 30$. По (1) $N \approx 5! / (\ln(5!) - 1) = 31,7$. Общий зазор до следующего ПЧ $p = 127$ составляет $\Delta_M = 14$. Новое $p = (N + \Delta_M) = 127$. Новая черта оседлости $n' \approx 12,4$ больше предыдущего $n \approx 11,7$, но меньше новой длины стороны ВС. Всего строк 30. Начиная с 13 строки и ниже имеем в них только «0» и «2», что обеспечивает числа «1» по стороне АС.

Таким образом, мы считаем, что пирамида Гильбранта может иметь любые размеры.

Список литературы

1. Серпинский В. Что мы знаем о простых числах. ГИМФМЛ, М, 1963.
2. Дружинин В.В. НТВП, №1, 24-29, 2014.

01.01.06

В.В. Дружинин, И.Р. Смагин, Н.О. Хромов

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

ПРИЗНАКИ ДЕЛИМОСТИ НА ПРОСТЫЕ ЧИСЛА

Используется детерминантный признак делимости для получения конкретных простых формул делимости на первые 25 простых чисел с учетом размерности делимого. Показаны способы применимости этих признаков.

Ключевые слова: *простые числа, детерминантный признак делимости.*

Вопросу о признаках делимости чисел, по-видимому, несколько тысяч лет, но до настоящего времени в учебниках и монографиях приводятся признаки делимости только на «2», «3», «4», «5», «11» [1]. В теории сравнений развиты мощные методы для нахождения остатков деления и соответственно указаны признаки делимости на «7», «101», «1001» и на некоторые другие конкретные числа. Первым автором этой статьи создан универсальный детерминантный признак делимости [2,3], который позволяет с переходом на новую функцию делимости дать не только качественный ответ, делятся или нет нацело два числа, но также найти и остаток от деления. При этом объем арифметических операций резко сокращается. В данной работе, как нам кажется, впервые приводятся конкретные простые формулы – признаки делимости на первые простые числа (ПЧ) до $p = 97$, причем учитывается размерность делимого.

Теорема «Детерминантный признак делимости» звучит так.

Если делимое имеет вид $A = A_n \cdot c^n + a_n$, а делитель $B = B_1 \cdot c + b_1$ в целых числах $\mathbb{Z}$, то необходимым и достаточным признаком делимости A на B , т.е. $A : B$ или $A/B \in \mathbb{Z}$, является делимость функции (Дружинина)

$$D(A, B, n) = \begin{vmatrix} A_n & a_n \\ (-1)^{n+1} B_1^n & b_1^n \end{vmatrix} = A_n \cdot b_1^n + (-1)^n B_1^n \cdot a_n \quad (1)$$

на B . В символике теорема записывается так: если $A : B \Leftrightarrow D(A, B, n) : B$. При этом общий знак у $D(A, B, n)$ можно брать любой и сокращать $D(A, B, n)$ на любой множитель. Из-за того, что множитель c исчезает из $D(A, B, n)$, во многих случаях $|D(A, B, n)| \ll A$, что упрощает ответ на поставленный вопрос.

С помощью теории сравнений можно еще больше уменьшить $|D(A, B, n)|$, если воспользоваться сравнениями $b_1^n \equiv \alpha_n \pmod{B}$ и $B_1^n \equiv \beta_n \pmod{B}$. При этом будем брать тут и далее наименьшие по модулю положительные или отрицательные вычеты $|\alpha_n| < B/2$, $|\beta_n| < B/2$. После этого

$$\tilde{D}(A, B, n) = |\alpha_n| \cdot A_n + \gamma_n \cdot a_n, \quad (2)$$

где $\gamma_n = \text{sign}(\alpha_n)(-1)^n \beta_n$. При записи делителя простого двузначного B мы будем брать числа $b_1 = \{-3; -1; 1; 3\}$.

Пример. $A = 10013 = 1 \cdot 10^4 + 13$, $B = 17 = 2 \cdot 10 - 3$, $D(A, 17, 4) = 81 \cdot A_4 + 16 \cdot a_n = 289 = 17^2$. Действительно, $10013 = 17 \cdot 589$, т.е. делимость есть. Далее, $81 \equiv 13 \pmod{17} \equiv (-4) \pmod{17}$; $16 \equiv (-1) \pmod{17}$, т.е. $\alpha_4 = -4$, $\beta_4 = -1$. $\tilde{D}(A, B, n) = 4 \cdot A_4 + 1 \cdot a_4 = 17$. Мы видим, что второй вариант $\tilde{D}(A, B, 4)$ значительно меньше первого варианта $D(A, B, n)$.

Теория сравнений позволяет брать вычеты и от множителей A_n и a_n , $A_n \equiv \delta_n \pmod{B}$, $a_n \equiv \varepsilon_n \pmod{B}$, что еще более уменьшает

$$\tilde{D}(A, B, n) = |\alpha_n| \cdot \delta_n + \varepsilon_n \cdot \gamma_n. \quad (3)$$

В дальнейшем мы будем пользоваться формулой (2).

Между вычетами α_{n+1} и α_n существует рекуррентное соотношение в виде сравнения $b_1 \cdot |\alpha_n| \equiv \alpha_{n+1} \pmod{B}$; $B_1 \cdot \gamma_n \equiv \beta_{n+1} \pmod{B}$ и

$$\tilde{D}(A, B, n+1) = |\alpha_{n+1}| \cdot A_{n+1} - \text{sign}(\alpha_{n+1}) \beta_{n+1} \cdot a_{n+1}. \quad (4)$$

Пример.

$$\tilde{D}(A, 17, 4) = 4 \cdot A_4 + 1 \cdot a_n; 4 \cdot (-3) \equiv 5 \pmod{17}; 1 \cdot (2) \equiv 2 \pmod{17}; \tilde{D}(A, 17, 4) = 5 \cdot A_5 - 2 \cdot a_5.$$

Известные признаки делимости в наших обозначениях: $\tilde{D}(A, 3, n) = A_n + a_n$; $\tilde{D}(A, 5, n) = a_n = 5 \cdot k$; $\tilde{D}(A, 11, n) = A_n + (-1)^n a_n$. Для остальных ПЧ до $p = 97$ и $1 \leq n \leq 10$ коэффициенты $|\alpha_n|$ и γ_n приведены в таблице №1.

Приведем некоторые комментарии к этой таблице.

1. Первый столбец при $n = 1$ имеет $|\alpha_n| = |b_n|$, γ_n находится из уравнения $A_n \cdot |b_n| + a_n \gamma_n = 0$. Далее по (4) можно построить всю строку.

2. $\tilde{D}(A, p, n) = \tilde{D}(A, p, n + k(p-1))$, т.е. числа в строке имеют период $T = (p-1)$. Это видно из первой и второй строки таблицы.

Таблица №1. Функции делимости $\tilde{D}(A, B, n) = |\alpha_n| \cdot A_n + \gamma_n \cdot a_n$ для ПЧ от «7» до «97». n – число цифр после A_n в делимом A . Первое число $|\alpha_n|$, второе число γ_n . Например, $\tilde{D}(A, 17, 5) = 5 \cdot A_n - 2 \cdot a_n$.

$\begin{matrix} n \\ p \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	3; 1	2; 1;	1; -1	3;-1	2; -1	1; 1	3; 1	2; 1;	1; -1	3; -1
11	1; -1	1; 1	1; -1	1; 1	1; -1	1; 1	1; -1	1; 1	1; -1	1; 1
13	3; -1	4; -1	1; -1	3; 1	4; 1	1; 1	3; -1	4; -1;	1; -1	3; 1
17	3; 2	2; -1	3; -1	4; 1	5; -2;	1; 2	3; 4	1; -1;	3; -2	2; 1
19	1; 2	1; 4	1; 8	1;-3	1; -6	1; 7	1; -5	1; 9	1; -1	1; -2
23	3; -2	9; 4;	1; -2	3; 4	9; -8	1; 4	3; -8	2; 1	2; 7	2; 3
29	1; 3	1; 9	1; -2	1;-6	1; 11	1; 4	1; 12	1; 7	1; -8	1; 5
31	1; -3	1; 9	1; 4	1;-12	1; 5	1; -15	1; 14	1; -11	1; 2	1; -6
37	3; 4	4; 3	1; 1	3; 4	4; 3	1; 1	3; 4	4; 3	1; 1	3; 4
41	1; -4	1; 16	1; 18	1;10	1; 1	1; -4	1; 16	1; 18	1; 10	1; 1
43	3; -4	1; -3	1; 4	1; -9	1; -12	3; -5	6; 1	9; -2;	2; -1	3; 2
47	3; -4	9; -22	5; 4	3; 4	9; 20	10; -31	13; 17	8; 9;	10; 7	11; 5
53	3; -5	9; 25	26; 19	25; 11	11; -1	13; 10	14; -3	11; -15	10; -11	7; 4
59	1; 6	1; -23	1; -20	1;-2	1; -12	1; -13	1; -19	1; 4	1; 24	1; 26
61	1; -6	1; -25	1; 28	1;15	1; -29	1; -9	1; -7	1; -19	1; -8	1; -13
67	3; 7	1; -2	27; 8	14; -11	5; 2	8; 3	8; 7	5; 13	5; 8	2; 3
71	1; -7	1; -22	1; 12	1;-13	1; 20	1; 2	1; -14	1; 27	1; 24	1; -26
73	3; -7	3; -8	27; 22	1; -1	24; -17	1; 27	1; 10	1; 1	27; 10	8; 3
79	1; 8	1; -15	1; 38	1;-12	1; -17	1; 22	1; 18	1; -14	1; -33	1; -27
83	3; -8	9; -19	27; -14	2; -29	6; -17	13; 6	29; 9	4; 11	12; -5	9; 10
89	1; 9	1; -8	1; 17	1;-25	1; 42	1; 22	1; 20	1; 2	1; 18	1; -16
97	3; 10	3; 1	9; 10	16; -9	48; 7	47; -27	44; 21	35; 16	4; -17	1; 2

второй строке табл. №1. Например, $(10^{20} + 14) \equiv 19$, так как $114 = 19 \cdot 6$.

3. Таблица дает, например, наименьшее число шестой размерности кратное «41». $\tilde{D}(A, 41, 5) = A_n + a_n$. Ищем $A = 100000 + a_5$. При $a_5 = 40$ $\tilde{D}(A, 41, 5) = 41$, поэтому искомое число $A = 100040 = 2440 \cdot 41$.

4. Если $\tilde{D}(A, p_1, n) = \tilde{D}(A, p_2, n) = 0$, то A кратно и p_1 , и p_2 . Число $A = 1000000001$ кратно «7», «11» и «13» одновременно, так как их $\tilde{D} = 0$.

5. Можно переформатировать $\tilde{D}(A, B, n)$ так, чтобы $|\alpha_n| = 1$ из-за того, что смысл функции делимости не меняется от прибавления или вычитания их нее B . Например, $\tilde{D}(A, 7, 1) = 3 \cdot A_1 + 1 \cdot a_n = -4 \cdot A_1 - 6 \cdot a_n = 2 \cdot A_1 + 3 \cdot a_n = 2 \cdot A_1 - 4 \cdot a_n = A_1 - 2 \cdot a_n$.

6. Таблица позволяет почти мгновенно определять простоту числа. Например, $A = 1297 = 16 \cdot 3^4 + 1$. Известно, что числа вида $A = (2m)^{2^n} + 1$ делятся только ПЧ $p = 2^{n+1}\mu + 1$. В нашем случае $n = 2$, т.е. делителями A могут быть только $p \leq \sqrt{A} \approx 36$. Поэтому проверяем лишь ПЧ «17». Так как $A = 1300 - 3$, $n = 2$, $\tilde{D} = 2 \cdot 13 + 3 = 29$ не кратно «17», поэтому «1297» ПЧ.

Список литературы

1. Сизый С.В. Лекции по теории чисел, М. ФИЗМАТГИЗ, 2007.
2. Дружинин В.В. Детерминантный признак делимости. Саров, Альфа, 2012.
3. Druzhinin V.V. European Science Review, № 1-2, p. 24-26, 2015.

01.04.07

В.А. Евдокимова, С.В. Ланкин

Благовещенский государственный педагогический университет, физико-математический факультет, кафедра общей физики, Благовещенск, iris_87@mail.ru

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИНОПТИЛОЛИТА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ДЕГИДРАТАЦИИ

В работе представлены исследования термостойкости природных клиноптилолитов Вангинского месторождения Амурской области методами рентгеновской дифрактометрии, ИК-спектроскопии, дифференциально-термического и термогравиметрического анализов. Показано влияние процесса дегидратации на изменение параметров кристаллической структуры минерала. Рекомендованы оптимальные режимы обезвоживания Вангинских цеолитов для активации их сорбционных свойств.

Ключевые слова: *клиноптилолит, рентгеновская дифрактометрия, дифференциально-термическая и термогравиметрическая кривые, ИК-спектр, интенсивность диагностического максимум.*

Обладая особым типом структуры, клиноптилолит (впервые описан в 1890 г. Алиетти[1]) имеет уникальный комплекс свойств, которые позволяют использовать его в процессах адсорбции, ионного обмена, катализа, молекулярного разделения вещества и других областях. Благодаря высокому числу $Si/Al > 4$ (82%, тетраэдров заняты Si) кристаллический каркас клиноптилолита устойчив к агрессивным средам и ионизирующим излучениям [3,4,8,9,14,15,17].

Пластичный клиноптилолит имеет однородные поры (от 0,4 до 0,8 нм). Благодаря системе каналов и полостей, которые пронизывают кристаллы, эти адсорбенты обладают хорошо развитой поверхностью, пористостью, механической прочностью (физико-химические свойства цеолитов Амурской области приведены в работах [12,13,19]). При нормальных условиях внутрикристаллическое пространство клиноптилолита заполнено водой. При нагревании вода удаляется и эти минералы приобретают способность адсорбировать молекулы. Поэтому, режимы обезвоживания необходимо знать не только для диагностики, но и для практического использования.

Известно, что в зависимости от химического состава термическая устойчивость [2-7,10,11,14-17] клиноптилолита колеблется в довольно широких пределах. Термические исследования позволяют получить важные сведения, касающиеся дегидратации, дегидратации, термостабильности. При нагревании цеолитов до 350°C происходит обезвоживание почти на 80%, а кристаллическая структура не меняется.

Целью настоящей работы – изучение структурных изменений клиноптилолита в процессе его дегидратации, имеющее как фундаментальный, так и практический интерес.

В качестве исходных веществ использовались измельченные и очищенные образцы цеолитизированных пород Вангинского месторождения – одного из перспективных в Амурской области [13,15,18,19], содержание клиноптилолита в которых составляло $90 \pm 5\%$ (по данным термохимического анализа). Усредненный химический состав исследованных образцов по результатам атомно-адсорбционного анализа составляет (масс. %) SiO_2 -66,37, Al_2O_3 -12,82, MnO -0,05, Fe_2O_3 -1,17, TiO_2 -0,18, MgO -1,20, CaO -3,35, Na_2O - 0,36, K_2O -2,20, P_2O_5 -0,03, потери после прокаливании – 12,00.

По отношению $Si/Al \geq 5$ их можно отнести к высококремнистым, а по преобладающему типу внекаркасных катионов к кальциевой форме (на долю Ca приходится около 60% от общего количества обменных катионов).

Изменения в структуре цеолитов при их нагревании изучались методами: 1) рентгеновской дифрактометрии (ДРОН-3: $\text{CuK}\alpha$ -излучение с Ni – фильтром методом Дебая-Шеррера с фокусировкой по Бреггу-Брентано); напряжение на трубке 30 кВ, ток 20 мА, щели 2; 0,25; скорость гониометра 1 град/мин, скорость движения диаграммной ленты 720 мм/ч. Образец вращался. Для определения параметров субструктуры производилась съемка при скорости гониометра 0,25 град/мин; УРС-2; $\text{CuK}\alpha$ -излучение, напряжение 25 кВ, ток 20 мА, экспозиция 6 часов. 2) ИК-спектроскопии (SPECORD-75-IR: диапазон волновых чисел $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$; образцы были приготовлены методом прессования из смеси порошка цеолита с KBr в соотношении 1:200 мг). 3) ДТ и ТГ анализы – дериватографом Q-1000 (масса навески 200 мг; скорость нагрева 10 град/мин в воздушной атмосфере; вещество сравнения – прокаленный оксид алюминия).

Образцы клиноптилолита (гранулы класса 0,25-0,1 мм) прокаливались в печи (статические условия) в течении часа при температуре от 100 до 500°C и помещались в бюксы с притертыми крышками для остывания. После чего определялись параметры их элементарных ячеек (a , b , c , β). В качестве диагностического рентгено-дифракционного максимума был выбран максимум с межплоскостным расстоянием (d): 0,396-0,399 нм, характерным для клиноптилолита. По его смещению, изменению интенсивности, а также изменениям значений, a , b , c и β судили об изменениях структуры цеолита. Все отожженные при различных температурах подверглись дегидратации (в эксикаторе), после чего повторно определялось их влагосодержание (Δm) методом ТГА. На ИК-спектрофотометре исследовались исходные и дегидратированные образцы.

Кривые термографического и дифференциально-термического анализов (ТГ, ДТА) представлены на рис. 1. На кривой ДТА выделяется низкотемпературный эндотермический эффект удаления воды и высокотемпературный экзотермический пик, связанный с выделением энергии в процессе разрушенной цеолитной структуры в другие типы структур.

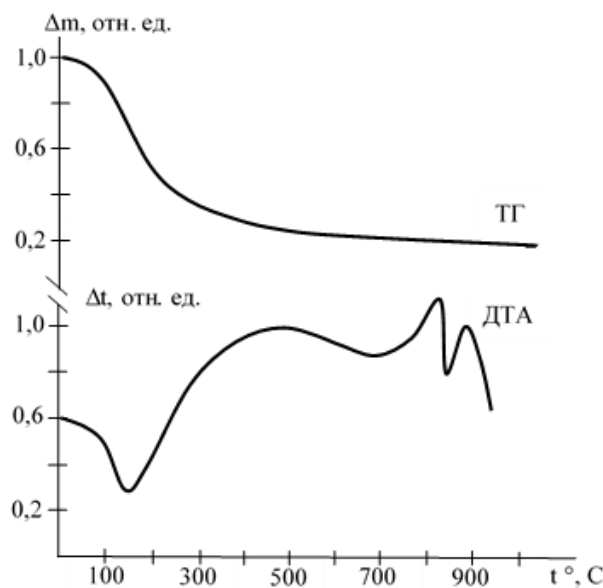


Рис.1 Кривые ДТА и ТГ клиноптилолита Вангинского месторождения

В процессе дегидратации может наблюдаться несколько перегибов, что указывает на изменение топологии каркаса. При нагревании цеолитов наблюдается глубокий эндотермический эффект при температуре $140\text{--}160^\circ\text{C}$, что отражает потерю цеолитной воды и частично капиллярной воды на 5-15 масс.%. С повышением температуры пик потери воды смещается вправо. При нагревании клиноптилолита в интервале температур $350\text{--}400^\circ\text{C}$ выходит более 80% цеолитной воды. Структурно-связанная вода с каркасом выходит при высоких температурах $650\text{--}800^\circ\text{C}$. Экзотермические перегибы на кривой ДТА показывают разрушение структуры, его аморфизацию или образование новых фаз (карбонаты, окисные формы железа и пр.) [5-7,10,13-18]. На кривой ДТА (рис. 1) видны два экзотермических пика

при 820°C и 890°C, связанные с необратимыми изменениями структуры цеолита. Рассчитанные энергии активации меняются от 42,7 до 58,2 кДж/моль [2,13,18].

Рентгеновский анализ является наиболее достоверным и информативным. Достаточно полное собрание рентгенографических данных природных цеолитов приведено в книге Д. Брека[9] и определителе В.Н. Семушкина[17]. Суммарная относительная ошибка этого метода составляет 12-20%, что связано с неоднородностью зерен клиноптилолита (2-100 мкм).

На рис. 2 приведены изменения основного диагностического максимума от температуры прокаливания исследуемых образцов.

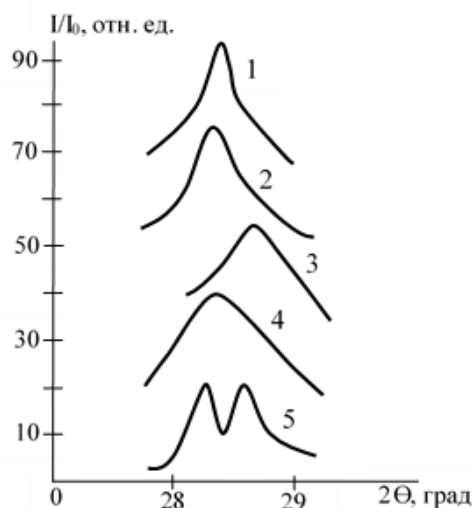


Рис. 2 Зависимость рентгеновского максимума от температуры прокаливания образцов клиноптилолита: 1-исходный образец, 2-образец при 100°C, 3-при 200°C, 4-при 300°C, 5-при 500°C

Из приведенных дифрактограмм видны смещения рентгеновского максимума от температуры, а на пятой диаграмме пик распадается на два. Эти изменения связаны с перестройкой каркаса цеолита и образования новой структуры. Зависимости параметров решетки, a , b , c , β от температуры приведены в таблице 1, по которой видны незначительные изменения структуры.

Таблица 1 - Зависимости параметров элементарной ячейки клиноптилолита от температуры прокаливания образцов

$t, ^\circ\text{C}$	a , нм	b , нм	c , нм	β , °
20	1,76	1,78	0,74	115,2
100	1,74	1,81	0,74	117,2
200	1,76	1,76	0,73	115,8
300	1,75	1,79	0,74	116,1
500	1,75	1,79	0,74	115,9

Метод ИК-спектроскопии имеет достаточно широкое распространение для объяснения особенностей химических связей и окружения ионов в цеолитах. ИК-спектр позволяет определить вид цеолита лишь при его содержании в системе более 50%, то есть это возможно при анализе мономинеральных образцов. При меньшем содержании основные линии поглощения накладываются и разделить их невозможно. Тем не менее нам удалось снять ИК-спектры клиноптилолита при разных температурах, которые приведены на рис. 3.

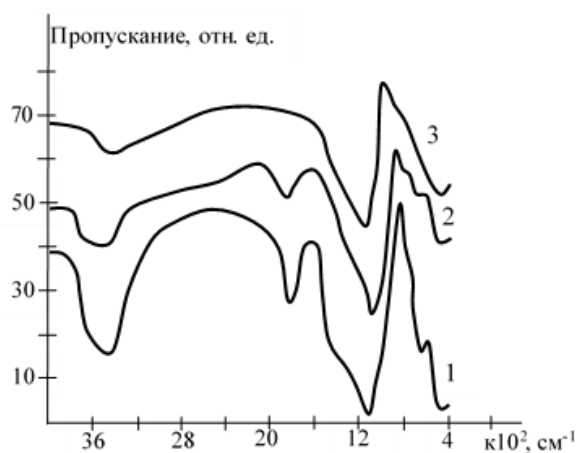


Рис. 3 ИК-спектры клиноптилолита при разных температурах:
1-исходный образец, 2-350°C, 3-500°C

Полосы 480 и $1060\text{-}1120 \text{ cm}^{-1}$ относятся к колебаниям внутри алюмокремнекислородных тетраэдров (валентные колебания связей Al-Si-O). Они слабо чувствительны к структурным изменениям при нагревании цеолитов. Полоса $1640\text{-}1650 \text{ cm}^{-1}$ соответствует деформационным колебаниям связей O-H молекул воды. Колебания гидроксильных групп в полостях каркаса и молекулярной воды наблюдаются при $3620\text{-}3630 \text{ cm}^{-1}$ и $3300\text{-}3460 \text{ cm}^{-1}$ соответственно. При нагревании образцов интенсивность этих полос уменьшается с ростом температуры. При прокаливании в течении одного часа при 500°C полоса $1640\text{-}1650 \text{ cm}^{-1}$ почти исчезает.

В результате проведенных экспериментов получены данные о термическом поведении клиноптилолита в цеолитизированных породах Вангинского месторождения Амурской области. Обнаружено, что исследуемые цеолиты обладают относительно низкой для данного минерала термостойкостью. Мы предполагаем, что это связано преобладанием внекаркасного Ca^{2+} существенно влияющего на стабильность алюмосиликатного каркаса при воздействии высоких температур. Целесообразно активацию сорбционных свойств такого клиноптилолита проводить при температурах 300-350°C. Увеличение термостабильности каркаса цеолита возможно при замещении ионов Ca^{2+} на Na^+ или K^+ , что существенно повышает термостойкость вплоть до температуры 700°C [18].

Список литературы

1. Alietti, A. Polymorphism and crystal chemistry of heulandite and clinoptilolite / A. Alietti // Amer. Mineral, 1972. – V. 2. – P. 1437-1462.
2. Анакчян, Э.Х. Термоаналитические исследования природных клиноптилолитов / Э.Х. Анакчян, М.М. Дубинин, А.А. Исирикян // Изв. АН СССР. Сер. хим., 1979. - №1. – С. 9-13.
3. Barrer, R.M. Molecular sieves sorbents from clinoptilolite / R.M. Barrer, M.B. Makki // Canad. J. Chem., 1964. – V. 42. – P. 1481-1487.
4. Баррер, Р.М. Гидротермальная химия цеолитов / Р.М. Баррер. – М.: Мир, 1985. – 424 с.
5. Белицкий, И.А. Диагностика и количественное определение цеолитов в туфах методом спектроскопии, ЯМР цеолитной воды / И.А. Белицкий, С.П. Гобуда // Методы диагностики и количественного определения содержания цеолитов в горных породах. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1985. – С. 88-95.
6. Белицкий, И.А. Регидратация природных цеолитов / И.А. Белицкий // Геология и геофизика, 1971. - №11. – С. 12-21.
7. Белицкий, И.А. Термическое исследование цеолитов / И.А. Белицкий, Г.В. Букин, Н.В. Тонор // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. – Новосибирск: Наука, 1972. – Т.7. - С. 255-309.
8. Boles, J.R. Composition, optical properties cell dimensions and thermal stability of some heulandite zeolites / J.R. Boles // Amer. Miner., 1972. V. 57. – №9-10. – P. 1463-1493.
9. Брек, Д. Цеолитовые молекулярные сита / Д. Брек. – М.: Мир, 1976. – 781 с.
10. Дементьев, С.Н. Дегидратация цеолитов нагреванием в динамическом режиме / С.Н. Дементьев, В.А. Дребущак // Геохимия, 1992. - №1. – С. 1361-1367.
11. Дребущак, В.А. Изобарическая дегидратация цеолитов / В.А. Дребущак // Геохимия, 1990. - №1. – С. 124-129.
12. Евдокимова, В.А. Особенности электрических свойств природных цеолитов, обогащенных нитратом висмута / В.А. Евдокимова, С.В. Ланкин // Научно-технический вестник Поволжья, 2015. - №1. – С. 14-18.
13. Колесникова, Л.Г. Ионный перенос в клиноптилолите: монография / Л.Г. Колесникова, С.В. Ланкин, В.В. Юрков. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2007. – 113 с.
14. Korkuna, O. Structural and physicochemical properties of natural zeolites clinoptilolite and mordenite / O. Korkuna, R. Lebeda, J. Skubizewska-Zieba // Microporous and Mesoporous Materials, 2006. – V. 87. – P. 243-254.
15. Рогулина, Л.И. Особенности минерального состава цеолитов Амурской области / Л.И. Рогулина, В.В. Юрков // Литосфера, 2005. - №1. – С. 149-157.
16. Семушкин, В.Н. Рентгенографический определитель цеолитов / В.Н. Семушкин. – Новосибирск: Наука, 1986. – 126 с.
17. Сендеров, О.Э. Цеолиты, их синтез и условия образования в природе / О.Э. Сендеров, Н.И. Хитаров. – М.: Наука, 1970. - 283 с.
18. Юрков, В.В. Кинетика термической дегидратации природного клиноптилолита / В.В. Юрков, С.В. Ланкин, М.А. Мельникова // Вестник Амур. НЦ ДВО РАН. – Благовещенск: Изд-во Амур. НЦ, 2002. – Вып. 3. – Сер. 2. – С. 29-32.
19. Юрков, В.В. Цеолиты Амурской области / В.В. Юрков, С.В. Ланкин, С.В. Барышников и др. // Вестник ДВО РАН, 2004. №1. – 69-79.

01.01.01

К.В. Остапович, А.Р. Абдуллаев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, факультет прикладной математики и механики, кафедра высшей математики, Пермь, h.m@pstu.ru

О КВАЗИНИЛЬПОТЕНТНОСТИ ПРОИЗВЕДЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ОПЕРАТОРОВ

В статье предложены достаточные условия квазинильпотентности произведения линейных ограниченных операторов. Основные утверждения доказаны для случая произвольной некоммутативной банаховой алгебры. Приведен пример класса операторов, квазинильпотентность которых может быть установлена с использованием сформулированных теорем.

Ключевые слова: банахова алгебра, квазинильпотентный оператор, спектр, спектральный радиус.

Линейный ограниченный оператор $L: X \rightarrow X$, где X – банахово пространство, называется квазинильпотентным [1, с. 30], если его спектр $\sigma(L)$ содержит только нулевое значение. Для линейного ограниченного оператора, представленного в виде произведения двух операторов, получены достаточные условия квазинильпотентности. Тот факт, что в случае квазинильпотентности оператора L соответствующий оператор $\lambda I - L$ оказывается обратимым при всех $\lambda \neq 0$, играет важную роль в теории линейных краевых задач.

Пусть $\mathcal{B}(X)$ – пространство линейных ограниченных операторов $L: X \rightarrow X$. Как известно, $\mathcal{B}(X)$ образует некоммутативную банахову алгебру с операцией произведения, определенной суперпозицией операторов. Доказательства основных утверждений для удобства проведем в случае произвольной некоммутативной банаховой алгебры E . Через $r(l)$ будем обозначать спектральный радиус элемента $l \in E$.

Теорема 1. Пусть элементы $a, b, c \in E$ таковы, что выполнены условия:

- 1) $ab = cba$;
- 2) $ca = ac$ или $cb = bc$;
- 3) $\|c^m\| < 1$ при некотором $m \in \mathbb{N}$.

Тогда произведения ab и ba являются квазинильпотентными.

Доказательство. Так как [2, с. 113] $r(ab) = r(ba)$, $a, b \in E$, то достаточно показать, что из условий теоремы следует $r(ab) = 0$.

Пусть выполнены условия 1) и 2) теоремы, при этом, для определенности, условие 2) реализуется за счет соотношения $ca = ac$. В таком случае произведение $(ab)^n$ может быть представлено в виде ($n \in \mathbb{N}$):

$$(ab)^n = cbc^2b \dots c^n a^n.$$

Справедлива следующая оценка:

$$\|(ab)^n\|^{\frac{1}{n}} \leq (\|cb\| \|c^2b\| \dots \|c^n b\| \|a^n\|)^{\frac{1}{n}}.$$

При $n \rightarrow \infty$ можно записать:

$$r(ab) \leq \lim_{n \rightarrow \infty} (\|cb\| \|c^2b\| \dots \|c^n b\|)^{\frac{1}{n}} r(a) \leq \lim_{n \rightarrow \infty} \|c^n\| \|b\| r(a)$$

Условие 3) настоящей теоремы гарантирует, что правая часть записанного неравенства равна нулю. Следовательно,

$$r(ab) = 0,$$

что и требовалось доказать.

Случай, когда в условии 2) имеет место лишь соотношение $cb = bc$, доказывается аналогично рассмотренному выше. При этом для элемента $(ab)^n$ используется следующее представление:

$$(ab)^n = b^n c^n a \dots c^2 a c a.$$

Теорема доказана.

Замечание 1. Условие 3) теоремы 1 можно ослабить. В случае, когда условие 2) выполняется за счет соотношения $ca = ac$, достаточно потребовать $\lim_{n \rightarrow \infty} \|c^n b\| = 0$; аналогично в случае $cb = bc$ - $\lim_{n \rightarrow \infty} \|c^n a\| = 0$.

Замечание 2. Вместо условия 2) теоремы 1 можно потребовать выполнения равенства $cba = abc$ (которое, в частности, может быть реализовано за счет одновременного выполнения равенств $ca = ac$ и $cb = bc$). Тогда $r(cba) \leq r(c)r(ba)$ и, в силу условия 1), $r(ab) \leq r(c)r(ab)$. В этом случае условие 3) может быть ослаблено требованием лишь неравенства $r(c) < 1$.

Достаточно важным следствием доказанной теоремы является следующее утверждение, полученное в дополнительном предположении об унитарности алгебры E , то есть существовании в ней «единичного» элемента.

Следствие. Пусть элементы $a, b, c \in E$ таковы, что выполнены условия:

- 1) $ab = cba$;
- 2) $ca = ac$ или $cb = bc$;
- 3) существует обратный к c элемент $c^{-1} \in E$ такой, что $\|c^{-m}\| < 1$ при некотором $m \in N$.

Тогда произведения ab и ba являются квазинильпотентами.

Доказательство. Заметим, что если элемент c^{-1} существует, то из условий 1) и 2) доказываемого утверждения следуют соответственно:

- 1) $ba = c^{-1}ab$;
- 2) $c^{-1}a = ac^{-1}$ или $c^{-1}b = bc^{-1}$;

Так как при этом для некоторого $m \in N$ выполнено $\|c^{-m}\| < 1$, то элементы b , a и c^{-1} с точностью до обозначений удовлетворяют всем условиям теоремы 1. Следовательно, произведения ab и ba являются квазинильпотентными.

Следствие доказано.

Вернемся к рассмотрению линейных ограниченных операторов. Достаточные условия квазинильпотентности для произведения операторов были представлены в работе [3]. Приведем пример класса операторов, к которым применимы сформулированные в настоящей работе утверждения.

Пусть $X = C[0,1]$ - пространство непрерывных функций $x: [0,1] \rightarrow R$ с нормой $\|x\| = \max_{t \in [0,1]} |x(t)|$. Будем рассматривать функции $a, h \in C[0,1]$ такие, что $h([0,1]) \subset [0,1]$ и, кроме того, $\left| \frac{a(h(t))}{a(t)} \right| \leq c, t \in [0,1]$, где c - некоторая константа. Справедлива следующая

Теорема 2. Если константа $c < 1$, то оператор $L: C[0,1] \rightarrow C[0,1]$, определенный равенством $(Lx)(t) = a(t)x(h(t))$, квазинильпотентен.

Доказательство. Оператор L можно представить в виде $L = MS$, где $M, S \in \mathcal{B}(C[0;1])$, положив $(Mx)(t) = a(t)x(t)$, $(Sx)(t) = x(h(t))$. Введем оператор $C \in \mathcal{B}(C[0;1])$, действующий по правилу: $(Cx)(t) = \frac{a(h(t))}{a(t)}x(t)$.

Нетрудно убедиться, что заданные таким образом операторы $M, S, C \in E = \mathcal{B}(C[0;1])$ удовлетворяют следующим соотношениям:

1) $SM = CMS$;

2) $CM = MC$;

кроме того, из условия $c < 1$ теоремы следует

3) $\|C\| < 1$.

Таким образом, в рассматриваемом случае оказываются выполненными все условия теоремы 1. Следовательно, оператор $L = MS$ является квазинильпотентным.

Теорема доказана.

Список литературы

1. Данфорд Н., Шварц Дж.Т. Линейные операторы. Т. III: Спектральные операторы. – М.: Мир, 1974. – 663 с.
2. Хелемский А.Я. Банаховы и полинормированные алгебры: общая теория, представления, гомологии. – М.: Наука, 1989 – 464 с.
3. Остапович К.В., Абдуллаев А.Р. Об одном специальном классе квазинильпотентных операторов // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. – Новосибирск: Изд-во ЦНРС, 2014. – № 16. – С. 162-165.

01.04.14

С.В. Рыков, Д.А. Кудрявцев, В.А. Рыков

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, togg1@yandex.ru

НОВОЕ УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ R32

На примере описания линии насыщения хладагента R32 показаны хорошие расчетные характеристики модели, полученной на основе совместного анализа модифицированной теории Мигдала А.А. и гипотезы об одинаковом характере поведения изобарной теплоемкости на критической и околокритических изохорах в окрестности критической точки (гипотеза Бенедекса). Показано, что в рамках рассмотренного подхода как паровая, так и жидкостная ветви линии насыщения R32 описываются в пределах экспериментальной погрешности в диапазоне температур от тройной точки до критической.

Ключевые слова: линия насыщения, линия упругости, критические индексы, теория критических явлений, хладагент R32.

В работе [1] в рамках масштабной гипотезы, записанной в форме, предложенной в [2]:

$$\Delta\mu \cdot (C_p)^{\frac{2-\alpha}{\gamma}} = \Phi_0 + \Phi_2 \cdot m^2, \quad m = |\tau|^\beta C_p^\gamma, \quad (1)$$

строго рассчитана линия насыщения для критической области в форме:

$$\frac{\rho^- + \rho^+}{2\rho_c} - 1 = A|\tau|^{2\beta} + o(|\tau|^{2\beta}) \quad (2)$$

Здесь $\Delta\mu = \rho_c / p_c (\mu(p, T) - \mu_0(T))$; μ – химический потенциал; $\mu_0(T)$ – регулярная функция температуры; ρ_c и p_c – критические плотность и давление, соответственно; α , β и γ – критические индексы изохорной теплоемкости, кривой сосуществования и изобарной теплоемкости C_p , соответственно; Φ_0 и Φ_2 – постоянные коэффициенты; ρ^- и ρ^+ – плотность насыщенного пара и насыщенной жидкости, соответственно; $\tau = 1 - t$; $t = T / T_c$; T_c – критическая температура.

В данной работе на примере описания линии фазового равновесия хладона R32 проведен численный анализ теоретических результатов, полученных в [1].

С этой целью воспользуемся системой самосогласованных уравнений, в которую входит уравнение Клапейрона-Клаузиуса в форме:

$$\frac{1}{\rho^-} = \frac{r^*(t)}{T(dp_s(t)/dt)}, \quad (3)$$

где функция $r^*(t)$ имеет физический смысл «кажущейся» теплоты парообразования и описывается выражением [3]:

$$r^*(t) = \frac{p_c}{\rho_c} \left(d_0 + d_1 |\tau|^\beta + d_2 |\tau|^{\beta+\Delta} + d_3 |\tau|^{1-\alpha} + \sum_{i=4}^7 d_i \tau^{m(i)} \right), \quad (4)$$

в котором давление на линии упругости от тройной точки T_t до критической точки T_c рассчитывается по уравнению [4, 5]:

$$p_s = p_c \exp(-a_0/t\tau^2) \left(1 + a_1 \tau + a_2 |\tau|^{2-\alpha} + a_3 |\tau|^{2-\alpha+\Delta} + \sum_{i=4}^6 a_i \tau^{n(i)} \right), \quad (5)$$

Здесь a_i – постоянные коэффициенты; p_c – критическое давление; Δ – «неасимптотический» критический индекс; $s(i)$ – массив из натуральных чисел.

Заметим, что если в соответствии с рекомендациями [6] выбрать структуру жидкостной ветви линии насыщения в виде зависимости:

$$\frac{\rho^+}{\rho_c} = 1 + \frac{d_1}{d_0} |\tau|^\beta + \frac{d_2}{d_0} |\tau|^{\beta+\Delta} - \left(\frac{d_1}{d_0} \right)^2 |\tau|^{2\beta} + A_3 |\tau|^{1-\alpha} + A_4 \tau + \sum_{i=5}^6 A_i \tau^{s(i)}, \quad (6)$$

то получим систему взаимосогласованных уравнений (3)–(6), которая передает линию фазового равновесия в диапазоне температур от тройной точки до критической точки, причем в критической области в этом случае выполняется равенство (2) и предельный переход [7, 8]:

$$\frac{\rho^+ - \rho^-}{2\rho_c} = A_1 \tau^\beta + A_2 \tau^{\beta+\Delta} \dots \quad (7)$$

Уравнение линии упругости в форме (5) качественно верно, то есть в соответствии с требованиями современной теории критических явлений, ведет себя в окрестности критической точки:

$$p_s = p_c \left(1 + a_1 \tau + a_2 |\tau|^{2-\alpha} + a_3 |\tau|^{2-\alpha+\Delta} + O(\tau^2) \right). \quad (8)$$

Параметрам уравнений (3)–(6) присвоены следующие значения: $\alpha = 0,11$; $\beta = 0,325$; $\Delta = 0,51$; $a_0 = 10,19$; $n(i) = 2, 3, 5$; $T_c = 351,2549$ К; $p_c = 5,78270$ МПа; $\rho_c = 424,01$ кг/м³; $a_1 = 7,54902277283004$; $a_2 = 24,0095628228417$; $a_3 = -54,5257686615766$; $a_4 = 15,5410930407682$; $a_5 = -23,3250389898240$; $a_6 = 1,25926427711321$; $m(i) = 1, 2, 3, 4, 5$; $d_0 = 17,6644522593$; $d_1 = -680,626135549$; $d_2 = 1197,69133729$; $d_3 = 527,65294028$; $d_4 = 76,8628205869$; $d_5 = 207,500669237$; $d_6 = 380,424909867$; $d_7 = 262,649570207$; $s(i) = 1, 2, 3, 4, 7, 9$; $A_3 = 189,650260496$; $A_4 = 102,787213862$; $A_5 = 25,6209755208$; $A_6 = 40,7321173533$; $A_7 = 36,3098113500$; $A_8 = 36,8278118822$; $A_9 = -34,9334219263$; $\rho_c = 424,01$ кг/м³.

На рис. 1–3 представлены отклонения расчетных значений давления и плотности от экспериментальных и табличных данных. Полученные результаты позволяют уточнить термодинамические таблицы, разработанные в Национальном институте стандартов и технологий (США) [9], как критической области, так и в окрестности тройной точки.

В заключение заметим, что полученные результаты могут найти важное применение при построении как масштабных [10], и широкодиапазонных уравнений состояния [11], в структуре которых линия насыщения выполняет роль опорной кривой.

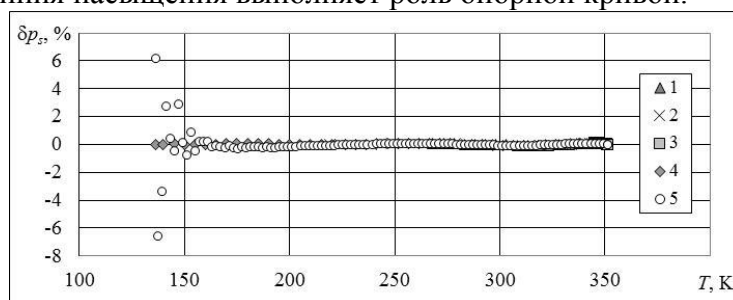


Рис. 1. Отклонения давления на линии упругости, рассчитанные по уравнению (5), от данных: 1 – Defibaugh D.R. et all (1994); 2 – Zhu M.S. et all (1993); 3 – Weber L.A. et all (1994); 4 – Outcalt S. L. et all (1995); 5 – Tillner-Roth R. et all (1997)

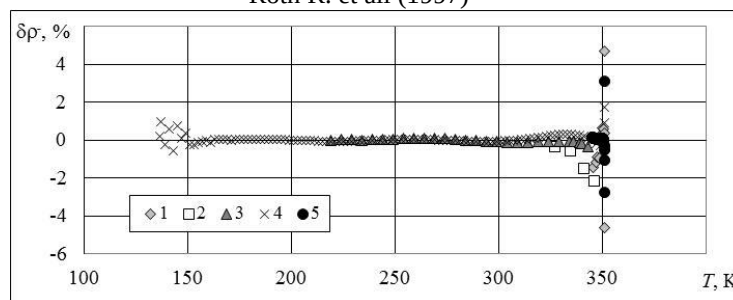


Рис. 2. Отклонения плотности на паровой ветви линии фазового равновесия, рассчитанные по уравнению (3), от данных: 1 – Kuwabara S. et all (1995); 2 – Sato. T et all (1994); 3 – Defibaugh D.R. et all (1994); 4 – Tillner-Roth R. et all (1997); 5 – Kiselev S.B. (1998)

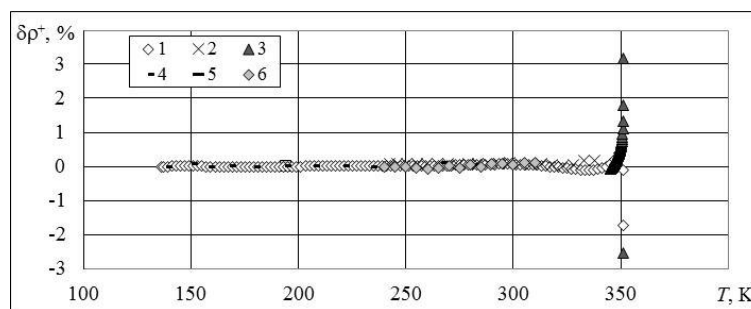


Рис. 3. Отклонения плотности на жидкостной ветви линии фазового равновесия, рассчитанные по уравнению (6), от данных: 1. Tillner-Roth R. et al (1997); 4. Defibaugh D.R. et al (1994); 6. Kiselev S.B. (1998); 8, 9. Magee J.W. (1996); 10. Беляева О.В. и др. (1995)

Работа поддержана грантом РФФИ № 15-08-08503.

Список литературы

1. Рыков С.В. Правило криволинейного диаметра и масштабное уравнение в переменных давление-температура // Вестник Международной академии холода. 2015. № 1. С. 65–68.
2. Рыков С.В., Кудрявцева И.В. Уравнение состояния, разработанное на основе анализа поведения изобарной теплоемкости в критической области // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 1. С. 12.
3. Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В. Уравнение линии насыщения, удовлетворяющее модифицированному правилу криволинейного диаметра // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 9.
4. Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В. Уравнения линии насыщения и упругости хладагента R218 // Вестник Международной академии холода. 2013. № 4. С. 54–57.
5. Рыков В.А. Термодинамические свойства R23 на линии насыщения в диапазоне температур от 180 до 298 К // Вестник Международной академии холода. 2000. № 4.
6. Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А. Модифицированное уравнение линии насыщения, удовлетворяющее требованиям масштабной теории // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 3.
7. Ustyuzhanin E.E., Shishakov V.V., Abdulagatov I.M., Popov P.V., Rykov V.A., Frenkel M.L. Scaling Models of Thermodynamic Properties on the Coexistence Curve: Problems and Some Solutions // Russian Journal of Physical Chemistry B, 2012, Vol. 6, No. 8, P. 912–931.
8. Устюжанин Е.Е., Шишаков В.В., Абдулагатов И.М., Рыков В.А., Попов П.В. Давление насыщения технически важных веществ: модели и расчеты для критической области // Вестник Московского энергетического института. 2012. № 2. С. 34–43.
9. Tillner-Roth R., Yokozeki A. An International Standard Equation of State for Difluoromethane (R-32) for Temperatures from the Triple Point at 136.34 K to 435 K and Pressures up to 70 MPa // J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 26, No. 6, 1997. P.1273-1328.
10. Рыков С.В., Кудрявцева И.В. Непараметрическое масштабное уравнение и феноменологическая теория критических явлений // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-8. С. 1687-1692.
11. Кудрявцева И.В., Демина Л.Ю. О структуре фундаментального уравнения состояния, учитывающего асимметрию жидкости и пара // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2009. № 1. С. 35-38.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.06

М.В. Базунова, Д.Р. Валиев, Р.Ф. Тухватуллин, Е.И. Кулиш

Башкирский государственный университет, химический факультет,
кафедра высокомолекулярных соединений и общей химической технологии,
Уфа, mbazunova@mail.ru

**ПОЛИМЕРНЫЕ ГЕЛИ БИМЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ВОДНО-ЭТАНОЛЬНЫХ РАСТВОРОВ СУКЦИНАМИДА ХИТОЗАНА**

Изучены реологические свойства растворов натриевой соли сукцинамида хитозана (СХТЗ) в смеси этанол-вода. Найдено, что во всем диапазоне концентраций полимера для растворов, содержащих 10 об. % этанола, значительно повышается модуль упругости и модуль вязкости. Также наблюдается увеличение энергии активации вязкого течения, указывающее на процессы структурообразования, обуславливающие формирование дополнительной сетки физических связей в водно-этанольных растворах СХТЗ.

Ключевые слова: сукцинамид хитозана, гели, динамическая вязкость, модуль упругости.

Проблема создания биосовместимых полимерных гидрогелей с заданным комплексом свойств на основе полимеров природного происхождения (например, хитина, хитозана (ХТЗ) и его производных), обладающих биоразлагаемостью и отсутствием токсичности, в настоящее время весьма актуальна. Подобные материалы могут быть использованы в качестве ранозаживляющих покрытий, полимерных форм лекарственных средств с пролонгированным выходом фармакологически-активных веществ и др. [4].

Наиболее распространенным способом получения гелей на основе ХТЗ и его производных, является сшивание их макромолекул глутаровым альдегидом [2]. Однако, продуктами взаимодействия глутарового альдегида с амино-группами ХТЗ являются основания Шиффа, являющиеся достаточно токсичными. Нами выбран подход к созданию упруго-вязких систем на основе водорастворимого производного ХТЗ – натриевой соли сукцинамида хитозана (СХТЗ) – в отсутствии сшивающих агентов, заключающийся в формировании дополнительной сетки физических связей вследствие изменения термодинамического качества растворителя, а именно, замене воды (термодинамически хорошего растворителя для СХТЗ) на смеси воды с этанолом, являющимся осадителем для СХТЗ.

О формировании геля в растворах полимеров можно судить по реологическим данным, например, по появлению предела текучести, или по наличию упругих характеристик у раствора полимера [3]. В связи с этим, целью работы стало изучение реологических свойств растворов СХТЗ в водно-этанольных смесях.

Экспериментальная часть

В работе использовали СХТЗ с М.м. = 207 к Да, степенью замещения 75 %, ТУ 9284-027-11734126-08 (ЗАО «Биопрогресс», г. Щелково). В качестве растворителя использовалась бидистиллированная вода или смесь этанол-вода с объёмным соотношением 10:90 %.

Реологические измерения растворов СХТЗ проводили на модульном динамическом реометре Нааке Mars III при 25 °С. Кривые вязкости получены в режиме непрерывного сдвигового деформирования в диапазоне скоростей сдвига от 0,1 до 100 с⁻¹ [1]. Кривые зависимостей модуля упругости и модуля вязкости от частоты получены в режиме постоянной деформации (0,1) при частоте 0,1-100 Гц.

Энергии активации вязкого течения исследуемых систем ΔE_a в диапазоне температур от 15 до 45 °С оценивали по уравнению Аррениуса-Френкеля-Эйринга: $\eta = A e^{\Delta E_a/RT}$, где R – универсальная газовая постоянная, A – константа.

Обсуждение результатов

Известно, что ухудшение термодинамического качества растворителя по отношению к полимеру, вызванное различными причинами, должно приводить к возрастанию степени ассоциации макромолекул в растворе, так как контакты полимер–полимер становятся более вероятными, чем контакты полимер–растворитель. Следовательно, от водных и водно-этанольных растворов СХТЗ можно ожидать формирование различной структурной организации полимера и иной флуктуационной сетки зацеплений макромолекул полимера.

При изучении реологического поведения растворов СХТЗ в смесях этанол-вода различного объёмного соотношения было установлено следующее. Во-первых, при превышении концентрации СХТЗ в растворе более 5 % происходит образование гелевых систем, характеризующихся потерей текучести, что свидетельствует о формировании прочной сетки физических межмолекулярных связей. При этом модуль упругости превышает модуль вязкости.

Во-вторых, добавление этанола в систему СХТЗ-вода сопровождается значительным увеличением динамической вязкости во всём диапазоне концентраций полимера. Формирование сетки зацеплений в присутствии спирта начинается значительно при более низких концентрациях СХТЗ, чем в случае водных растворов полимера. Так, хорошо видно (рис. 1), что при концентрации СХТЗ 2 % мас. и выше значение модуля упругости водно-этанольных растворов выше значения модуля вязкости.

Наблюдается также увеличение энергии активации вязкого течения (таблица 1), свидетельствующее о протекающих процессах структурообразования в водно-этанольных растворах СХТЗ. Следовательно, предложенный подход позволяет создавать упруго-вязкие системы на основе СХТЗ без проведения процессов сшивания макромолекул.

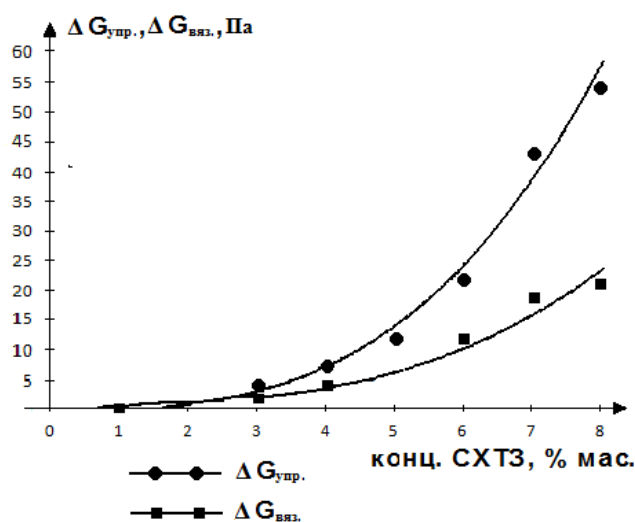


Рис. 1 - Изменение прироста модуля упругости ($G_{\text{упр.}}$) и модуля вязкости ($G_{\text{вяз.}}$) растворов СХТЗ в смеси этанол-вода (10:90 % об.) по отношению к раствору СХТЗ в воде от концентрации полимера, 20 °С, $f=1$ Гц

Таблица 1 - Энергия активации вязкого течения 6 % растворов СХТЗ в воде и в смеси этанол : вода.

п/п	Образец	Е, кДж/моль
1	Раствор СХТЗ в воде	26±3
2	Раствор СХТЗ в смеси этанол:вода 10:90 об. %	33±3

Таким образом, добавление спирта к раствору полисахарида будет способствовать формированию дополнительной сетки физических связей, что, несомненно, скажется на структуре, морфологии и топографии поверхности плёночных и объёмных материалов, полученных на основе изучаемых растворов.

Список литературы

1. Бабунова М.В., Тухватуллин Р.Ф., Валиев Д.Р. Реологические особенности систем на основе полимер-коллоидных комплексов хитозана и его производных с частицами золь йодида серебра. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: «Наука и образование в жизни современного общества» 30 декабря 2014 г.: в 12 частях. Тамбов, 2015, С. 13-15.
2. Перминов П.А., Н.Р. Кильдеев, Тимофеева Л.М и др. Структурообразование в растворах хитозана в присутствии сшивающего реагента при получении биологически активных полимерных материалов// Химия и химическая технология, 2007, т. 50, вып. 3, С. 53
3. Роговина Л. З., Васильев В. Г., Браудо Е. Е. К определению понятия «полимерный гель» // Высокомолекулярные соединения. 2008. Т.50. № 7. С. 1397-1406.
4. Сливкин А.И., Лапенко В.Л., Арзамасцев А.П., Болгов А.А. Аминоглюканы в качестве биологически-активных компонентов лекарственных средств (обзор за период 2000-2004 г.)// Вестник Воронежского государственного университета, Серия: Химия. Биология. Фармация, 2005, № 2, С. 73-87.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по теме «Разработка физико-химических основ создания новых полимерных материалов биомедицинского назначения с контролируемыми сорбционными, реологическими и структурно-физическими характеристиками на основе природных и синтетических полимеров», задание № 2014/7 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части госзадания.

02.00.04

Т.Е. Иванова, А.В. Исмагилова

Тюменский государственный нефтегазовый университет, институт промышленных технологий и инжиниринга, кафедра общей и физической химии, Тюмень, emt@yandex.ru

О МЕХАНИЗМЕ КАТАЛИЗИРУЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ МЕДИ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ НИТРАТ-ИОНОВ В УСЛОВИЯХ ЕЕ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ

Представлены результаты изучения механизма побочной реакции восстановления нитрат-ионов в слабокислом нитратном электролите с участием атомов меди в условиях ее электроосаждения.

Ключевые слова: электроосаждение меди, атомы, электрокатализ, электровосстановление нитрат-ионов, механизм реакции.

К настоящему времени накоплен обширный материал по изучению механизма и кинетики реакций восстановления NO_3^- -ионов в кислых и щелочных растворах на различных металлах и графите [1-9]. Большая часть исследований посвящена изучению процессов в минеральных кислотах в области положительных потенциалов при $\text{pH} < 1$. Процессы в слабокислых средах, применяемых при электроосаждении меди, исследованы в меньшей степени. Электроосаждение меди из слабокислых нитратных электролитов, как известно, сопровождается побочными процессами восстановления нитрат-ионов с образованием различных продуктов, состав которых зависит от pH , потенциала электрода и его природы [10,11]. В области потенциалов электровосстановления меди закономерности одновременного протекания основной и побочных реакций изучены недостаточно. Оптимизация условий электроосаждения меди диктует необходимость исследования взаимного влияния компонентов раствора в процессе катодного восстановления ионов Cu^{2+} и NO_3^- . В связи с этим, исследована природа катодных токов и взаимное влияние компонентов раствора в зависимости от потенциала электрода, состава раствора и материала электрода в условиях электроосаждения меди из слабокислого нитратного электролита [12-14]. Методика эксперимента подробно описана в статье [14]. Проведенные исследования кинетики и механизма реакции восстановления нитрат-ионов позволяют обосновать механизм участия меди в побочной реакции.

На катодных поляризационных кривых, полученных в растворе 0.1 М KNO_3 , $\text{pH}=2.65$ –3.15, в присутствии $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, регистрируется волна восстановления нитрат-ионов, деполяризуемая добавками ионов меди [12-14] (I_I на рис. 1). Токи восстановления ионов меди (I_{II}) на данной чувствительности прибора регистрируются при концентрациях ионов меди 10^{-3} М и выше.

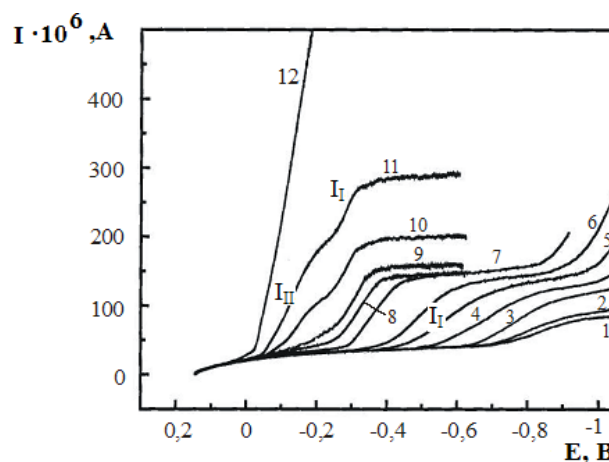


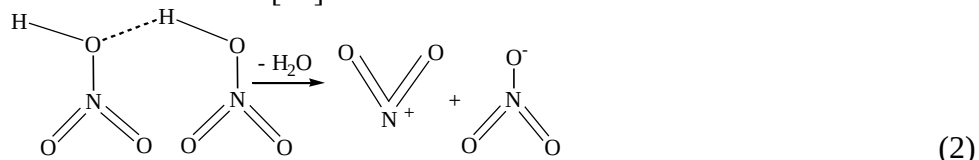
Рис. 1. Катодные вольтамперные кривые на вращающемся дисковом стеклоуглеродном (СУ) электроде в растворе 0.1 М KNO_3 , скорость развертки потенциала 2 мВ/с; скорость вращения электрода 4.17 об/с, $\text{pH}=2.65$, $C_{\text{Cu}(\text{NO}_3)_2}$, М: 1) 0; 2) 10^{-6} ; 3) $5 \cdot 10^{-6}$; 4) 10^{-5} ; 5) $5 \cdot 10^{-5}$; 6) 10^{-4} ; 7) $5 \cdot 10^{-4}$; 8) $1 \cdot 10^{-3}$; 9) $2 \cdot 10^{-3}$; 10) $5 \cdot 10^{-3}$; 11) $1 \cdot 10^{-2}$; 12) $5 \cdot 10^{-2}$

Совокупность рассчитанных кинетических параметров восстановления нитрат-ионов в условиях эксперимента полностью соответствуют подробно описанному в литературе механизму электрохимической реакции [15]:

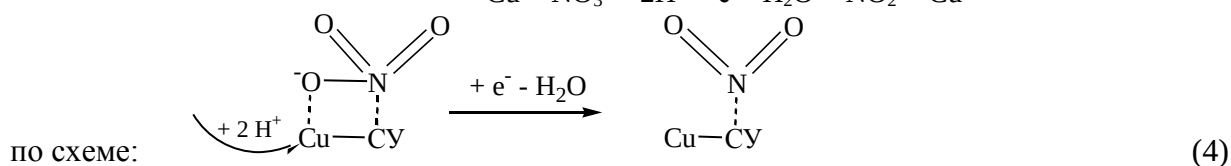
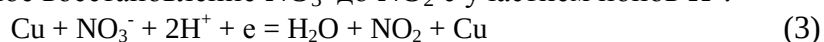


идущей в режиме смешанной кинетики с проявлением диффузионного, химического контроля и двух-электронной стадии переноса. Исследованиями методом инверсионной вольтамперометрии на стационарных и вращающихся дисковых электродах из СУ, меди и платины установлено, что предшествующая химическая реакция проявляется как лимитирующая стадия восстановления нитрат-ионов только в растворе KNO_3 без добавок ионов меди. В присутствии ионов меди кинетический контроль реакции полностью снимается [14]. Установлено, что предшествующая химическая реакция носит гетерогенный характер, а диапазон потенциалов восстановления нитрат-ионов в присутствии ионов меди в растворе совпадает с потенциалами формирования адатомов меди. Проведенные исследования привели к выводу об ускоряющем влиянии адатомов меди на предшествующую гетерогенную химическую реакцию в механизме разряда нитрат-ионов [14]. Совокупность установленных закономерностей говорит о возможности следующего механизма процесса.

Если в отсутствие ионов меди в растворе начальной стадией процесса, является самоионизация азотной кислоты по схеме [16]:



с последующим быстрым восстановлением NO_2^+ до NO_2 , то на адатомах меди становится возможно быстрое одноэлектронное восстановление NO_3^- до NO_2 с участием ионов H^+ :

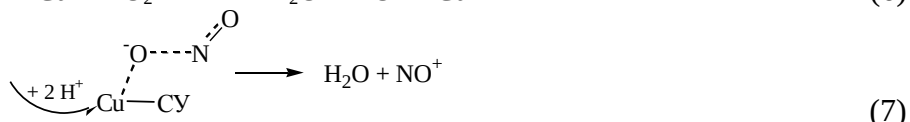
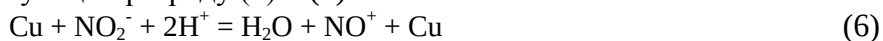


с последующим замедленным электровосстановлением NO_2 до NO_2^- по реакции [15]:



Ускоряющим фактором может являться также возможность усиления адсорбции водорода на меди по сравнению с поверхностью стеклоглеродного электрода. Схема (4) аналогична описанной в работе Сафоновой Т.Я. и Петрия О.А. в механизме восстановления NO_3^- на платине, модифицированной оловом [17].

С увеличением концентрации HNO_2 у поверхности катода, процесс идет по автокаталитическому механизму [15], включающему ряд последовательных быстрых химических стадий, предшествующих разряду (6) – (9):



и далее по уравнениям (5) и (10):



Увеличение концентрации ионов меди до 10^{-3} М и выше приводит к смене природы электрода. При этом активную роль в механизме восстановления нитрат-ионов играют адатомы меди на меди, о чем свидетельствует сравнение поляризационных кривых восстановления нитрат-ионов на стеклоглеродном и медном электродах и на тех же

электродах в присутствии ионов меди в растворе: при замене СУ электрода на медный в растворе KNO_3 волна восстановления NO_3^- деполяризуется на 350 мВ, однако в присутствии ионов меди в растворе деполяризация намного больше [14]. Установленная ранее зависимость данного влияния от концентрации ионов меди снимает сомнения в идентичности природы процессов, происходящих в рассматриваемых условиях. Предложенный механизм участия меди в побочной реакции позволил объяснить установленный ранее [11] аномальный характер влияния pH на выход по току меди при осаждении ее из слабокислых нитратных электролитов [14].

Исследования выполнены при поддержке департамента образования и науки Тюменской области (Приказ №1251/ОД от 09.12.2011).

Список литературы

1. Кварацхелия Р.К. Электрохимическое восстановление кислородных соединений азота. Тбилиси.: «Мецниереба», 1978.- 113 с.
2. Крюкова Т.А., Синюкова С.И., Арефьева Т.В. Полярографический анализ. М.:Госхимиздат, 1959.- 773 с.
3. Сафонова Т.Я., Петрий О.А. Влияние ионов олова на электровосстановление нитрат-ионов на платинированном платиновом электроде. // Электрохимия. -1998. Т.34. №11. С.1264-1270.
4. Polatides C., Kuriacou G. Electrochemical reduction of nitrate-ion on various cathodes-reaction kinetics on bronze cathode. // J. Appl. Electrochem. -2005. V.35. №5. P.421-427.
5. De Groot M.T., Koper M.T.M. The influence of nitrate concentration and acidity on the electrocatalytic reduction of nitrate on platinum. // J. Electroanal. Chem.- 2004. V.562. №1. P.81-94.
6. Badea G.F., Badea T. Nitrate reduction in alkaline solutions mediated by Cu and Cd underpotential deposition on Au and Ni substrates. // Rev. roum. chim.- 2003. V.48. №11. P.843-848.
7. Cosella I.G., Gatta M. Electrochemical reduction of NO_3^- and NO_2^- on a composite copper Thallium electrode in alkaline solutions. // J. Electroanal. Chem.- 2003. V.554-555. №1. P.15-23.
8. Paidar M., Bouzek K., Bergmann H. Electrochemical reduction of nitrate in weakly alkaline solution. // 55 Annual Meeting of the Int. Soc. of Electrochem. «Electrochemistry: From Nanostructures to Power Plants». Thessaloniki, 19-24 Sept. 2004. Lausanne.: Int. Soc. Electrochem. 2004. P.1211.
9. Macova Z., Bouzek K. The copper-tin alloys for the electrochemical reduction of nitrate in a weakly alkaline solution. // Там же. -P.1175.
10. Гуревич Ю.Я. и др. Влияние побочного процесса на скорость осаждения меди из нитратного электролита. // Электрохимия.-1989. Т.29. №6. С.784-787.
11. Грицан Д.Н. и др. Влияние природы аниона на электроосаждение меди. // Вестник Харьковского университета.-1985. №275. С.45-50.
12. Иванова Т.Е., Исмаилова А.В. Электрокаталитические процессы при электровосстановлении меди и сплавов медь-таллий из нитратных электролитов. // «Современные аспекты электрокристаллизации металлов». Сб. мат. конф., посв. 80-летию со дня рожд. академика А.Н. Барабошкина. Екатеринбург, 16-17 нояб. 2005. С.25-26.
13. Иванова Т.Е., Исмаилова А.В. О природе предельных токов при электровосстановлении меди из нитратных электролитов. // Сб. мат. конф. «Вольтамперометрия и электроосаждение металлов». Тюмень, 15.10.2004. С.26-36.
14. Иванова Т.Е., Исмаилова А.В. Электрокаталитическое восстановление нитрат-ионов при электроосаждении меди. // Известия ВУЗов. Химия и хим. технология.-2008. Т.51. №3. С.54-58.
15. Феттер К. Электрохимическая кинетика. М.: Химия, 1967.-856 с.
16. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. М.: ВШ. 1975.-560 с.
17. Сафонова Т.Я., Петрий О.А. Влияние ионов олова на электровосстановление нитрат-ионов на платинированном платиновом электроде. // Электрохимия-1998. Т.34. №11. С.1264-1270.

02.00.04

С.В. Смердов, В.В. Шмидт, И.Г. Жихарева

Тюменский государственный нефтегазовый университет, shmidt_vadim@mail.ru

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТНО-КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ
СПЛАВОМ Fe-Ni ДЛЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Методом высокочастотного переменного тока получено наноструктурное покрытие сплавом Fe-Ni с заданным химическим содержанием компонентов ($>80\%$ Fe) и фазовым составом ($\alpha\text{-Fe}+\varepsilon\text{-Fe}$). Наличие гексагональной сингонии для фазы $\varepsilon\text{-Fe}$ позволило повысить защитно-коррозионные свойства покрытия Fe-Ni в 7,5 раз по сравнению с высоколегированной сталью 20X23H18 и 08X18H10 в среде хлорид-ионов, а наноструктура способствовала увеличению его микротвердости.

Ключевые слова: электролитические сплавы, фазовый состав, наноструктура, нестационарные методы осаждения.

Актуальность:

Возрастающее внедрение химической технологии и техники в нефтехимию, нефтеперерабатывающую промышленность и другие отрасли, имеющие дело с агрессивной средой, ведет к тому, что структура и свойства поверхности приобретают всё большее значение. В связи с этим большой практический интерес представляет получение новых защитно-коррозионных материалов, обладающих максимальными антикоррозионными свойствами, заданной структурой (химическим содержанием компонентов в сплаве, фазовым составом, наноструктурой), высокой прочностью и равномерностью поверхности.

Сегодня накоплен богатый практический опыт получения сплавов с помощью метода стационарного электрического тока, однако возможности этого способа ограничены: недостаточно высокая адгезия, малая толщина и микротвердость [1, 2].

В последнее время стали использовать нестационарные методы электролиза, лишенные вышеназванных недостатков. Среди них метод переменного тока выгодно отличается от других нестационарных способов чистотой осадка, возможностью регулировать в широких пределах толщину покрытия [3, 4].

Использование наноматериалов является эффективным технологическим приемом для эксплуатации металлических деталей и сооружений в коррозионной среде [5-7].

Наибольшее распространение среди коррозионно-защитных электролитических покрытий получили сплавы на основе железа. Они гораздо дешевле высоколегированной стали, но к сожалению, значительно менее стойки в агрессивных средах и обладают более низкими прочностными свойствами.

Цель работы:

Разработка нового коррозионно-защитного покрытия сплавом Fe-Ni в среде Cl^- - ионов, обладающего заданным химическим содержанием компонентов в сплаве, фазовым составом, наноструктурой и антикоррозионными свойствами и микротвердостью, неуступающими высоколегированной стали.

Методика эксперимента:

Получение электрохимических сплавов Fe-Ni проводилось из простых хлоридных электролитов в присутствии органических добавок: Н-кислота (1-амино-8-фенол-3, 6-дисульфокислота) и 2 АФСК (2-амино-фенол-4-сульфокислота). Режимы осаждения: стационарный (гальваностатический) и высокочастотный переменный ток (ВПТ).

Определение содержания Fe и Ni в сплаве проводили с помощью фотоэлектроколориметрического метода. Погрешность измерений 5-10%.

Рентгенофазовый анализ (РФА) проводили на дифрактометрах ДРОН – 6, 7 (Co-K α -

излучение, Ni-фильтр). Параметры элементарных ячеек кубических решеток определяли с точностью $\pm (0,0001 - 0,0002)$ нм, а для гексагональной сингонии с точностью $\pm 0,002$ нм при помощи комплекса РФА PDWin 4.0.

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) Ntegra Aura, управляемая посредством программы Nova, использовалась для исследования наноструктуры и локальных свойств поверхности. Погрешность позиционирования сканера составляла не более 1 нм.

Микроструктурный анализ (МСА) МЕТАМ РВ-22 применялся для характеристики морфологии поверхности покрытия до и после коррозии. Погрешность измерений 5-7%.

Коррозионные свойства оценивали гравиметрическим методом и по глубинному показателю. Погрешность измерений 5-10%.

Дюрометрический анализ проводили с помощью микротвердомера ПМТ-3М при нагрузке на индентор 20-50 г. Погрешность измерений 5-7% ГОСТ 9450-76.

Экспериментальная часть

К исследуемым покрытиям сплавом Fe-Ni предъявлялся ряд требований: 1) содержание железа в осадке должно быть не менее 80 масс. %; 2) он должен обладать оптимальным фазовым составом и наноструктурой; 3) покрытие не должно содержать посторонних примесей; 4) поверхность сплава должна быть равномерной и обладать хорошей адгезией к подложке.

Требуемое процентное содержание железа в сплаве обеспечивалось за счет введения в электролит осаждения специальных органических добавок, подбор которых осуществлялся с помощью адсорбционной теории Нечаева-Куприна. Суть последней: потенциал ионизации (ПИ) добавки должен быть близок к ПИ соосаждаемых металлов; добавка должна быть би- или трифункциональна и содержать NH_2 - и SO_3H -группы.

Использовались два режима осаждения: стационарный метод (СМ) и метод высокочастотного переменного тока (ВПТ).

Проведенное исследование показало, что лучшие покрытия, полученные на стационарном токе, - это осадки в присутствии Н-кислоты. Они обладают требуемой толщиной, хорошей адгезией, равномерностью поверхности. Недостаток: повышенные температуры, невысокие катодные токи, высокие концентрации солей соосаждаемых металлов.

При нестационарном режиме осаждения в качестве параметров использовались: напряжение U , длительность импульса τ , частота $f = \frac{1}{\tau}$, скважность $g = \frac{i_a}{i_k}$ (i_a , i_k – плотность

анодного и катодного тока, соответственно). Все осадки, полученные методом ВПТ, более качественные: блестящие, мелкокристаллические, с хорошей адгезией, с высокой скоростью осаждения: покрытия толщиной $\delta \approx 20$ мкм получаются за 2–3 минуты против 20–30 минут при стационарном режиме.

Лучшим покрытием является сплав Fe-Ni, осажденный в присутствии Н-кислоты ($U = 5\text{В}$, $f = 8,3$ кГц (табл., №5)). Важным достоинством данного покрытия является низкая температура осаждения (20°C) и использование электролита с пониженным содержанием концентраций компонентов (в 10 раз) по сравнению с электролитом, применяемым в стационарном методе.

Следующий этап исследования – получение покрытия с заданной макро-, микро- и наноструктурой. По фазовому составу покрытия, осажденные на стационарном токе, являются многофазными и содержат α -Fe (объемно-центрированная кубическая решетка (ОЦК_p)), β -Ni (гранецентрированная кубическая решетка (ГЦК_p)) и оксид никеля (NiO), что нежелательно для защитных покрытий. Кроме того, морфология поверхности показывает наличие чужеродных примесей.

При использовании высокочастотного переменного тока в гальваноосадках появляется новая фаза – ε -Fe с гексагональной плотноупакованной решеткой (ГПУ_p), которая впервые была открыта японскими исследователями при давлении 11,3 ГПа в результате высокотемпературного легирования стали [8].

Таблица

Оптимизация защитно-коррозионных свойств покрытий сплавом Fe-Ni в солевой среде

№	Покрытие, условия осаждения	Структура				Коррозионные характеристики			
		Химическое содержание в сплаве		Фазовый состав		Скорость коррозии, г/м ² ·ч	Глубинный показатель, мкм за 720 часов, мкм	Равномерность коррозии после 720 часов, %	Микротвердость, МПа
		Fe, масс. %	Ni, масс. %	Фазы	содержание, мол. %				
1	Сталь низко-углеродистая				–		53		220
2	Высоко-легированная сталь				–		0,45		800
Стационарный метод									
3	Fe-Ni, добавка Н-кислота, $i_k=9\text{A/дм}^2$, $t=80^\circ\text{C}$	68,1	31,9	$\alpha\text{-Fe}$, NiO	71 29	2,2	5,91	91,5	527
4	Fe-Ni, добавка сульфо-ниловая кислота, $i_k=15\text{A/дм}^2$, $t=80^\circ\text{C}$	69,8	36,2	$\alpha\text{-Fe}$, $\beta\text{-Ni}$, NiO	65 22 13	4,0	25,08	88,3	430
Метод высокочастотного переменного тока									
5	Fe-Ni, добавка Н-кислота, $f=8,3\text{ кГц}$, $g=1:4$, $U=5\text{ В}$	88,5	11,5	$\alpha\text{-Fe}$, $\varepsilon\text{-Fe}$	80 20	0,1	0,60	99	1573
6	Fe-Ni, добавка Н-АФСК, $f=2\text{ кГц}$, $g=1:4$, $U=5\text{ В}$	83,4	16,6	$\alpha\text{-Fe}$, $\beta\text{-Ni}$, $\varepsilon\text{-Fe}$	74 15 11	1,4	2,12	94	1240

Нами эта фаза получена для сплава Fe-Ni, осажденного в присутствии органических добавок методом ВПТ. Максимальное содержание $\varepsilon\text{-Fe}$ (20 мол. %) содержится в осадке, полученном в присутствии Н-кислоты (табл., №5).

Параметры кристаллической решетки ($a=0,2475\text{ нм}$, $c=0,405\text{ нм}$) совпадают с соответствующими параметрами [8, 9].

Дополнительным достоинством гальваноосадка (табл., №5) является высокая равномерность поверхности после коррозии (99%). Химическое содержание железа в сплаве (ВПТ) полностью отвечает требуемому составу ($>80\%$), в то время как осадки сплава, полученные на стационарном токе, имеют пониженное содержание железа; включают посторонние фазы ($\beta\text{-Ni}$, NiO); менее равномерно распределены по поверхности (табл., №3, 4).

Проведенное исследование защитно-коррозионных свойств покрытий сплавом Fe-Ni в солевой среде показало, что важнейшим фактором, способствующим повышению антикоррозионной способности, является наличие гексагональной фазы $\varepsilon\text{-Fe}$ (табл., №5).

На микрофотографии, полученной с помощью атомно-силовой микроскопии, четко прослеживается гексагональная структура $\varepsilon\text{-Fe}$, состоящая из параллельно расположенных пластин толщиной 10 – 20 нм (рис.1).

Эта форма кристаллов проявляется и на микроструктуре покрытия (рис. 2).

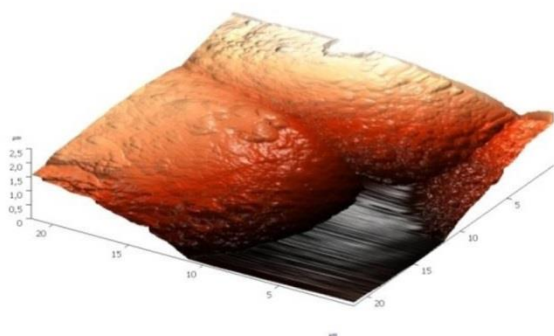


Рис. 1. Наноструктура (АСМ) электрохимического сплава Fe-Ni. Метод ВПТ (табл., №5)

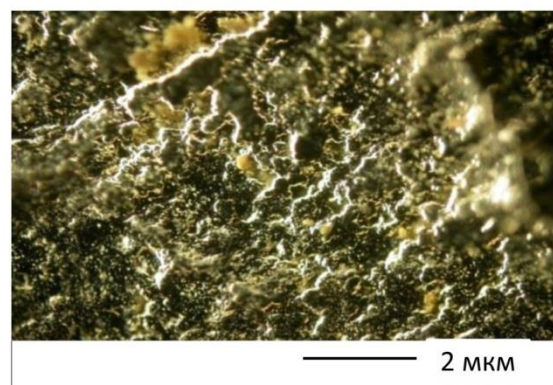


Рис. 2. Микроструктура (METAM RB-22) поверхности сплава Fe-Ni, полученного методом ВПТ (табл., №5)

Гальванопокрытия, полученные методом ВПТ в присутствии Н-кислоты, в 7,5 раз превосходят антикоррозионные показатели для высоколегированной стали 20Х23Н18 и 08Х18Н10 в среде хлорид ионов, что можно объяснить наличием гексагональной фазы ϵ -Fe и наноструктуры. Это покрытие характеризуется также самой высокой микротвердостью (табл., №5).

Таким образом антикоррозионные свойства сплава Fe-Ni осажденного на ВПТ, определяются фазовым составом (наличием новой фазы железа – α -Fe) и наноструктурой. Химическое содержание компонентов в покрытии играет подчиненную роль (табл., №3, 4 и №5, 6).

Бинарный сплав Fe-Ni имеет более высокое содержание ϵ -Fe, чем тройной Fe-Ni-Cr [9], и соответственно, превосходит покрытие Fe-Ni-Cr по антикоррозионным свойствам, но незначительно уступает по величине микротвердости (за счет введения Cr).

Это дает возможность рекомендовать покрытие сплавом Fe-Ni в качестве коррозионно-защитного для нефтехимического оборудования вместо дорогой высоколегированной стали.

Выводы:

1. Электролитически получено новое защитно-коррозионное покрытие сплавом Fe-Ni методом высокочастотного переменного тока, обладающее фазой ϵ -Fe (гексагональная плотноупакованная решетка).

2. Показано, что использование высокочастотного переменного тока способствует формированию в покрытии наноструктуры, обеспечивающей дополнительную микротвердость 1573 МПа.

3. Показано, что нестационарный режим осаждения для сплава Fe-Ni (ϵ -Fe 20 мол. %) обеспечивает высокую экономичность процесса (комнатная температура, низкое напряжение, низкая концентрация солей) и высокую производительность процесса за счет уменьшения времени электролиза в 10 раз по сравнению со стационарным током и отсутствием дополнительного оборудования на нагрев электролита.

4. Установлено, что покрытие сплавом Fe-Ni (ϵ -Fe) превосходит сталь 20Х23Н18 и 08Х18Н10 в среде хлорид-ионов как по антикоррозионным свойствам, так и по микротвердости. Данное покрытие может найти применение для защиты нефтехимического оборудования, в частности, при изготовлении теплообменников и различных камер сгорания.

Список литературы

1. Гамбург Ю.Д. Электрохимическая кристаллизация металлов и сплавов. М.: Янус-К, 1997. 384 с.
2. Шмидт В.В., Жихарева И.Г. Прогнозирование структуры и свойств тройных электролитических сплавов. LAMBERT Academic Publishing, 2012. 226 с.
3. Виноградов С.Н., Виноградов О.С., Магомедова Э.А., Вантеев А.Н. Электроосаждение сплава цинк-никель на стационарном и нестационарном режимах электролиза // Сб. «Защитные покрытия в машиностроении и приборостроении», Пенза. 2002 . С.27 – 28.
4. Жихарева И.Г., Шмидт В.В. Прогнозирование макроструктуры тройного электроосажденного сплава Ni-Fe-Cr // Изв. вузов. Химия и химич. технол. 2003. Т.46. №3. С.100 – 103.
5. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктура, нанотехнология. М.: Физматлит, 2005. 416 с.
6. Брандон Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М.: Техносфера, 2006. 384 с.
7. Пальм В.А. Основы количественной теории органических реакций. Л.: Наука, 1977. 453с.
8. Takahashi T., Bassett W.A. High-Pressure polymorph of iron // Science, V. 145. №3631. P. 483–486
9. Жихарева И.Г., Смердов С.В., Шмидт В.В. Особенности макро- и микроструктуры электрохимического сплава Fe-Ni-Cr // Вестник ТГУ, 2014. №5. С.161 – 169.

02.00.04

И.Ф. Туктарова, Р.Ю. Лаздин, В.В. Чернова

Башкирский государственный университет, Химический факультет,
кафедра высокомолекулярных соединений и общей химической технологии,
Уфа, tuktarova_irina@rambler.ru

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АНТИБИОТИКА СУЛЬФАТА ГЕНТАМИЦИНА НА ПРОЦЕСС ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА ХИТОЗАНА В РАСТВОРЕ УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ

С использованием метода капиллярной вискозиметрии изучен процесс ферментативного гидролиза хитозана в растворе уксусной кислоты и оценено влияние лекарственного препарата антибиотика аминогликозидного ряда - сульфата гентамицина на скорость процесса. Установлено, что введение гентамицина сульфата в раствор хитозана приводит к уменьшению максимальной скорости ферментативного гидролиза $V_{\max}$ и увеличению константы Михаэлиса K_m , что указывает на возможность замедленного превращения субстрата в тройном комплексе ХТЗ-фермент-гентамицин и позволяет описать действие гентамицина в рамках модели смешанного ингибирования.

Ключевые слова: хитозан, вязкость, ферментативный гидролиз, гиалуронидаза, лекарственный препарат.

Введение

Хитин и хитозан (ХТЗ) являются природными биополимерами и поэтому как процессы их синтеза, так и процессы их деструкции связаны с ферментативными превращениями. Именно биоразрушаемость до обычных для организма веществ является одним из основных среди многочисленных достоинств ХТЗ [1-3]. В условиях медицинского применения хитозановых материалов, их биоразрушение осуществляется под действием неспецифических ферментов человеческого организма (например, гиалуронидазы и др.) и определяет срок службы материала на раневой поверхности. В связи с этим, изучение кинетических особенностей процесса ферментативного гидролиза ХТЗ под действием неспецифических ферментных препаратов, представляется важной задачей, как с научной, так и с практической точки зрения. В том случае, когда ХТЗ используется в виде композиций с лекарственными средствами, необходимо учитывать тот факт, что лекарственные препараты зачастую могут оказать принципиальное влияние на скорость ферментативной реакции. В данной работе предпринята попытка оценить влияние антибиотика аминогликозидного ряда сульфата гентамицина, широко применяемого в медицинской практике, на кинетику ферментативного гидролиза ХТЗ.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования использовали ХТЗ производства ЗАО «Биопрогресс» (Щелково, Россия) с молекулярной массой $M_n=113000$, а также антибиотик аминогликозидного ряда сульфат гентамицина (ГМС) производства ОАО «Биоинтез» (Пенза, Россия). В качестве ферментного препарата использовали гиалуронидазу (торговое название «Лириза», производство ЗАО «Микроген», Москва, Россия).

Кинетические константы процесса ферментативного гидролиза определяли согласно методу, описанному в работах [4,5]

Обсуждение результатов

Ранее нами было показано [6-8], что выдержка раствора ХТЗ в присутствии ферментного препарата сопровождается закономерным уменьшением характеристической вязкости ХТЗ, что связано с протеканием процесса ферментативного гидролиза. Кривые падения характеристической вязкости ХТЗ и в отсутствии, и в присутствии ГМС имеют сходный

характер и при небольших временах гидролиза носят линейный характер. Однако введение ГМС сказывается на скорости падения характеристической вязкости ХТЗ. Фактически, введение ГМС в раствор ХТЗ приводит к тому, что характеристическая вязкость под действием фермента изменяется в существенно меньшей степени, чем в отсутствие ГМС. Уменьшение скорости ферментативного гидролиза находит свое отражение в значениях кинетических констант процесса – максимальной скорости ферментативного гидролиза $V_{\max}$ и константы Михаэлиса K_m (см. табл.).

Таблица Значение кинетических параметров процесса ферментативного гидролиза в уравнении Михаэлиса-Мэнтен для системы ХТЗ-ГМС в 1% уксусной кислоте.

Мольное соотношение компонентов ХТЗ:ГМС	C_f , г/дл	K_m , г/дл	$V_{\max} 10^6$, г/(дл*мин)
1:0	0,1	3,37	0,50
	0,2	3,47	0,90
	0,3	3,42	1,50
1:0,10	0,1	4,36	0,35
	0,2	4,39	0,72
	0,3	4,42	0,97

Обращает на себя внимание тот факт, что добавление ГМС сказывается как на значении скорости $V_{\max}$, так и на значении константы Михаэлиса K_m , что позволяет описать действие ГМС в рамках модели смешанного ингибирования. Факт снижения $V_{\max}$ и увеличение K_m , имеющий место при добавлении к раствору ХТЗ сульфата гентамицина, указывает на возможность замедленного превращения субстрата в тройном комплексе ХТЗ-фермент-ГМС.

При проведении реакции в условиях избытка субстрата, максимальная скорость реакции линейным образом зависит от концентрации фермента. Из сравнений тангенсов угла наклона зависимости максимальной скорости ферментативного гидролиза от концентрации ферментного препарата в растворе в отсутствие и в присутствии ГМС, можно сделать вывод о том, что добавление ГМС к ХТЗ вызывает некоторое уменьшение активности ферментного препарата.

Таким образом, в данной работе было впервые показано, что процесс ферментативного гидролиза ХТЗ в присутствии лекарственного препарата антибиотика ГМС удовлетворительно описывается в рамках схемы Михаэлиса – Мэнтен. Определение в ходе выполнения работы значений констант K и α в уравнении Марка-Куна-Хаувинка для системы ХТЗ-уксусная кислота-ГМС, позволило перейти на качественно новый уровень описания процесса ферментативного гидролиза ХТЗ, поскольку появилась возможность не только определить скорость и степень падения характеристической вязкости ХТЗ под действием ферментного препарата, что было сделано ранее [6-8], но и фактически рассчитать изменение молекулярной массы ХТЗ в ходе процесса.

Определение скорости падения молекулярной массы ХТЗ, в свою очередь, позволило определить количественные характеристики процесса ферментативного гидролиза, а именно, значения максимальной скорости ферментативного гидролиза $V_{\max}$ и константы Михаэлиса K_m и установить, что лекарственный препарат – сульфат гентамицина оказывает существенное влияние на скорость ферментативной реакции, а именно, приводит к уменьшению скорости гидролиза ХТЗ. Определение количественных характеристик процесса ферментативного гидролиза ХТЗ представляется крайне важным и с практической точки зрения, поскольку материалы на основе ХТЗ могут быть использованы в качестве защитных раневых покрытий, а скорость ферментативного гидролиза ХТЗ будет предопределять срок службы пленочного материала на раневой поверхности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по научно-исследовательской работе № 2687 в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности по заданию № 2014/7

Список литературы

1. Dash M., Chiellini F., Ottenbrite R.M. et al. Chitosan-A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications // Progress in Polymer Science. 2011. № 36. С. 981-1014
2. Ratajska M., Boryniec S. Physical and chemical aspects of biodegradation of natural polymers // Reactive & Functional Polymers. 1998. № 38. С. 35-49.
3. Kumar M.M., Muzzarelli R.A., Muzzarelli C. et al. Chitosan Chemistry and Pharmaceutical Perspectives // Chemical Reviews. 2004. Т. 104. № 12. С. 6017-6084.
4. Кулиш Е.И., Туктарова И.Ф., Чернова В.В. Ферментативная устойчивость лекарственных пленочных материалов на основе хитозана // Перспективные материалы. 2014. № 6. С. 25-31.
5. Кулиш Е.И., Туктарова И.Ф., Чернова В.В. и др. Изучение процесса ферментативного расщепления хитозана в растворе уксусной кислоты // Вестник Башкирского университета. 2013. Т. 18. № 3. С. 688-690.
6. Кулиш Е.И., Чернова В.В., Володина В.П. и др. Деграция полисахаридов под действием неспецифических ферментов // Современные перспективы в исследовании хитина и хитозана. Материалы Десятой Международной конференции. Нижний Новгород: ННГУ, 2010. С. 274-278.
7. Кулиш Е.И., Володина В.П., Чернова В.В. и др. Ферментативная деструкция хитозана // Пластические массы. 2008. № 5. С. 32-38.
8. Чернова В.В., Володина В.П., Кулиш Е.И. и др. Деструкция хитозана в растворе под действием фермента гиалуронидазы // Вестник Башкирского университета. 2009. Т. 14. № 1. С. 44-47.

02.00.01

Е.А. Фарберова к.х.н., Е.А. Тиньгаева к.х.н., Н.А. Чиркова, А.Д. Чучалина

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

СФЕРИЧЕСКИЕ УГЛЕРОДНЫЕ СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложены способы получения сферических активных углей из жидкой фенолформальдегидной смолы и катионита КУ-2-8. Исследовано влияние режима термообработки на пористую структуру углеродных сорбентов. Получены активные угли с высокими сорбционными характеристиками.

Ключевые слова: *сферические углеродные сорбенты, фенолформальдегидная смола, термогравиметрия, активный уголь, пористая структура, сорбционные свойства.*

В настоящее время активный уголь производят практически из всех видов углеродсодержащего сырья, включая отходы производства и полимерные материалы. Известны способы изготовления сферических угольных сорбентов из фурфурола [1], фенолформальдегидных смол (ФФС) и продуктов их переработки [2], полистирола и дивинилбензола [3], промышленных пористых полимеров и смол сферической грануляции [4].

Проведенные ранее исследования показали возможность получения сферических активных углей из фенолформальдегидных смол и промышленных ионитов.

В качестве сырья использовали жидкую фенолформальдегидную смолу и твердый катионит КУ-2-8 [5], полученный на основе дивинилбензола. Отверждение исходной ФФС проводили путем ее диспергирования в раствор серной кислоты с концентрацией 15–30%, с последующим отмыванием сферических гранул от избытка H_2SO_4 до слабокислой реакции среды ($pH=5,5-6,5$). Для полного отверждения гранулы выдерживали на воздухе при комнатной температуре ($20\pm5^\circ C$) в течение 2 суток, после чего подвергали термообработке. С целью определения условий термического модифицирования отвержденной ФФС проведены термогравиметрические исследования образцов, полученных при различных концентрациях раствора серной кислоты. Исследования осуществляли на приборе синхронного термического анализа STA 449C Jupiter. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Не зависимо от концентрации раствора отвердителя в пределах 15–30%, температурные эффекты модифицирования сферической ФФС близки. Максимальная потеря массы при термообработке наблюдается в диапазоне температур $242-287^\circ C$, при этом отмечено, что с повышением концентрации серной кислоты при отверждении температура эндоэффекта снижается. Второй температурный пик удаления летучих наблюдается при температурах $422-488^\circ C$. Снижение концентрации раствора серной кислоты с 30 до 15% приводит к повышению максимальной температуры пика и уменьшению потерь массы материала.

Анализ полученных данных позволяет определить условия термообработки сфер ФФС перед стадией парогазовой активации. Первую стадию термообработки следует проводить при температуре $250\pm10^\circ C$, а вторую при $440\pm20^\circ C$. Карбонизованные гранулы активировали водяным паром при температуре $850\pm10^\circ C$. Параметры процесса получения сферических активных углей из ФФС и характеристики сорбента приведены в табл. 2.

Таблица 1– Результаты термического анализа различных ФФС

Температура теплового эффекта, °С			Потери массы, %
Начальная	Максимум	Конечная	
ФФС, полученная диспергированием в 15% раствор H ₂ SO ₄			
97 (эндоэффект)	150	223	15,4±0,5
223 (эндоэффект)	287	392	31,4±0,7
392 (экзоэффект)	413	430	4,7±0,1
430 (экзоэффект)	488	590	12,4±0,5
ФФС, полученная диспергированием в 20% раствор H ₂ SO ₄			
100 (эндоэффект)	160	212	12,0±0,5
212 (эндоэффект)	276	386	34,5±0,7
386 (экзоэффект)	420	430	4,5±0,1
430 (экзоэффект)	486	580	11,6±0,5
ФФС, полученная диспергированием в 30% раствор H ₂ SO ₄			
100 (эндоэффект)	162	220	13,1±0,5
220 (эндоэффект)	242	328	26,0±0,6
328 (экзоэффект)	422	455	16,4±0,5
455 (экзоэффект)	528	582	8,6±0,2

Для определения условий преактивационной термообработки проведены термогравиметрические исследования катионита КУ-2-8 [5]. В табл. 3 приведены термические характеристики катионита КУ-2-8.

Как видно из табл. 3, предварительная обработка КУ-2-8 должна протекать в две стадии: при температуре (280±30)°С и температуре (440±20)°С. Эти данные использованы при определении режимов термообработки при получении сферического активного угля.

Таким образом, процесс получения углеродного сорбента на основе катионита КУ-2-8 включает стадии сушки, карбонизации в среде СО₂ и парогазовой активации. Параметры процесса получения активного угля из катионита КУ-2-8 и его характеристики представлены в табл. 4.

Таблица 2 – Параметры технологического процесса получения сферических активных углей из ФФС и характеристики сорбента

Наименование показателя	Стадия получения		
	Сушка	Карбонизация	Активация
Температура, °С	250±10	450±10	850±20
Расход СО ₂ , дм ³ /ч	-	200±10	-
Расход пара, г/ч	-	-	314±50
Соотношение уголь/пар	-	-	8/0,92
Выход продукта, %	77,1	5,7	72,6
Степень обгара, %	-	-	27,4
Массовая доля летучих веществ, %	-	30,7±1,0	-
Насыпная плотность, г/дм ³	385±12	312±12	348±12

Таблица 3– Результаты термического анализа КУ-2-8

Температура теплового эффекта, °С			Потери массы, %
Начальная	Максимум	Конечная	
110 (эндоэффект)	280	312	30,6±0,7
312 (экзоэффект)	428	456	20,0±0,6
456 (экзоэффект)	530	600	4,4±0,1

Анализ параметров пористой структуры сферических углеродных сорбентов проводился с использованием быстродействующего анализатора сорбции газов «NOVA-1200 e». Результаты анализа приведены в табл. 5.

Из данных табл. 5 следует, что метод получения сферического активного угля из жидкой ФФС приводит к формированию мезопористой структуры с полушириной щели более 4,5 нм. Использование в качестве сырья катионита КУ-2-8 позволяет получить сферический активный уголь с площадью поверхности пор по методу БЭТ более 200 м²/г и размером полуширины щели пор 0,78 нм, что соответствует размеру супермикропор.

Таблица 4 – Параметры технологического процесса получения сферических активных углей из катионита КУ-2-8 и характеристики сорбента

Наименование показателя	Стадии процесса		
	Сушка	Карбонизация	Активация
Температура, °С	250±10	450±10	850±20
Расход СО ₂ , дм ³ /ч	-	200±10	-
Расход пара, г/ч	-	-	314±50
Соотношение уголь/пар	-	-	1/0,92
Выход продукта, %	77,9	48,6	79,3
Степень обгара, %	-	-	4,5
Массовая доля летучих веществ, %	-	16,2±0,8	-
Насыпная плотность, г/дм ³	-	775±20	837±20

Таблица 5– Характеристики пористой структуры сферических углеродных сорбентов

Показатель	ФФС активированный	КУ-2-8 активированный
Площадь поверхности по БЭТ, м ² /г	-	220±10
Суммарная площадь поверхности по методу ВН, м ² /г	2,4±0,1	18,0±1,0
Поверхность микропор по методу DR, м ² /г	-	261±10
Предельный объем адсорбционного пространства, см ³ /г	0,0065±0,0003	0,1217±0,0005
Объем микропор по методу DR, см ³ /г	-	0,093±0,004
Полуширина щели по методу DR, нм	4,69±0,25	0,78±0,04
Энергия адсорбции, кДж/моль	2,77±0,15	16,7±1,0

Сорбционные свойства полученных сферических сорбентов определяли в статических условиях по парам воды, бензола и четыреххлористого углерода, отличающихся размером газокинетического параметра (табл. 6).

Таблица 6– Сорбционные свойства сферических активных углей

Наименование образца	Статическая емкость, см ³ /г		
	по Н ₂ O	по С ₆ H ₆	по ССl ₄
ФФС активированный	0,289±0,005	0,173±0,005	0,031±0,005
КУ-2-8 активированный	0,285±0,005	0,118±0,005	0,030±0,005

Предложены способы получения сферического активного угля из ФФС и катионита КУ-2-8. Показано, что снижение концентрации серной кислоты при отверждении ФФС способствует уменьшению потерь массы материала.

Проведение термообработки в два этапа с последующей парогазовой активацией позволит получить активные угли с различным характером пористой структуры.

В работе представлены результаты собственных исследований, выполненных в соответствии с постановлением Правительства России №218 от 09.04. 2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичных производств».

Список литературы

1. Гурьянов В.В. Адсорбция на энергетически неоднородных поверхностях, теоретические основы и технология новых беззольных, высокопрочных углеродных адсорбентов: Автореф. дисс. док. хим. наук.– Санкт-Петербург, 1995.– 48 с.
2. Мухин В.М., Зубова И.Д., Зубова И.Н., Курилкин А.А. Способ получения активного угля // Патент России № 2415808. 2011. Бюлл. №10.
3. Мухин В.М., Зубова И.Д. и др. Новые технологии получения активных углей из реактопластов // Сорбционные и хроматографические процессы. –2009.– Т.9.–В.2. – С.191–195.
4. Стрелко В.В., Плаченок Т.Г. и др. Особенности пористой структуры азотсодержащих активных углей сферической грануляции, полученных из синтетических смол // Углеродные адсорбенты и их применение в промышленности. – М.: Наука, 1983. – С.172–185.
5. ГОСТ 20298-74. Смолы ионообменные. Катиониты. Технические условия.– Введ.1974-11-21.– М.: Издательство стандартов, 2005. – 15с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.07.09

П.А. Абросимов, В.В. Малышев, А.В. Старков, М.А. Титков, С.Ю. Шмигирилов

titkov@spacelab.pro, starkov@spacelab.pro, sergey@spacelab.pro

МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОТКЛИКА КОНСТРУКЦИИ СПУСКАЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В УСЛОВИЯХ НАЗЕМНОЙ СТЕНДОВОЙ ОТРАБОТКИ

В работе представлена методика математического моделирования методом конечных элементов динамики посадки спускаемого космического аппарата в условиях стендовой отработки. Приведена основная система уравнений задачи нестационарного деформирования конструкции. С использованием программного комплекса, реализующего решение этой системы, получена картина поведения космического аппарата при посадке на поверхность планеты и в условиях стендовой отработки. Проведено сравнение полученных результатов расчёта и сделан вывод о соответствии поведения макета космического аппарата на стенде реальному поведению конструкции.

Ключевые слова: космический аппарат, посадочный модуль, математическое моделирование, динамика посадки, нестационарное деформирование, метод конечных элементов.

Введение. Для прогнозирования поведения космических аппаратов широко распространена практика предварительной наземной стендовой отработки. При этом стендовое оборудование должно как можно более точно имитировать реальные условия, в которых придётся работать конструкции.

Бросковый стенд для отработки непосредственно самой посадки космического аппарата имитирует финальный этап посадки на планету – свободное падение аппарата после момента отсечки двигателя. При этом прочие элементы конструкции космического аппарата, такие как приборный отсек, двигатели, аппаратура и т.п., моделируются лишь по своей массе. Это существенно упрощает конструкцию макета.

Однако в процессе организации наземных испытаний встаёт задача определения оптимальных конструктивных параметров стендового оборудования, необходимого для наиболее оптимальной имитации процесса посадки космического аппарата.

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с математическим моделированием процесса посадки спускаемого космического аппарата на поверхность планеты, и с соответствующей этому процессу наземной стендовой отработки.

Математическая постановка задачи моделирования нестационарного деформирования конструкции. Основная система уравнений при исследовании нестационарного деформирования конструкции включает в себя [2]:

– уравнения движения

$$\sigma_{ij,j} + R_{Vi} = \rho \cdot \ddot{u}_i; \quad (1)$$

– геометрические соотношения Коши

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}); \quad (2)$$

– физические соотношения в форме закона Дюамеля-Неймана

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}^* (\varepsilon_{kl} + \varepsilon_{kl}^{(T)}), \quad (3)$$

где σ_{ij} и ε_{ij} – симметричные тензоры напряжений и малых деформаций; R_{Vi} – вектор массовых усилий; u_i – вектор перемещений; $\varepsilon_{ij}^{(T)}$ – тензор температурных деформаций; C_{ijkl}^* – тензор физических параметров материала; ρ – плотность материала конструкции. Операторы $(A)_{,i}$ и $(\dot{A})$ обозначают производную по пространственной координате и производную по времени соответственно.

Основная система уравнений для замыкания дополняется краевыми условиями, включающими в себя кинематические граничные условия на поверхности S_u [2]:

$$u_i = \tilde{u}_i, \quad (4)$$

силовые граничные условия на поверхности S_σ :

$$\sigma_{ij} n_j = \tilde{P}_{Si} \quad (5)$$

и начальные условия

$$u_i(x_j, 0) = \hat{u}_i(x_j), \quad \dot{u}_i(x_j, 0) = \hat{\dot{u}}_i(x_j), \quad (6)$$

В случае необходимости учёта пластических деформаций выражение для тензора физических параметров материала может быть записано в виде [2]:

$$C_{ijkl}^* = C_{ijkl}^*(\varepsilon_{mn}, \tilde{\varepsilon}_{mn}^{(p)}), \quad (7)$$

где $\tilde{\varepsilon}_{mn}^{(p)}$ – тензор накопленной пластической деформации. В этом случае, вместо закона Дюамеля-Неймана записывается соотношение [2]

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}^*(\varepsilon_{mn}, \tilde{\varepsilon}_{mn}^{(p)}) (\varepsilon_{kl} - \varepsilon_{kl}^{(T)} - \tilde{\varepsilon}_{kl}^{(p)}), \quad (8)$$

и основная система уравнений дополняется кинематическим соотношением

$$\dot{\tilde{\varepsilon}}_{ij}^{(p)} = F(\sigma_{mn}, \dots), \quad (9)$$

конкретный вид которого определяется моделью пластического деформирования материала. И, наконец, в случае неизотермической задачи, необходимо определить компоненты тензора температурной деформации, который в простейшем случае может быть задан так

$$\varepsilon_{ij}^{(T)} = \alpha_{ij} [T(X_k) - T_0], \quad (10)$$

Для учёта совместного деформирования отдельных элементов конструкции между собой в дополнение к заданным на поверхностях S_σ и S_u граничным условиям вводится в рассмотрение поверхность возможного контакта S_c , для которой справедливо следующее равенство

$$S_c = S_{c1} + S_{c2} + S_{c3}, \quad (11)$$

где S_{c1} , S_{c2} , S_{c3} – части контактной поверхности, на которой реализуется соответственно зазор, сцепление и проскальзывание элементов конструкции. Задаются следующие нелинейные граничные условия:

$$U_i^A n_i - U_i^B n_i \leq \delta_n; \quad (12)$$

$$\sigma_{ij} n_j \leq 0; \quad (13)$$

$$|\sigma_{ij} \tau_j| \leq -f \sigma_{ij} n_j, \quad (14)$$

где U_i^A и U_i^B – векторы перемещений граничных точек взаимодействующих элементов конструкции; δ_n – нормальный к поверхности контакта зазор; τ_i – вектор, задающий направление любой касательной к поверхности в точке контакта; f – коэффициент трения.

Выражения (12) и (14), записанные для случая равенства, могут быть представлены в виде дополнительных к основной системе уравнений

$$U_r = \bar{\delta}_r + A_p U_p, \quad (15)$$

Естественно, что эффективное решение поставленной задачи возможно только численно методом конечных элементов (МКЭ). Для получения основных соотношений МКЭ применим процедуру метода Бубнова-Галёркина к уравнениям основной системы [1]. Умножив эти соотношения на матрицу функций формы N_{ij} , аппроксимирующую вектор перемещений выражением

$$u_i = N_{ij} U_j, \quad i = \overline{1, 3}, \quad j = \overline{1, 2, \dots, rM}, \quad (16)$$

$$\int_V N_{ik} \sigma_{ij,j} dV + \int_V N_{ik} R_{Vi} dV = \int_V \rho N_{ik} \ddot{u}_i dV; \quad (17)$$

$$\int_{S_u} N_{ik} u_i dS - \int_{S_u} N_{ik} \tilde{u}_i dS = 0; \quad (18)$$

$$\int_{S_\sigma} N_{ik} \sigma_{ij} n_j dS - \int_{S_\sigma} N_{ik} \tilde{P}_{Si} dS = 0. \quad (19)$$

Перепишем первое соотношение в следующем виде:

$$\int_V (N_{ik} \sigma_{ij,j})_{,j} dV - \int_V N_{ik} \sigma_{ij,j} dV + \int_V N_{ik} R_{Vi} dV = \int_V \rho N_{ik} \ddot{u}_i dV. \quad (20)$$

Применим к первому слагаемому теорему Гаусса-Остроградского о дивергенции и подставим во второе слагаемое выражение закона Дюамеля-Неймана. Воспользуемся далее соотношениями Коши и выражением для аппроксимации перемещений (16), получим:

$$\begin{aligned} & \int_V N_{ik} \rho N_{il} dV \ddot{U}_l + \int_V N_{ik,j} C_{ijmn}^* N_{ml,n} dV U_l = \\ & = \int_{S_\sigma} N_{ik} \sigma_{ij} n_j dS + \int_{S-S_\sigma} N_{ik} \sigma_{ij} n_j dS + \int_V N_{ik} R_{Vi} dV + \int_V N_{ik,j} C_{ijkl}^* \varepsilon_{mn}^{(T)} dV. \end{aligned} \quad (21)$$

Учтём в (21) выражение (19) и тождественное равенство нулю второго слагаемого в правой части, представим расчётную область в виде совокупности E конечных элементов, получим

$$\begin{aligned} & \sum_{e=1}^E \int_{V^{(e)}} N_{ki}^e \rho^e N_{kj}^e dV \ddot{U}_j + \sum_{e=1}^E \int_{V^{(e)}} N_{ki,p}^e C_{kp mn}^{*e} N_{jm,n}^e dV U_j = \\ & = \sum_{e=1}^E \left(\int_{S_\sigma^{(e)}} N_{ki}^e \tilde{P}_{sk}^e dS + \int_{V^{(e)}} N_{ki}^e R_{Vi}^e dV + \int_{V^{(e)}} N_{ki,j}^e C_{kp mn}^{*e} \varepsilon_{mn}^{(T)e} dV \right), \end{aligned} \quad (22)$$

где верхний индекс « e » указывает на принадлежность величины конечному элементу. Запишем систему дифференциальных уравнений второго порядка относительно узловых значений перемещений

$$M_{ij} \ddot{U}_j + K_{ij} U_j = F_i, \quad (23)$$

где M_{ij} – матрица масс конструкции,

$$M_{ij} = \sum_{e=1}^E \int_{V^{(e)}} N_{ki}^e \rho^e N_{kj}^e dV; \quad (24)$$

K_{ij} – матрица жёсткости конструкции,

$$K_{ij} = \sum_{e=1}^E \int_{V^{(e)}} N_{ki,p}^e C_{kp mn}^{*e} N_{jm,n}^e dV; \quad (25)$$

F_i – вектор нагрузки на конструкцию

$$F_i = \sum_{e=1}^E \left(\int_{S_{\sigma}^{(e)}} N_{ki}^e \tilde{P}_{sk}^e dS + \int_{V^{(e)}} N_{ki}^e R_{Vi}^e dV + \int_{V^{(e)}} N_{ki,j}^e C_{kpqn}^{*e} \varepsilon_{mn}^{(T)e} dV \right). \quad (26)$$

Для расчётной области, объединяющей E конечных элементов, получим

$$L_{ij} U_j = Y_i, \quad (27)$$

где

$$L_{ij} = \sum_{e=1}^E \int_{S_u} N_{ki}^e N_{jk}^e dS; \quad (28)$$

$$Y_i = \sum_{e=1}^E \int_{S_u} N_{ki}^e \tilde{u}_k^e dS. \quad (29)$$

В силу рассмотренных выше особенностей конструкции, свойств материалов и постановки эффективно решить задачу можно только численно с использованием метода конечных элементов, основные соотношения которого применительно к данной задаче были получены ранее.

Результаты численного моделирования посадки спускаемого космического аппарата в реальных условиях и в условиях стендовой отработки. При решении задач динамических высоконелинейных процессов ударно-контактного взаимодействия преимущественно используют различные разностные схемы решения систем дифференциальных уравнений [3]. При этом формула разности является явной, если уравнение для разностной функции на некотором временном шаге включает в себя только производные на предыдущем временном шаге, в противном случае она является неявной. Однако решение по явной схеме является условно устойчивым, устойчивость обеспечивается малым шагом интегрирования по времени Δt , ограниченного критерием Куранта:

$$\Delta t = L/c, \quad (30)$$

где L – характерный размер элемента; c – скорость распространения упругой волны, определяемая выражением:

Шаг интегрирования по времени всей системы определяется минимальным значением для всех элементов:

$$\Delta t = a \cdot \min \{ \Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \dots, \Delta t_M \}, \quad (31)$$

В задачах вычислительной механики популярным явным методом является центрально-разностный метод.

Рассмотренный подход применялся для задачи математического моделирования динамики посадки спускаемого космического аппарата в условиях посадки на поверхность планеты и в условиях наземной стендовой отработки. При этом использовались существующие коммерческие программные комплексы, позволяющие получить достаточно точные решения для сформулированной выше задачи на основе приведённых основных соотношений.

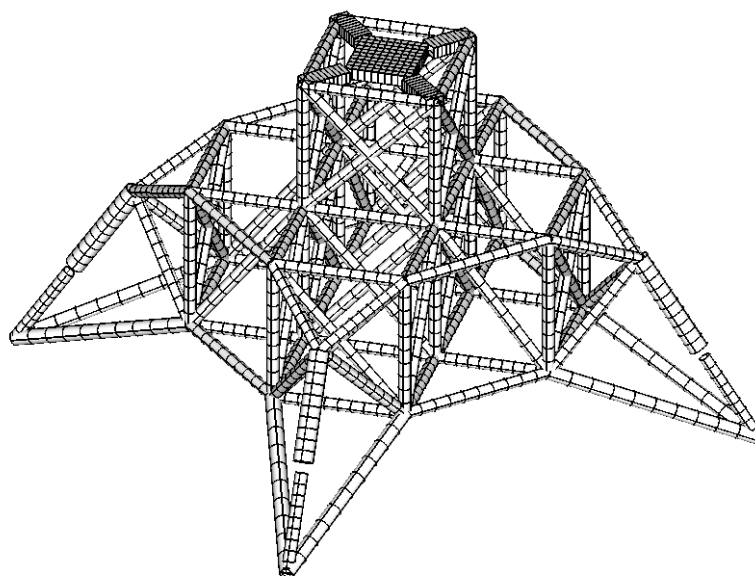


Рисунок 1. Конечнoэлементная модель макета спускаемого космического аппарата

Конечнoэлементная модель космического аппарата представлялась ансамблем из 1480 балочных элементов (рис. 1), соответствующих стержневым элементам посадочного модуля и тросу, 660 элементов теории пластин и оболочек, соответствующих площадке под полезную нагрузку, 4-х элементов типа «пружина», соответствующих опорным амортизаторам. Контактное взаимодействие посадочного модуля и поверхности стенда было смоделировано с использованием 4-х элементов зазора, по одному на каждую опору. Связь конструкции и троса задавалась с помощью абсолютно жёстких элементов, связывающих перемещения центра масс и близлежащих опорных узлов посадочного модуля.

При построении модели принималось, что посадочный модуль выполнен из алюминиевого сплава В95, трос выполнен из стали Ст3, а стенд представляет собой бетонную пластину. Модель поведения материалов модуля, троса и поверхности стенда – линейно-упругая.

Точкой начала расчёта (начальный расчётный момент времени) принималось время, когда минимальное расстояние между опорами макета посадочного модуля и поверхностью стенда составляет $s = 10$ мм. При этом вертикальным отклонением угла наклона модуля от положения точки соприкосновения модуля со стендом можно пренебречь.

Трос шарнирно закреплён в точке подвеса. Площадка с имитатором грунта жёстко закреплена по всем узлам, что обеспечивает её недеформируемость. При этом точка подвеса имела возможность перемещаться в направлении вектора движения конструкции космического аппарата.

Моделирование динамики посадки космического аппарата на поверхность Луны и на поверхность стенда проводилось для нескольких расчётных случаев – с разными углами подхода аппарата к поверхности и с разными начальными скоростями. При этом характер распределения усилий в наиболее нагруженных стержнях опорных стоек носит колебательный характер, что обусловлено импульсным нагружением опорных стоек. Сравнение результатов численного расчёта динамики посадки аппарата на поверхности планеты и стенда проводилось по величинам усилий в стержнях опорных стоек, а также по перемещению опорных точек и центра масс посадочного модуля относительно соответствующей поверхности (рис. 4.).

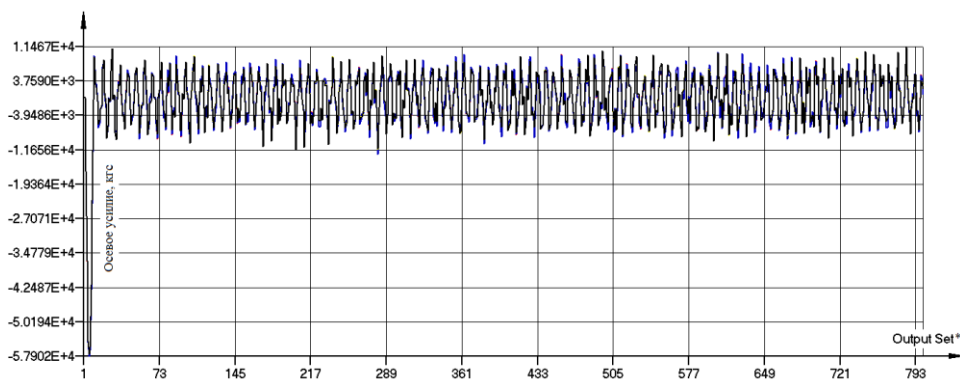


Рисунок 2. Зависимость осевых усилий в наиболее нагруженных стержнях опорных стоек макета космического аппарата от времени для случая посадки аппарата на поверхность Луны с нулевым углом подхода

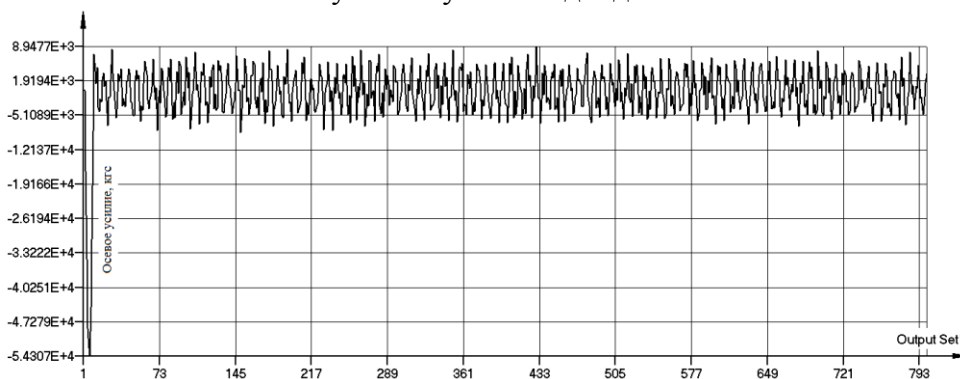


Рисунок 3. Зависимость осевых усилий в наиболее нагруженных стержнях опорных стоек макета космического аппарата от времени для случая посадки аппарата на поверхность стенда с нулевым углом подхода

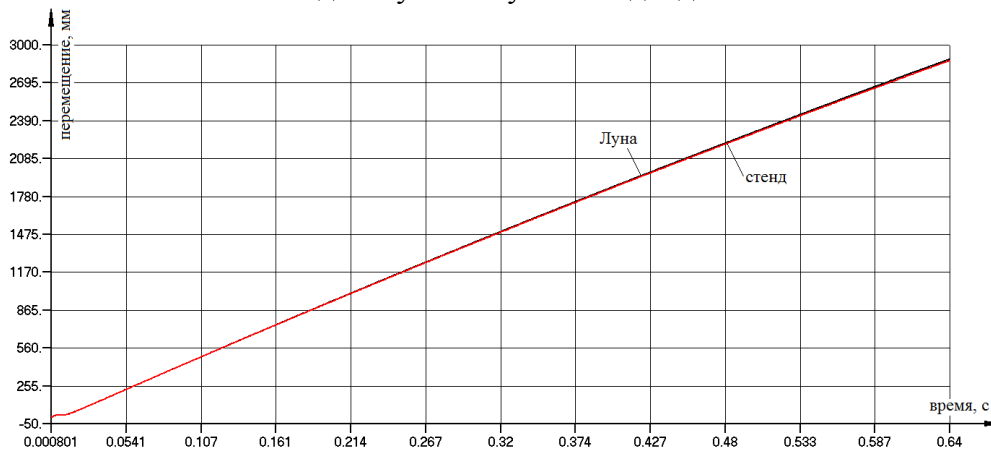


Рисунок 4. Зависимость перемещения центра масс космического аппарата от времени при посадке на поверхность планеты/стенда для случая посадки аппарата на поверхность стенда с нулевым углом подхода

Выводы.

1. Для рассмотренных вариантов расчетов поведение макета космического аппарата на стенде повторяет поведение космического аппарата при посадке на поверхность планеты. Значения координат, скоростей, угловых скоростей при этом соответствуют друг другу. Отличие заключается во времени протекания процессов. В представленных выше результатах можно заметить, что при одинаковом характере поведения различных величин имитация посадки на стенде происходит быстрее.

2. Имеющееся отличие в результатах по перемещению по нормали к поверхности вызвано разным способом формирования движения до момента касания. В первом случае это

свободное падение аппарата, а во втором – маятниковое перемещение макета. Поэтому, в совокупности с остальными результатами, это только подтверждает вывод 1.

3. Таким образом сравнительный анализ динамики посадки КА на лунную поверхность и на стенде показал возможность использования стенда бросковых испытаний для отработки динамики посадки.

Список литературы

1. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. – Изд-во «Мир», 1975. – 543с.
2. *Хан Х.* Теория упругости: Основы линейной теории и её применение. – М.: Мир, 1988. – 344с.
3. *Angermann L.* Numerical Simulations – Applications, Examples and Theory. – Croatia: InTech, 2011. – 520p.

05.02.10

А.П. Абызов к.т.н., В.Б. Ступко к.т.н., А.А. Елакова

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского федерального университета,
кафедра КТОМП, г. Набережные Челны, anatonet@mail.ru, stupko.ineka@yandex.ru

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ВНУТРЕННИМИ РАЗРЫВАМИ ШВА В УСЛОВИЯХ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Рассматривается изменение несущей способности сварных соединений при наличии внутренних разрывов шва (трещин) в условиях статических нагрузок. Получены зависимости разрушающего напряжения для стыковых сварных швов без смещения и со смещением кромок.

Ключевые слова: сварные соединения, трещиностойкость, предельные усилия.

В общем случае отдельные участки сварных соединений конструкций машин могут иметь различные характеристики механических свойств и трещиностойкости, причем последнее можно оценить по параметру трещиностойкости $\alpha_{тр}$ [1] (механическая неоднородность).

Стыковые сварные соединения с различными видами трещин показаны на рис. 1.

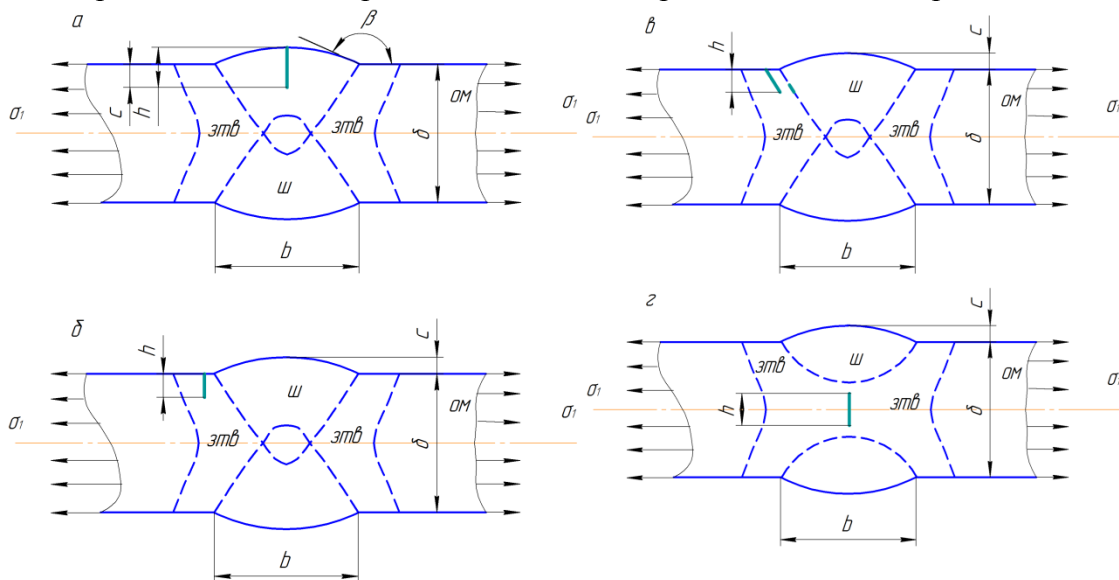


Рис. 1. Трещины в сварных двухсторонних стыковых соединениях. ЗТВ - зона термического влияния; Ш - шов; ОМ - основной металл; h - размер трещины; b - ширина шва; C - высота усиления шва; δ - толщина конструкции.

Для оценки механической неоднородности примем следующие коэффициенты:

$$K_B^{(ш)} = \frac{\sigma_B^{(ш)}}{\sigma_B^{(ОМ)}} - \text{коэффициент оценки неоднородности материала шва};$$

$$K_B^{(ЗТВ)} = \frac{\sigma_B^{(ЗТВ)}}{\sigma_B^{(ОМ)}} - \text{коэффициент оценки зоны термического влияния};$$

$\varphi_a^{(ш)} = \frac{\alpha_{тр}^{(ш)}}{\alpha_{тр}^{(ОМ)}}$ и $\varphi_a^{(ЗТВ)} = \frac{\alpha_{тр}^{(ЗТВ)}}{\alpha_{тр}^{(ОМ)}}$ - величины, оценивающие различие коэффициентов трещиностойкости $\alpha_{тр}$ [1] материалов шва и зоны термического влияния.

Значения механических характеристик $\sigma_B^{(ш)}$, $\sigma_B^{(ЗТВ)}$, $\sigma_B^{(ОМ)}$ а также $\alpha_{тр}^{(ш)}$, $\alpha_{тр}^{(ЗТВ)}$, $\alpha_{тр}^{(ОМ)}$ определяются в соответствии с положениями, разработанными в [1,2].

Из вышеприведенных формул следует, что при значениях коэффициентов $K_B^{(ш)}$ и $K_B^{(ЗТВ)}$ больше единицы сварной шов усиливает, в сравнении с однородным металлом, конструкцию и, наоборот, при значениях меньше единицы - ослабляет.

Рассмотрим конструкцию соединения у которого величина $C=0$ (снятое усиление). При расположении трещины в сварном шве (рис.1а, 1в) разрушающее напряжение σ_{1C} , с учетом механической неоднородности и в предположении, что

$$\alpha_{TP} = \alpha^{(OM)}, \sigma_B = \sigma_B^{(OM)}$$

$$\sigma_{1C} = \varphi_{\alpha}^{(ш)} \alpha_{TP} K_h K_t K_{\phi} K_{\gamma} K_B^{(ш)} \sigma_B,$$

где $K_h K_t K_{\phi} K_{\gamma}$ - коэффициенты, учитывающие параметры трещин в материале конструкции и подробно рассмотренные в [1].

При расположении трещины в зоне термического влияния (рис.1б,1г)

$$\sigma_{1C} = \varphi_{\alpha}^{(ЗТВ)} \alpha_{TP} K_h K_t K_{\phi} K_{\gamma} K_B^{(ш)} K_B^{(ЗТВ)} \sigma_B.$$

Коэффициент ослабления элемента трещиной

$$K_h = 1 - \bar{h} \quad \text{где} \quad \bar{h} = \frac{h}{(\delta + 2c)}. \quad \text{Отметим, что не учет усиления шва (с=0) обусловит создание}$$

запаса прочности.

Трещины в сварных односторонних стыковых соединениях представлены на рис 2. разрушающее напряжение находится аналогично.

По найденному значению σ_{1C} определяется предельное усилие, воспринимаемое сварной конструкцией.

Наряду с механической неоднородностью в конструкциях сварных соединений возникает геометрическая неоднородность типа смещения кромок (Рис. 3).

Для оценки влияния на несущую способность сварных соединений при смещении кромок введем следующие обозначения:

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{\delta}; \quad b = \frac{b}{\delta}$$

В практических случаях сварных соединений со смещением кромок $\bar{b} \geq m \bar{\Delta}$, где $m=4$, $m=8$ константа для односторонних и двухсторонних швов соответственно.

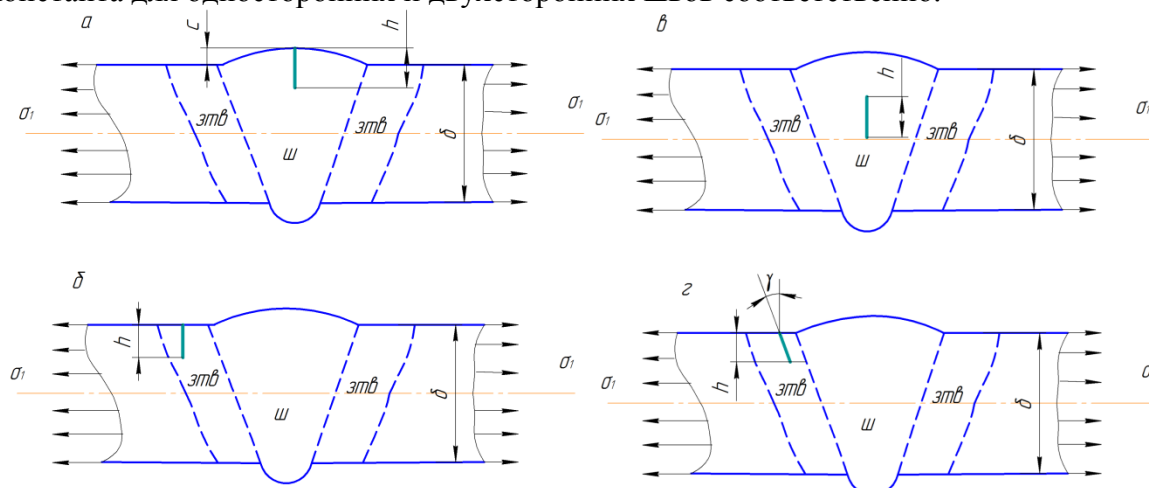


Рис.2. Трещины в односторонних стыковых соединениях

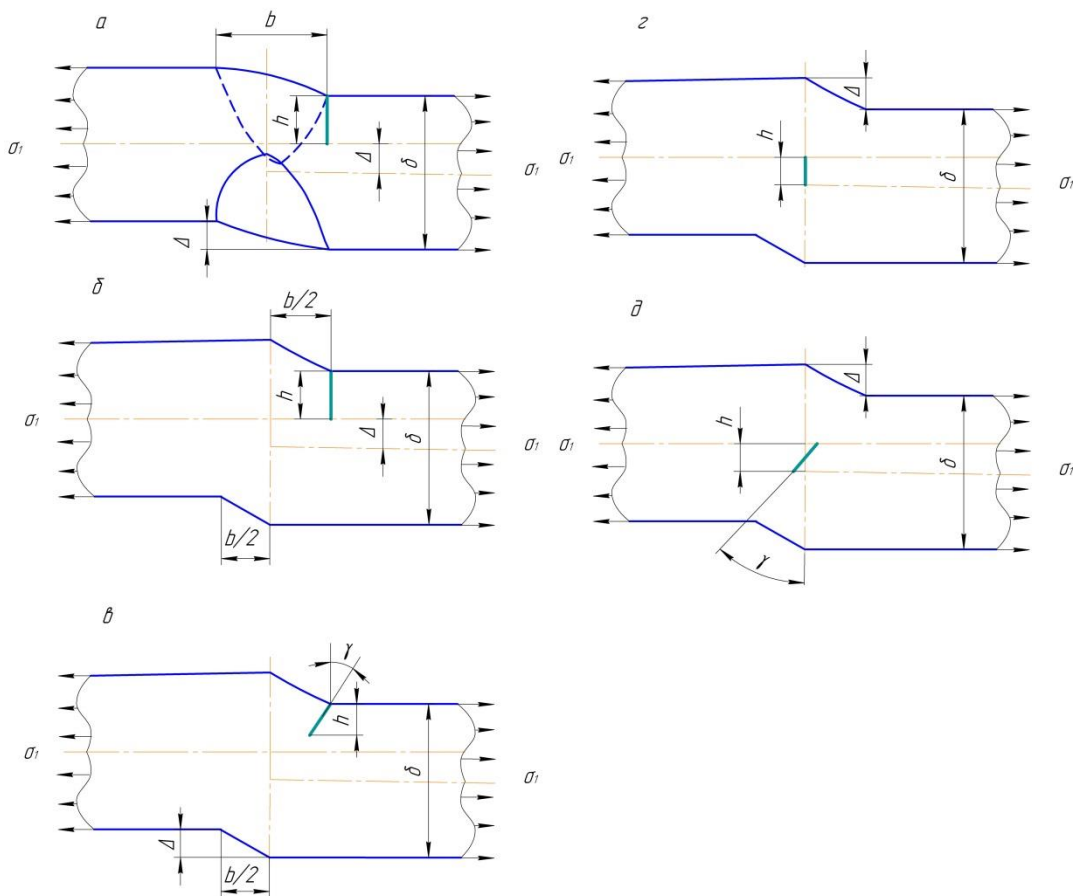


Рис.3 . Трещины в сварных двухсторонних стыковых соединениях со смещением кромок.
 Δ - величина смещения, γ - угол наклона трещины.

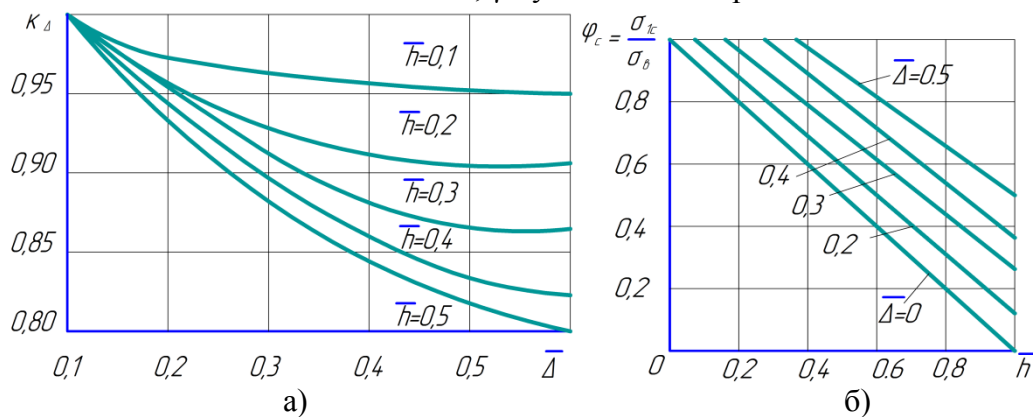


Рис. 4. а) зависимость K_{Δ} от $\bar{\Delta}$ и $\bar{h}$; б) зависимость относительной прочности $\varphi_c = \frac{\sigma_{1c}}{\sigma_B}$ сварного соединения от относительного размера центральной трещины при различных смещениях кромок конструкции.

Параметр K_{Δ} , учитывающий ослабление сечения при смещении кромок можно определить по соотношению $K_{\Delta} = \frac{1}{(1 + \bar{\Delta} \bar{h})}$, причем $\bar{h} = \frac{h}{\delta}$. Численное значение K_{Δ} приведено на рис.4а.

Разрушающее напряжение в сварном шве при смещении кромок (см.рис. 3) определится по соотношению:

$$\sigma_{1c} = \varphi_{\alpha}^{(ш)} \alpha_{TP} K_{\Delta} K_1 K_{\varphi} K_{\gamma} K_B^{(ш)} \sigma_B,$$

где коэффициенты K_1 , K_ϕ , K_γ , учитывающие параметры трещин, определяются так же как для сварных соединений без смещения кромок.

На основе вышеприведенных формул относительная прочность $\varphi_c = \frac{\sigma_{1c}}{\sigma_B}$ сварной конструкции со смещением кромок $\bar{\Delta} \geq 0$, (принимая $\alpha_{тр} = 1$, а значения относительного направления трещины $\bar{\phi} = 0, \bar{\gamma} = 0$) уменьшается с ростом размеров центральной трещины $\bar{h}$. (Рис.4 б).

Список литературы

1. Абызов А.П., Тарабарин О.И. Определение несущей способности конструктивных элементов деталей машин с учетом поверхностных дефектов в виде трещин. Научно-технический вестник Поволжья. №2 2012г. - Казань: Научно-технический вестник Поволжья. с. 58-63.
2. Зайнуллин Р.С., Тарабарин О.И., Щетин Л.С. Определение допустимых смещений кромок и ресурса стыковых сварных соединений конструктивных элементов нефтепроводов (Методические рекомендации МР-12 согласованные Госгортехнадзором РФ). - Уфа: ИПТЭР, 1998. - 16с.

05.02.07

А.П. Абызов к.т.н., В.Б. Ступко к.т.н., С.М. Петров к.т.н.

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского федерального университета,
кафедра КТОМП, г. Набережные Челны, anatonet@mail.ru, stupko.ineka@yandex.ru

МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ КОНТЕЙНЕРА ВИБРАЦИОННОГО СТАНКА С ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМИ ВИБРОПЛОЩАДКАМИ

В работе рассматриваются вопросы интенсификации процесса виброабразивной обработки за счет изменения траектории движения абразивной среды путем введения в конструкцию оборудования боковых виброплощадок.

Ключевые слова: вибрационная обработка, виброплощадки, движение, абразивная среда.

При работе вибрационного станка абразивные частицы, контактирующие со стенкой контейнера, получают от неё силовые импульсы. По мере удаления от стенок контейнера к его центру эти силовые импульсы затухают из-за наличия сил трения между частицами рабочей среды. В U - образном контейнере величина силовых импульсов, передаваемых его стенками абразивным частицам, неодинакова по сечению. Максимальной величины она достигает на дне контейнера и уменьшается на вертикальных стенках вследствие большего скольжения абразивных частиц вдоль них. Для устранения этого недостатка была разработана расчетная схема вибрационного станка с U - образным контейнером, обеспечивающим передачу дополнительных динамических воздействий абразивной среде при помощи виброплощадок (рис.1).[1]

Движение контейнера происходит под действием возмущающей силы F , которая возникает при вращении неуравновешенной массы m_0 (с эксцентриситетом r). Перемещение виброплощадок относительно стенок контейнера происходит за счет горизонтальной составляющей движения контейнера, а также за счет крутильных колебаний контейнера вокруг центра масс.

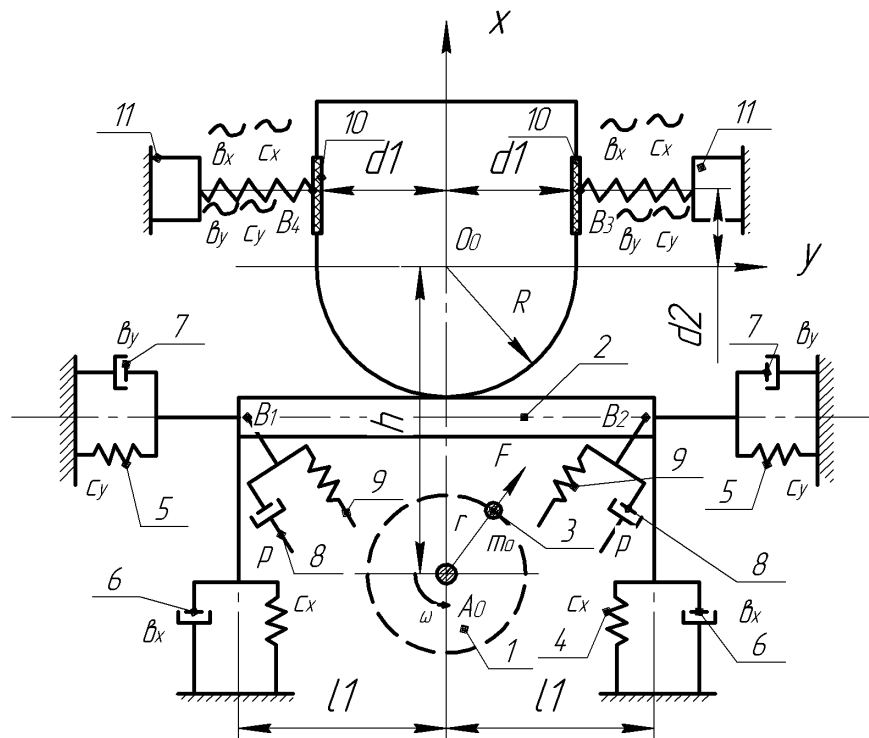


Рис.1. Расчетная схема вибрационного станка

Для составления дифференциальных уравнений движения контейнера используется уравнение Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{dq_j} \right) - \frac{dL}{dq_j} = Q_j \quad (1)$$

Здесь L - функция Лагранжа, равная разности кинетической энергии всей системы T и её потенциальной энергии Π . $L = T - \Pi$; Q_j - проекции обобщенной силы на оси координат; q_j - обобщенные координаты. В нашем случае $q_1 = x$, $q_2 = y$, $q_3 = \psi$ (ψ - угол поворота системы вокруг приведенного центра масс).

Вычислив кинетическую энергию системы как сумму кинетических энергий рабочего органа и неуравновешенного груза с учетом технических и конструктивных параметров, приведенных в расчетной схеме, а также потенциальную энергию с учетом наложенных связей и при условии, что угол ψ - мал, после ряда преобразований подучим систему дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами:

$$\begin{aligned} (m_1 + m_0)\ddot{x} + (2b_x + \bar{b}_x)\dot{x} + (2c_x + \bar{c}_x)x \pm \bar{b}_x d_1 \dot{\psi} \pm \bar{c}_x d_1 \psi &= m_0 r \omega^2 \cos \omega t \\ (m_1 + m_0)\ddot{y} + (2b_y + \bar{b}_y)\dot{y} + (2c_y + \bar{c}_y)y + m_0 h \ddot{\psi} + (2b_y l_2 - \bar{b}_y d_2)\dot{\psi} + (2c_y l_2 + \bar{c}_y d_2)\psi &= m_0 r \omega^2 \sin \omega t \\ (I_1 + m_0 h)\ddot{\psi} + (2b_y l_2^2 + 2b_x l_1^2 + \bar{b}_y d_2^2 + \bar{b}_x d_1^2 + 2P)\dot{\psi} + (2c_y l_2^2 + 2c_x l_1^2 + \bar{c}_y d_2^2 + \bar{c}_x d_1^2 + 2S)\psi &+ \bar{b}_x d_1 \dot{x} \pm \bar{c}_x d_1 x + m_0 h \ddot{y} + (2b_y l_2 - \bar{b}_y d_2)\dot{y} = m_0 h r \omega^2 \sin \omega t \end{aligned} \quad (2)$$

В полученных уравнениях нижние знаки (-) - при отклонении контейнера вибростанка вправо от вертикальной оси (X), а верхние (+) - при отклонении контейнера влево от вертикальной оси (X).

Приведенная система уравнений описывает движение приведенного центра масс вибрационного станка по координатам X , Y и вращения контейнера вокруг приведенного центра масс. Полученные уравнения можно записать в матричной форме:

$$A\ddot{q} + B\dot{q} + Cq = F_0 \cos \omega t + G \sin \omega t \quad (3)$$

где q , - вектор обобщенных координат, A и C - матрицы инерционных и квазиупругих коэффициентов, B - матрица коэффициентов демпфирования. После ряда преобразований решение уравнений (3) можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} x &= A_{x_{п,л}} \sin(\omega t + \delta_{x_{п,л}}) \\ y &= A_{y_{п,л}} \sin(\omega t + \delta_{y_{п,л}}) \\ \psi &= A_{\psi_{п,л}} \sin(\omega t + \delta_{\psi_{п,л}}) \end{aligned} \quad (4)$$

где индекс n - при отклонении контейнера вправо от вертикальной оси; $л$ - отклонение контейнера влево от вертикальной оси; A_x, A_y, A_ψ - амплитуды колебаний по координатам X и Y и поворота по координате ψ ; $\delta_x, \delta_y, \delta_\psi$ - начальные фазы колебаний.

В общем случае траектория движения приведенного центра тяжести представляет собой эллипс.

$$\frac{x^2}{A_{x_{п,л}}^2} + \frac{2xy}{A_{x_{п,л}} \cdot A_{y_{п,л}}} \cos(\delta_{x_{п,л}} - \delta_{y_{п,л}}) + \frac{y^2}{A_{y_{п,л}}^2} = \sin^2(\delta_{x_{п,л}} - \delta_{y_{п,л}}) \quad (5)$$

Поскольку коэффициенты $A_x, A_y, \delta_x, \delta_y$ определяются из системы (1) аналитическое решение которой представляет известные трудности, были применены численные методы с использованием средств вычислительной техники. Решение уравнений проводилось при постоянных конструкторско-технологических параметрах, которые назначались исходя из опыта эксплуатации вибрационных станков. Исключение составлял параметр d_1 , который характеризует величину смещения виброплощадок относительно стенок контейнера. Данный параметр фиксировался на пяти постоянных уровнях, поскольку его влияние на форму траектории движения приведенного центра масс вибрационного станка не исследовано. Траектория движения приведенного центра масс вибрационного станка (рис.2) представляет собой совокупность отрезков двух эллипсов. Следует отметить, что при $\Delta d_1 = 0,06 R_K$ (R_K - радиус цилиндрической части контейнера) форма траектории приведенного центра масс наиболее к круговой.

Известно, что при круговой форме траектории движения центра масс достигается максимальная производительность процесса.[2]

Проекция ускорения абсолютного движения массы загрузки образует систему дифференциальных уравнений:

$$\ddot{x}_a = -g, \quad \ddot{y}_a = 0. \quad (6)$$

Решениями которых являются периодические функции:

$$\begin{aligned} x_a(t) &= \frac{g}{2}u^2(t) + a_x u(t) + x_0, \\ y_a(t) &= \frac{v_{iy}}{2\omega} [\arcsin(\sin\omega t) + \arccos(\cos\omega t)] + y_0, \\ u(t) &= \frac{1}{2\omega} [\arccos(\cos\omega t)], \end{aligned} \quad (7)$$

где

g - ускорение свободного падения,

$a_x = V_{ix}$; V_{iy} - проекции скоростей на оси координат.

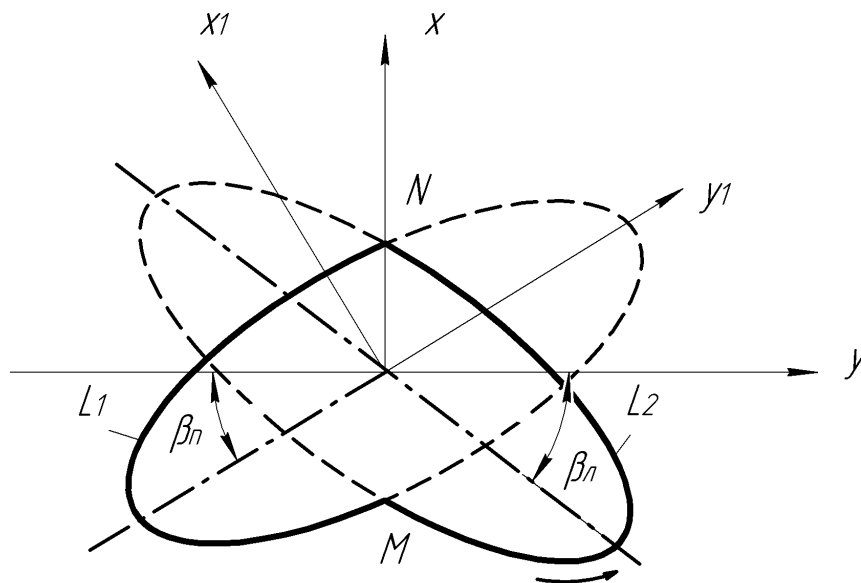


Рис.2. Траектория движения приведенного центра масс вибрационного станка

Исключив параметр времени из соотношений (7), получим модель траектории одного цикла в виде ломаной линии, состоящей из парабол и прямых:

$$\begin{aligned} x - x_0 &= -\frac{g}{2a_y^2} (y - y_0)^2 - \frac{a_x}{a_y} (y - y_0), \\ y &= y_1 = y_0 - a_\tau \tau = \text{const}, \\ x - x_0 &= -\frac{g}{2a_y^2} (y - y_1)^2 - \frac{a_x}{a_y} (y - y_1), \\ y &= y_0 \end{aligned} \quad (8)$$

Перемещение центра массы загрузки относительно контейнера описываются выражениями:

$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{g}{2}u^2 + a_x u + x_0 + A_{x,j} \sin(\omega t + \delta_{x_j}) + x_{c_0} + y_{c_0} + A_{\psi_j} \sin(\omega t + \delta_{\psi_j}), \\ y(t) &= \frac{v_{iy}}{2\omega} [\arcsin(\sin\omega t) + \arccos(\cos\omega t)] + y_0 + A_{y_j} \sin(\omega t + \delta_{y_j}) + y_c - \\ &\quad - x_c A_{\psi_j} \sin(\omega t + \delta_{\psi_j}) \end{aligned} \quad (9)$$

Дифференциальное уравнение вращения массы загрузки относительно контейнера имеет вид:

$$\ddot{\varphi}(t) = \frac{(m_0 - \bar{m}_1)|\bar{r}_1|}{m_2|\bar{r}_2|} \ddot{\psi}, \quad (10)$$

где, $\bar{m}_1$ - масса контейнера, m_2 - масса абразива,

$$\bar{r}_1 = \frac{1}{m_0 + m_1} \sum_k \mu_{1k} \bar{\rho}_{1k} - \text{радиус-вектор массы } m_0 + m_1$$

$\bar{r}_2 = \frac{1}{m_2} \sum_k \mu_{2k} \bar{\rho}_{2k}$ радиус-вектор центра массы m_2 с началом в центре тяжести всей системы.

Общее решение этого уравнения представлено в виде:

$$\varphi(t) = \frac{(m_0 - \bar{m}_1) |\bar{r}_{1,0}|}{m_2 |\bar{r}_{2,0}|} A_{\psi_j} \sin(\omega t + \delta_{\psi_j}) + c_3 t + c_4 \quad (11)$$

На равномерность обработки деталей в контейнере вибрационного станка наибольшее влияние оказывает нормальная составляющая от массы загрузки

$$N = C_1 (L - X) - KX, \quad (12)$$

где L - радиус модели загрузки в положении статического равновесия;

C , K - коэффициенты, соответственно, жесткости модели загрузки и вязкого демпфирования.

Система уравнений, описывающая движение частицы относительно стенок контейнера представлена в следующем виде:

$$m_q \ddot{x} = -m_q \ddot{\xi} \sin(\gamma + \varphi) - m_q \ddot{\eta} \cos(\gamma + \varphi) + 2m_q \dot{\varphi} - m_q g \sin(\gamma + \varphi) - F \text{sign} \dot{\psi}$$

$$m_q \ddot{y} = -m_q \ddot{\xi} \cos(\gamma + \varphi) - m_q \ddot{\eta} \sin(\gamma + \varphi) + 2m_q \dot{\chi} \dot{y} - m_q g \cos(\gamma + \varphi) + N$$

$$I_3 \ddot{\psi} = -I_3 \ddot{y} - F_y \text{sign} \dot{\varphi}$$

Решение данной системы относительно переменных $x, y, \psi, \dot{x}, \dot{y}, \dot{\psi}$ и подстановка x и $\dot{x}$, в выражение для нормальной составляющей от массы загрузки показало, что разность её численных значений для различных зон контейнера не превышает 5 % при смещении виброплощадок $\Delta d_1 = 0,06 R_K$. Таким образом проведенные теоретические исследования позволили установить оптимальные значения смещения виброплощадок относительно стенок контейнера $\Delta d_1 = 0,06 R_K$, при которых достигается максимальная производительность процесса и равномерность обработки по сечению контейнера.

Список литературы

1. А.С. 715302 (СССР). Установка для вибрационной обработки деталей в абразивной среде / Ф.С. Юнусов, В.В. Якунин, А.П. Абызов. - Оpubл. в Б.И., 1980, №6.
2. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах. / И.Н. Картршов, М.Е. Шаинский, и др. - Киев, Вища школа, 1990. - 188 с.

05.13.18

И.А. Акимов, А.И. Акимов, Т.И. Жумагазеев

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МАССОПЕРЕНОСА НА ВТОРОМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В УСТАНОВКАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА (АВТП)

В данной работе рассматривается массоперенос в многослойных полых изделиях цилиндрической формы при изготовлении композиционных материалов в установках АВТП методом полимеризации. В зависимости от температуры, связующие материалы способны принимать жидкотекучее и твердое состояние, образуя монолит из многослойных стеклотканей. По разработанным технологиям изготавливают различные типы композиционных материалов.

Ключевые слова: массоперенос, полимеризация, композиционные материалы, установки АВТП, связующие материалы, стеклоткани, пресформа.

Введение

Композиционные материалы относятся к пятому поколению материалов, которые использует человечество в своей деятельности. В настоящее время разрабатываются различные технологии производства таких материалов. Особое внимание при этом уделяется повышению прочностных характеристик, долговечности, надежности в экстремальных условиях эксплуатации и ряду других свойств.

Для реализации установками АВТП востребованных характеристик необходимо обеспечить управление теплообменом, массообменом и термонапряжениями по зависимостям в соответствии с рис. 1.

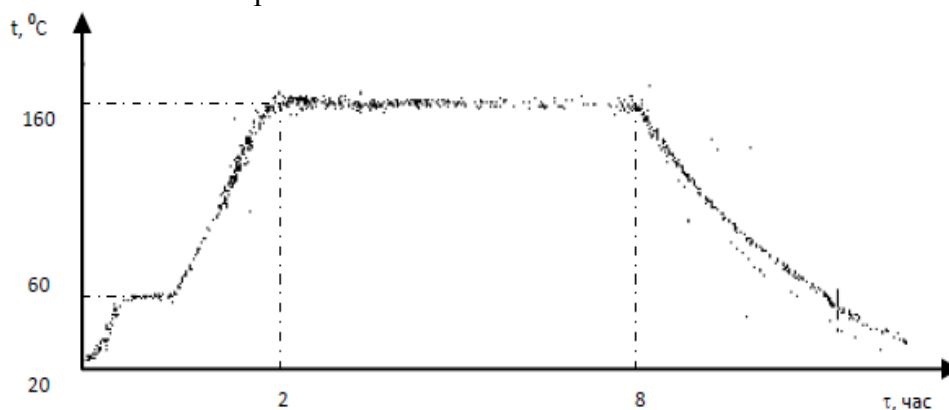


Рис. 1 - Экспериментальный график температурного режима

Здесь:

20° – начальная температура, 60° – температура предварительного разогрева, 160° – температура режима нагревания, τ – время.

В данной работе рассматривается движение массы связующего материала через стеклоткани при изготовлении композиционных материалов цилиндрической формы методом полимеризации. Химические свойства связующих материалов таковы, что они переходят в твердое состояние только в температурах ниже температуры полимеризации, т.е. в процессе охлаждения изделия до температуры среды

Постановка задачи

При таких предположениях, постановка задачи по радиальной схеме в цилиндрической системе координат следующая.

Найти решение уравнения

$$\frac{1}{c_k} \cdot \frac{\partial m_k(r, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 m_k(r, \tau)}{\partial \tau^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial m_k(r, \tau)}{\partial r} + h_k(r, \tau), \quad (1)$$

$$\tau > 0, R_{k-1} > r > R_k \text{ для } k=1, 2, \dots, j, \dots, n;$$

$$R_0(r, \tau) > r > \xi(\tau) \text{ для зоны полимеризации – I,}$$

$$\xi(\tau) > r > R_{n+1}(r, \tau) \text{ для противоположенной зоны – II,}$$

при начальных условиях

$$m_k(r, 0) = m_0; \quad (2)$$

и при граничных условиях

$$m_n(R_n, \tau) - \frac{\chi_n}{\beta_n} \cdot \frac{\partial m_n(R_n, \tau)}{\partial r} = 0; \quad (3)$$

$$m_{k-1}(R_{k-1}, \tau) = m_k(R_{k-1}, \tau) = Q_{k-1}(\tau); \quad (4)$$

$$m_1(R_0, \tau) - \frac{\chi_1}{\beta_1} \cdot \frac{\partial m_1(R_0, \tau)}{\partial r} = 0; \quad (5)$$

$$m_I[\xi(\tau), \tau] = m_{II}[\xi(\tau), \tau] = m_{kp}; \quad (6)$$

$$m_{II}[\alpha \xi(\tau), \tau] = m_0; \quad (7)$$

$$\chi_{k-1} \frac{\partial m_{k-1}[R_{k-1}, \tau]}{\partial r} = \chi_k \frac{\partial m_k[R_{k-1}, \tau]}{\partial r}; \quad (8)$$

$$\text{при } R_k(r, \tau) \neq \xi(\tau); \quad (8)$$

$$\chi_I \frac{\partial m_I[\xi(\tau), \tau]}{\partial r} - \chi_{II} \frac{\partial m_{II}[\xi(\tau), \tau]}{\partial r} = q; \quad (9)$$

Где c_k, χ_k, β_k – коэффициенты проводности потенциала массы, массопроводности и массоотдачи, α – безразмерный параметр теплового влияния в k -слое, $Q_{k-1}(\tau)$, $\xi(\tau)$ – достаточно гладкие функции своих аргументов, которые подлежат определению через условия (4) и (7), $m_k(r, \tau)$ – движение массы связующего в k -ом слое (Рис. 2).

Для решения поставленной задачи применим метод изотермических поверхностей [1], для чего заменим истинное распределение массы $m_k(r)$ внутри каждой области $[R_k(r, \tau), \xi(\tau)]$ и $[\xi(\tau), \alpha \xi(\tau)]$ при фиксированных положениях границы $\xi_j(\tau) \equiv \xi(\tau_j)$ нестационарным распределением массы $m_j(r, \tau)$, $\tau \rightarrow \tau_j = \tau(\xi_j)$

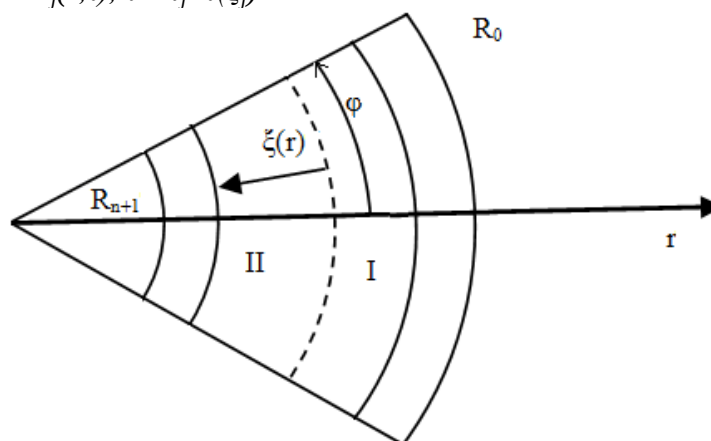


Рис. 2 - Схема распределения зон

где $\tau > 0, R_0(r, \tau) > r > \xi_j(\tau) - I; \tau > 0, \xi(\tau) > r > R_{n+1}(r, \tau) - II$

Если $R_{j-1}(r, \tau) > \xi_j(\tau) > R_j(r, \tau)$, при $1 \leq j \leq n$, то введя вспомогательные функции

$$\begin{aligned} \theta_n(r, \tau_j) &= Q_{n-1}(\tau_j) + [Q_n(\tau_j) - Q_{n-1}(\tau_j)] \cdot \frac{r - R_{n-1}}{R_n - R_{n-1}}; \\ &\dots\dots\dots \\ \theta_1(r, \tau_j) &= Q_0(\tau_j) + [Q_1(\tau_j) - Q_0(\tau_j)] \cdot \frac{r - R_0}{R_1 - R_0}, \end{aligned} \quad (10)$$

можно определить решение задач (1) – (9) в виде

$$m_k(r, \tau_j) = P_k(r, \tau_j) + \theta(r, \tau_j) \quad (11)$$

В результате эти задачи можно привести к следующей форме:

$$\frac{1}{c_k} \cdot \frac{\partial P_k(r, \tau_j)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 P_k(r, \tau_j)}{\partial \tau^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial P_k(r, \tau_j)}{\partial r} + \omega_k(r, \tau_j); \quad (12)$$

с начальным условием

$$P_k(r, 0) = m_k(r, 0) + \theta(r, 0) \quad (13)$$

и однородными граничными условиями типа (3) – (9).

Решение задачи (11) – (13) вычисляется в виде суммы:

$$P_k(r, \tau_j) = S_k(r, \tau_j) + q_k(r, \tau_j) \quad (14)$$

где $S_k(r, \tau_j)$ определяется из уравнения

$$\frac{1}{c_k} \cdot \frac{\partial S_k(r, \tau_j)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 S_k(r, \tau_j)}{\partial \tau^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial S_k(r, \tau_j)}{\partial r} + \varphi_k(r, \tau_j); \quad (15)$$

где

$$\varphi_k(r, \tau_j) = h_k(r, \tau_j) + \frac{\partial^2 \theta_k(r, \tau_j)}{\partial \tau^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \theta_k(r, \tau_j)}{\partial r} - \frac{1}{c_k} \frac{\partial \theta_k(r, \tau_j)}{\partial \tau}, \quad (16)$$

а $q_k(r, \tau_j)$ определяется из уравнения

$$\frac{1}{c_k} \cdot \frac{\partial q_k(r, \tau_j)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 q_k(r, \tau_j)}{\partial \tau^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial q_k(r, \tau_j)}{\partial r}, \quad (17)$$

с определенными выше типами начальных и граничных условий.

Частным решением уравнений (17) является функция Бесселя [2-3].

Применяя метод конечных интегральных преобразований Ханкеля по переменной r и весовой функцией $\rho(r) = r$, и переходя к оригиналу, получим искомые решения (17) в виде

$$q_k(r, \tau_j) = \sum_{k=1}^K \frac{e^{-c_k \eta_{jk}^2 \tau_j}}{c_{jk}} \cdot \int_{R_{k-1}}^{R_k} q_k(r, 0) [A_k J_0(\eta_{jk} r) + B_k Y_0(\eta_{jk} r)] r dr, \quad (18)$$

где $[A_k J_0(\eta_{jk} r) + B_k Y_0(\eta_{jk} r)]$ ядро интегрального преобразования.

Подчинив общее решение для собственных функций однородным граничным условиям, можно получить системы

$$\begin{aligned} &\begin{cases} A_n J_0(\eta_{jk} R_n) + B_n Y_0(\eta_{jk} R_n) + \frac{\lambda_n}{\alpha_n} [A_n J'_0(\eta_{jk} R_n) + B_n Y'_0(\eta_{jk} R_n)] = 0; \\ A_n J_0(\eta_{jk} R_{n-1}) + B_n Y_0(\eta_{jk} R_{n-1}) = 0; \end{cases} \\ &\dots\dots\dots \\ &\begin{cases} A_m J_0(\eta_{ym} R_m) + B_m Y_0(\eta_{ym} R_m) = 0; \\ A_m J_0(\eta_{ym} R_{m-1}) + B_m Y_0(\eta_{ym} R_{m-1}) = 0; \end{cases} \end{aligned} \quad (19)$$

где $m=1, 2, \dots, s, \dots, n$;

.....

$$\begin{cases} A_2 J_0(\eta_{\gamma 2} R_2) + B_2 Y_0(\eta_{\gamma 2} R_2) = 0; \\ A_2 J_0(\eta_{\gamma 2} R_1) + B_2 Y_0(\eta_{\gamma 2} R_1) = 0; \\ A_1 J_0(\eta_{\gamma 1} R_1) + B_1 Y_0(\eta_{\gamma 1} R_1) = 0; \\ A_1 J_0(\eta_{\gamma 1} R_0) + B_1 Y_0(\eta_{\gamma 1} R_0) + \frac{\lambda_1}{\alpha_1} [A_1 J'_0(\eta_{\gamma 1} R_0) + B_1 Y'_0(\eta_{\gamma 1} R_0)] = 0, \end{cases}$$

где λ_n и α_n - коэффициенты теплопередачи и теплопроводности.

Очевидно, что нулями собственных функций является и значение $\xi(\tau_j)$. Это дает дополнительную систему, вид которой зависит от номера слоя. Решив системы (19) найдем с точностью до произвольного множителя

$$A_m = Y_0(\eta_{\gamma m} R_m), B_m = -J_0(\eta_{\gamma m} R_m), A_n = Y_0(\eta_{\gamma n} R_{n-1}), B_n = -J_0(\eta_{\gamma n} R_{n-1})$$

Для определения собственных чисел $\eta_{\gamma m}$ найдем уравнение

$$\begin{aligned} & Y_0(\eta_{\gamma n} R_{n-1}) J_0(\eta_{\gamma n} R_n) - J_0(\eta_{\gamma n} R_{n-1}) Y_0(\eta_{\gamma n} R_n) + \\ & + \frac{\lambda_n}{\alpha_n} [Y_0(\eta_{\gamma n} R_{n-1}) J'_0(\eta_{\gamma n} R_n) - J_0(\eta_{\gamma n} R_{n-1}) Y'_0(\eta_{\gamma n} R_n)] = 0; \\ & \dots \dots \dots \\ & Y_0(\eta_{\gamma m} R_m) J_0(\eta_{\gamma m} R_{m-1}) - J_0(\eta_{\gamma m} R_{m-1}) Y_0(\eta_{\gamma m} R_{m-1}) = 0; \\ & \dots \dots \dots \\ & Y_0(\eta_{\gamma 2} R_2) J_0(\eta_{\gamma 2} R_1) - J_0(\eta_{\gamma 2} R_2) Y_0(\eta_{\gamma 2} R_1) = 0; \\ & Y_0(\eta_{\gamma 1} R_1) J_0(\eta_{\gamma 1} R_0) - J_0(\eta_{\gamma 1} R_1) Y_0(\eta_{\gamma 1} R_0) + \\ & + \frac{\lambda_1}{\alpha_1} [Y_0(\eta_{\gamma 1} R_1) J'_0(\eta_{\gamma 1} R_0) - J_0(\eta_{\gamma 1} R_1) Y'_0(\eta_{\gamma 1} R_0)] = 0. \end{aligned} \quad (20)$$

К этим уравнениям относится также уравнение с учетом границы $\xi(\tau_s)$, вид которого зависит от положения этой границы.

Нормирующие делители C_{jk} получаются в следующем виде

$$\begin{aligned} C_{jn} &= \int_{R_{n-1}}^{R_n} [A_n J_0(\eta_{\gamma n} r) + B_n Y_0(\eta_{\gamma n} r)]^2 r dr = \frac{R_n^2}{2} \{ G_n^2(\eta_{\gamma n} R_n) + [G'_n(\eta_{\gamma n} R_n)]^2 \} \\ & \dots \dots \dots \\ C_{jm} &= \int_{R_{m-1}}^{R_m} [A_m J_0(\eta_{\gamma m} r) + B_m Y_0(\eta_{\gamma m} r)]^2 r dr = \\ & = \frac{R_{m-1}^2}{2} G'_m(\eta_{\gamma m} R_{m-1}) \left[\frac{R_m}{R_{m-1}} G'_{m-1}(\eta_{\gamma m} R_m) - G_m(\eta_{\gamma m} R_{m-1}) \right] \\ & \dots \dots \dots \\ C_{j1} &= \int_{R_0}^{R_1} [A_1 J_0(\eta_{\gamma 1} r) + B_1 Y_0(\eta_{\gamma 1} r)]^2 r dr = \frac{R_0^2}{2} \{ G_1^2(\eta_{\gamma 1} R_0) + [G'_1(\eta_{\gamma 1} R_0)]^2 \} \end{aligned} \quad (21)$$

которые далее будем обозначать величиной C_{jj} , имеющей вид одной из этих формул в зависимости от того в каком слое находится граница $\xi(\tau_j)$, где $G(\eta_{\gamma m}, r)$ - функция Бесселя III рода.

Таким образом, подставив нормирующие делители C_{jj} в уравнения (18) перейдем к решению задачи (17) в форме (18), где

$$q_k(r, 0) = m_k(r, 0) - \theta_k(r, 0).$$

Решение задачи (15), (16) будем искать в виде ряда

$$S_k(r, \tau_j) = \sum_{\gamma=1}^{\infty} S_{\gamma k}(\tau_j) [A_k J_0(\eta_{\gamma k} r) + B_k Y_0(\eta_{\gamma k} r)] \quad (22)$$

так что граничные условия удовлетворяются сами собой, при этом предполагаем, что функция $\varphi_k(r, \tau_j)$ разлагается в ряд по собственным функциям

$$\varphi_k(r, \tau_j) = \sum_{\gamma=1}^{\infty} \varphi_{\gamma k}(\tau_j) [A_k J_0(\eta_{\gamma k} r) + B_k Y_0(\eta_{\gamma k} r)] \quad (23)$$

Подставляя (22) и (23) в (15) и, принимая, $r = \sqrt{\tau}$ приводим задачу к виду

$$\frac{\partial S_k(\tau_j, \gamma)}{\partial \tau} + C_k \left(\frac{\eta_{\gamma k}}{2} \right)^2 S_k(\tau_j, \gamma) = \varphi_k(\tau_j, \gamma) \quad (24)$$

$$S_k(0, \gamma) = 0 \quad (25)$$

и получаем ее решение

$$S_{\gamma k}(\tau_j) = \int_0^{\tau_j} \varphi_{\gamma k}(\tau) \cdot e^{C_k \left(\frac{\eta_{\gamma k}}{2} \right)^2 (\tau - \tau_j)} d\tau, \quad (26)$$

а коэффициенты $\varphi_{\gamma k}(\tau)$ находятся из условия ортонормированности собственных функций:

$$\varphi_{\gamma k}(\zeta_j) = \frac{1}{C_{\gamma k}} \cdot \int_{R_{k-1}}^{R_k} \varphi_k(r, \tau_j) [A_k J_0(\eta_{\gamma k} r) + B_k Y_0(\eta_{\gamma k} r)] r dr. \quad (27)$$

Подставляя (27) в (28) получаем окончательное решение задачи (15)

$$S_k(r, \tau_j) = \sum_{\gamma=1}^{\infty} \frac{1}{C_{\gamma k}} \int_0^{\tau_j} \int_{R_{k-1}}^{R_k} \omega_k(r, \tau) \cdot e^{C_k \left(\frac{\eta_{\gamma k}}{2} \right)^2 (\tau - \tau_j)} \cdot [A_k J_0(\eta_{\gamma k} r) + B_k Y_0(\eta_{\gamma k} r)] r dr d\tau. \quad (28)$$

Согласно (18) и (23) решение задачи (14) имеет вид

$$P_k(r, \tau_j) = \sum_{\gamma=1}^{\infty} \frac{e^{-C_k \eta_{\gamma k}^2 \tau_j}}{C_{\gamma k}} \int_{R_{k-1}}^{R_k} \left\{ \int_0^{\tau_j} \omega_k(r, \tau) e^{C_k \left(\frac{\eta_{\gamma k}}{2} \right)^2 (\tau + 3\tau_j)} d\tau + m_k(r, 0) - \theta_k(r, 0) \right\} \cdot [A_k J_0(\eta_{\gamma k} r) + B_k Y_0(\eta_{\gamma k} r)] r dr. \quad (29)$$

С учетом (10) и (29) решения задачи (11) имеет вид

$$m_k(r, \tau_j) = \sum_{\gamma=1}^{\infty} \frac{e^{-C_k \eta_{\gamma k}^2 \tau_j}}{C_{\gamma k}} \int_{R_{k-1}}^{R_k} \left\{ \int_0^{\tau_j} \omega_k(r, \tau) e^{C_k \left(\frac{\eta_{\gamma k}}{2} \right)^2 (\tau + 3\tau_j)} d\tau + m_0 - \theta_k(r, 0) \right\} \cdot [A_k J_0(\eta_{\gamma k} r) + B_k Y_0(\eta_{\gamma k} r)] r dr + \theta_k(r, \tau_j), \quad (30)$$

где последовательность $\{\tau_j\}$ определяется рекуррентной формулой

$$\tau_{j+1} = \tau_j + G \Delta \xi_{j-1} \left[\chi_I \frac{\partial m_I(r, \tau_j)}{\partial r} \Big|_{r=\xi_{j-1}} - \chi_{II} \frac{\partial m_{II}(r, \tau_j)}{\partial r} \Big|_{r=\xi_j} \right]^{-1},$$

в которой $\Delta \xi_{j-1} \equiv \xi_{j-1} - \xi_j$, т.к. полимеризация начинается с поверхности изделия R_0 , G - теплота фазового перехода.

Список литературы

1. Шафеев М.Н. О сходимости метода экзотермических поверхностей. Уфа. ВИНТИ №6507-И86. 1986г. – 13с.
2. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло и массопереноса. Москва-Ленинград. Государственное энергетическое издательство. 1963г. – 534с.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: «Высшая школа» - 1967г. - 599с.

05.13.18

¹И.А. Акимов д.т.н., ²А.И. Акимов к.т.н., ¹Е.О. Каракулина

¹Оренбургский государственный педагогический университет,
физико-математический факультет, кафедра математического анализа и методики
преподавания математики, Оренбург, akimov_ia@mail.ru

²Московский технологический институт «ВТУ», филиал в г. Оренбурге,
кафедра Информатики и автоматизации, г. Оренбург, akimoff11@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В МНОГОСЛОЙНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЯХ НА ПЕРВОМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе представлены результаты изучения теплопередачи в многослойных цилиндрических изделиях на первом этапе производства композиционных материалов методом полимеризации на промышленных установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП).

Ключевые слова: *полимеризация, композиционные материалы, условия сопряжения, термические сопротивления.*

Как известно, композиционные материалы относятся к пятому поколению материалов, которые использует человек в своей деятельности. Поэтому стали актуальными требования по улучшению прочностных характеристик таких материалов. Изучение производства композиционных материалов в установках АВТП показало, что одним из путей улучшения эксплуатационных характеристик изделия является повышение точности параметров технологического процесса изготовления в установках АВТП и разработка системы управления производством композиционных материалов, учитывающая большое количество взаимосвязей возмущающих воздействие [1].

Для разработки системы управления требуются точные расчеты теплообмена, массообмена и термонапряжений на всех этапах производства композиционных материалов (рис. 1).

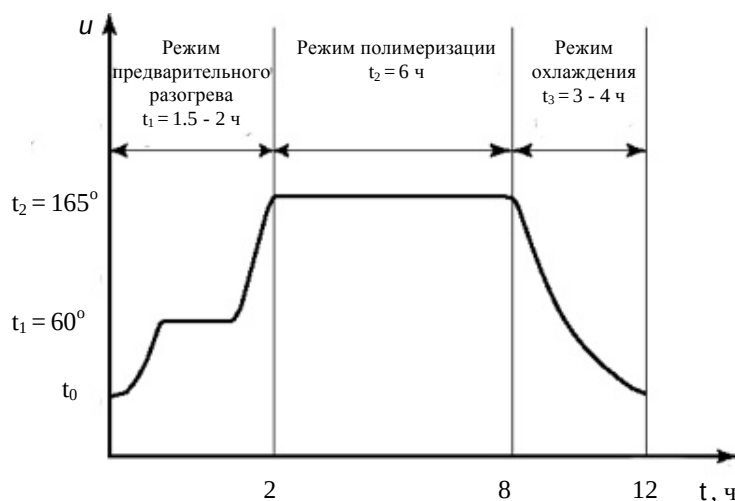


Рис. 1 - Обобщенный экспериментальный график зависимости температуры от времени в установках АВТП: t_0 – начальная температура, t_1 – температура предварительного разогрева, t_2 – температура режима нагревания, τ – время

В данной работе приводятся результаты исследования теплопередачи в многослойных цилиндрических изделиях в установках АВТП на первом этапе производства композиционных материалов, то есть в режиме предварительного разогрева.

Предполагается, что между слоями имеет место идеальный тепловой контакт и температура соприкасающихся поверхностей двух слоев одинакова. Полимеризация отсутствует, так как она начинается только на втором этапе производства композиционных материалов в установках АВТП.

Изделие имеет форму полого многослойного цилиндра с технологическим мешком внутри, уложенного в пресс-форму. К пресс-форме подключается электрообогрев. Температура передается только в радиальном направлении, так как по длине изделия z и по φ , то есть по цилиндрическим координатам, температура одинакова. Теплопроводность λ_i ($i = 1, 2, \dots, n$) каждого слоя одинакова, так как каждый слой состоит из одного и того же композиционного материала, но под влиянием температуры незначительно изменяются. Величина теплового потока зависит от глубины проникновения и от начального нагрева.

Список имеющихся в настоящее время решений таких задач весьма невелик. Наиболее общие результаты были получены при использовании преобразований с функцией Грина, вид которой определяется в соответствии с граничными условиями. Однако трудоемкость выполнения необходимых преобразований резко возрастает с увеличением количества составляющих изделие слоев. В рассматриваемых изделиях число слоев доходит до ста.

Так как длина изделия цилиндрической формы значительно больше диаметра, то есть ($l \gg 2R_0$), то можно рассматривать изделие как многослойный цилиндр бесконечной длины (рис.2).

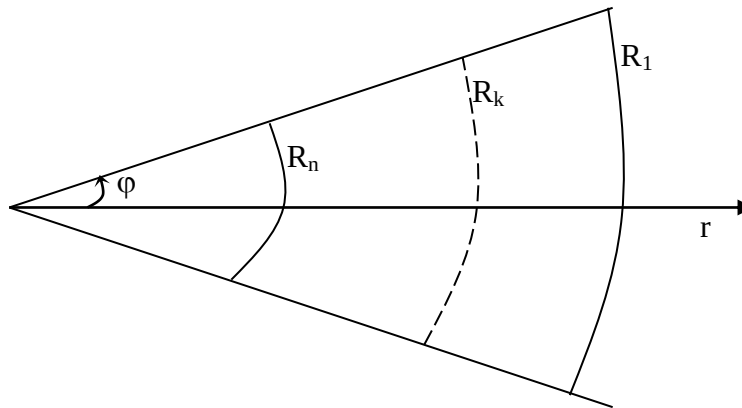


Рис. 2 – Схема расположения слоев изделия

При таких предположениях постановку задачи математически можно описать так [2]

$$\frac{\partial U_k(r, \tau)}{\partial \tau} = a_k \left(\frac{\partial^2 U_k(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_k(r, \tau)}{\partial r} \right) + w_k(r, \tau), \quad \tau > 0, \quad R_{n+1} < r < R_0, \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

при начальном условии

$$U(r, 0) = f(r), \quad (2)$$

где U_k – температура в k -том слое;

r – радиус цилиндра;

a_k – температуропроводность k -того слоя изделия;

w_k – функция источников.

Граничные условия на свободных поверхностях запишем в общем виде (путем подбора соответствующих коэффициентов можно получить граничные условия I, II или III рода с переменным потенциалом среды и произвольно меняющимся потоком тепла):

при $r = R_0$

$$\alpha_1 \frac{\partial U_1}{\partial r} + \beta_1 [U_1 - U_0(\tau)] + \chi_1 g_1(\tau) = 0; \quad (3)$$

при $r = R_{n+1}$

$$\alpha_2 \frac{\partial U_n}{\partial r} + \beta_2 [U_n - U_{n+1}(\tau)] + \chi_2 g_2(\tau) = 0, \quad (4)$$

где U_0 и U_{n+1} – соответственно температуры на внешней и внутренней поверхности изделия;

g_1, g_2 – потоки тепла с внешней и внутренней поверхностей изделия;

$\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \chi_1, \chi_2$ – коэффициенты теплообмена между средами.

Кроме того, наложим условия сопряжения между отдельными слоями

$$\begin{aligned} U_k(R_k, \tau) &= U_{k+1}(R_k, \tau); \\ \lambda_k \frac{\partial U_k(R_k, \tau)}{\partial r} &= \lambda_{k+1} \frac{\partial U_{k+1}(R_k, \tau)}{\partial r}, (k=1, 2, \dots, n-1). \end{aligned} \quad (5)$$

Приведем неоднородные граничные условия (3)-(4) к однородным условиям. Для этого введем новую функцию $\psi(r, \tau)$.

$$T_k(r, \tau) = U_k(r, \tau) - \psi_k(r, \tau), (k=1, 2, \dots, n-1) \quad (6)$$

где $\psi(r, \tau)$ удовлетворяет условиям:

$$\begin{cases} \psi(r, \tau) = \psi_k(r, \tau) \\ \psi_1(0, \tau) = U_0(\tau) \\ \lambda_1 \frac{\partial \psi_1(R_1, \tau)}{\partial r} = -\chi_1 g_1(\tau) \\ \dots \dots \dots \end{cases}, R_{k-1} \leq r \leq R_k, \tau > 0, 1 \leq k \leq n; \quad (7)$$

$$\begin{cases} \psi_k(R_k, \tau) = \psi_{k+1}(R_k, \tau) \\ \lambda_k \frac{\partial \psi_k(R_k, \tau)}{\partial r} = \lambda_{k+1} \frac{\partial \psi_{k+1}(R_k, \tau)}{\partial r} \\ \dots \dots \dots \end{cases} \quad (8)$$

$$\lambda_n \frac{\partial \psi_n(R_n, \tau)}{\partial r} = -\chi_2 g_2(\tau)$$

$$\psi_n(R_n, \tau) = U_{n+1}(\tau)$$

Решая систему уравнений (7)-(8), получим выражение для функции $\psi(r, \tau)$:

$$\psi_k(r, \tau) = \frac{1}{6\lambda_k} A(\tau) (2r - 3R_n) r^2 + \frac{\chi_1 g_1(\tau)}{2\lambda_k R_n} (r - 2R_n) r - \frac{\chi_2 g_2(\tau)}{2\lambda_k R_n} r^2 + A_k(\tau), \quad (9)$$

где

$$A(\tau) = \frac{6B}{\sum_{k=2}^n \frac{R_{k-1}^2 (2R_{k-1} - 3R_n) (\lambda_k - \lambda_{k-1})}{\lambda_k \lambda_{k-1}} - \frac{R_n^3}{\lambda_n}};$$

$$\begin{aligned} B = U_{n+1}(\tau) - U_0(\tau) + \frac{\chi_1 g_1(\tau)}{2R_n} \left[\frac{R_n^2}{\lambda_n} - \sum_{k=2}^n \frac{R_{k-1} (R_{k-1} - 2R_n) (\lambda_k - \lambda_{k-1})}{\lambda_k \lambda_{k-1}} \right] + \\ + \frac{\chi_2 g_2(\tau)}{2R_n} \left[\frac{R_n^2}{\lambda_n} - \sum_{k=2}^n \frac{R_{k-1} (\lambda_{k-1} - \lambda_k)}{\lambda_k \lambda_{k-1}} \right]; \end{aligned}$$

$$A(\tau) = U_0(\tau);$$

$$\begin{aligned} A_k(\tau) = \frac{A(\tau)}{6} \sum_{j=2}^k \frac{R_{j-1} (2R_{j-1} - 3R_n) (\lambda_j - \lambda_{j-1})}{\lambda_j \lambda_{j-1}} + U_0(\tau) + \\ + \frac{\chi_1 g_1(\tau)}{2R_n} \sum_{j=2}^k \frac{R_{j-1} (R_{j-1} - 2R_j) (\lambda_j - \lambda_{j-1})}{\lambda_j \lambda_{j-1}} + \frac{\chi_2 g_2(\tau)}{2R_n} \sum_{j=2}^k \frac{R_{j-1}^2 (\lambda_{j-1} - \lambda_j)}{\lambda_j \lambda_{j-1}}. \end{aligned}$$

С учетом (7)-(9) система уравнений (1)-(4) примет вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial [U_k(r, \tau) - \psi_k(r, \tau)]}{\partial \tau} = a_k \left(\frac{\partial^2 [U_k(r, \tau) - \psi_k(r, \tau)]}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial [U_k(r, \tau) - \psi_k(r, \tau)]}{\partial r} \right) + \\ + w_k(r, \tau) \end{aligned}$$

Обозначив $U_k(r, \tau) - \psi_k(r, \tau) = T_k(r, \tau)$ придем к уравнениям

$$\frac{\partial T_k(r, \tau)}{\partial \tau} = a_k \left(\frac{\partial^2 T_k}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_k}{\partial r} \right) + w_k(r, \tau), \quad R_{k-1} \leq r \leq R_k, \quad \tau > 0, \quad 0 \leq k \leq n, \quad (10)$$

с начальными и однородными граничными условиями

$$\begin{cases} T_k(r, 0) = f_k(r) - \psi_k(r, 0) \\ \alpha_1 \frac{\partial T_1(R_0, \tau)}{\partial r} + \beta_1 T_1(R_0, \tau) = 0 \\ \alpha_2 \frac{\partial T_n(R_n, \tau)}{\partial r} + \beta_2 T_n(R_n, \tau) = 0 \\ \dots\dots\dots \\ T_{k-1}(R_{k-1}, \tau) = T_k(R_{k-1}, \tau) \\ \lambda_{k-1} \frac{\partial T_{k-1}(R_{k-1}, r)}{\partial r} = \lambda_k \frac{\partial T_k(R_{k-1}, r)}{\partial r} \end{cases} \quad (11)$$

Применим к уравнениям (10) интегральное преобразование Ханкеля [3]

$$\begin{cases} \overline{T_k(\mu_k, \tau)} = \int_{R_k}^{R_{k+1}} r T_k(r, \tau) M_k(\mu_k, r) dr \\ T_k(\mu_k, \tau) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{M_k(\mu_k, r)}{\|M_k\|^2} \cdot \overline{T(\mu_k, \tau)}, \end{cases} \quad (12)$$

где

$$M_k(\mu_k, r) = J_0\left(\frac{\mu_k \cdot r}{R_k}\right) Y_0(\mu_k) - J_0(\mu_k) Y_0\left(\frac{\mu_k \cdot r}{R_k}\right); \quad (13)$$

$m_k > 0$ – корни характеристического уравнения

$$\begin{aligned} J_0(\mu_k) Y_0\left(\frac{\mu \cdot R_{k+1}}{R_k}\right) - Y_0(\mu_k) J_0\left(\frac{\mu_k \cdot R_{k+1}}{R_k}\right) &= 0; \\ \|M_k\|^2 &= \frac{2R_k^2 \left[J_0^2(\mu_k) - J_0^2\left(\frac{\mu_k \cdot R_{k+1}}{R_k}\right) \right]}{\pi^2 \mu_k^2 J_0^2\left(\frac{\mu_k \cdot R_{k+1}}{R_k}\right)}. \end{aligned} \quad (14)$$

Применим интегральное преобразование Ханкеля в конечных пределах к уравнению (10) и переходя к оригиналу, получим

$$\begin{aligned} \overline{T_k(\mu_k, \tau)} &= \int_{R_k}^{R_{k+1}} r \left(\frac{\partial^2 T_k}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_k}{\partial r} \right) M_k(\mu_k, r) dr + \int_{R_k}^{R_{k+1}} r w_k(r, \tau) M_k(\mu_k, r) dr, \\ \overline{T_k(\mu_k, \tau)} &= \frac{2}{\pi} \frac{J_0(\mu_k)}{J_0\left(\frac{\mu_k R_{k+1}}{R_k}\right)} T_k(R_{k+1}, \tau) - \frac{2}{\pi} T_k(R_k, \tau) - \left(\frac{\mu_k}{R_k} \right)^2 \overline{T_k(\mu_k, \tau)} + \overline{w_k(\mu_k, \tau)} \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} T_k(r, \tau) &= \sum_{k=1}^{\infty} \frac{M_k(\mu_k, r)}{\|M_k\|^2} e^{-\left(\frac{\sqrt{a_k} \mu_k}{R_k}\right)^2 \tau} \cdot \int_{R_k}^{R_{k+1}} r [f_k(r) - \psi_k(r, 0)] M_k(\mu_k, r) dr + \\ &+ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{M_k(\mu_k, r)}{\|M_k\|^2} \overline{w_k(\mu_k, \tau)}. \end{aligned} \quad (15)$$

Так как искомое решение $U_k(r, \tau) = T_k(r, \tau) + \psi_k(r, \tau)$, то получим решение исходной задачи для каждого слоя в виде

$$\begin{aligned}
u_k(r, \tau) = & \sum_{k=1}^{\infty} \frac{M_k(\mu_k, r)}{\|M_k\|^2} e^{-\left(\frac{\sqrt{a_k} \mu_k}{R_k}\right)^2 \tau} \cdot \int_{R_k}^{R_{k+1}} r [f_k(r) - \psi_k(r, 0)] M_k(\mu_k, r) dr + \\
& + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{M_k(\mu_k, r)}{\|M_k\|^2} \overline{w_k(\mu_k, \tau)} + \frac{1}{6\lambda_k} A(\tau) (2r - 3R_n) r^2 + \\
& + \frac{\chi_1 g_1(\tau)}{2\lambda_k R_n} (r - 2R_n) r - \frac{\chi_2 g_2(\tau)}{2\lambda_k R_n} r^2 + A_k(\tau).
\end{aligned} \tag{16}$$

Список литературы

1. Козлов В.Н., Акимов И.А. Управление энергетическими системами. Часть 5. Математические модели и разностные задачи теплофизических процессов в многослойных конструкциях с фазовыми переходами / Санкт-Петербург, 2007. – 204 с.
2. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. – М.: 1963. – 534 с.
3. Карташов Э. М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. – М.: Высшая школа, 1985. – 479 с.

05.13.01

И.З. Ахметзянов

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, отделение энергетики и информатизации, кафедра системного анализа и информатики, Набережные Челны, insurzg@gmail.com

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ПРИ УЧЕТЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ

В работе представлены результаты разработки алгоритма для расчета оптимальных законов управления скоростью автомобиля, учитывающего вертикальный макрорельеф дороги. Используется интегральный критерий оптимальности, включающий расход топлива.

Ключевые слова: адаптивный круиз-контроль, динамическое программирование, оптимальное управление.

Введение

Предметом исследований, отраженных в данной работе, является разработка оптимального по интегральному критерию качества алгоритма для вычисления закона изменения скорости движения автомобиля по трассе с известным вертикальным профилем. Алгоритм использует математическую модель движения автомобиля, учитывающую влияние основных сил сопротивления, включая продольный уклон дороги.

Модель движения автомобиля

Рассматривается модель прямолинейного поступательного движения автомобиля по ровной дороге, включающая следующие подсистемы: двигатель, трансмиссия, шасси [1]. В компактной векторной форме модель движения можно записать в виде

$$\frac{dX}{dt} = F_x(X, u, \alpha), \quad (1)$$

где X – вектор состояния, включающий угловую скорость вала двигателя ω_d и продольную скорость автомобиля V ; u – управляющий сигнал, в качестве которого используется степень отклонения педали «газа», выраженная в процентах. Величина u принимается пропорциональной количеству подаваемого в двигатель топлива. Угол продольного уклона дороги α рассматривается как измеряемое возмущение. За выходную величину принимается скорость автомобиля V . Учитываются все основные силы, влияющие на продольное движение. Модель движения автомобиля дополнена контуром регулирования скорости на основе ПИД-регулятора, предназначенным для выдерживания предписанной (опорной) скорости V_{ref} . Опорная скорость изменяется по оптимальному закону, рассчитанному по предлагаемому в работе алгоритму.

Постановка задачи оптимального управления и выбор метода решения

Общая постановка задачи оптимального управления заключается в нахождении закона управления $U(t)$ объектом (1), переводящего объект из начального состояния X_0 в конечное состояние $X_{кон}$, оптимального по интегральному критерию

$$I = \int_{t_0}^{t_{кон}} \sum_{i=1}^n q_i |f_i(X, u, \alpha)| dt, \quad (2)$$

с учетом ограничений:

$$u \in [0, 100], \quad V \in [V_{min}, V_{max}]. \quad (3)$$

В формуле (2) f_i – функции, задающие оптимизируемые показатели качества; q_i – весовые коэффициенты, определяющие значимость каждого показателя; t_0 , $t_{кон}$ – моменты времени, соответствующие начальному и конечному состояниям объекта (1). В качестве критериев

качества в работе приняты: f_1 – функция, учитывающая расход топлива, f_2 – функция, определяющая степень отклонения скорости от опорного значения V_{ref} , f_3 – функция, определяющая быстроту изменения скорости. Значения весовых коэффициентов подбираются эмпирически, возможно, с учетом экспертного опыта.

Решение задачи оптимального управления основано на методе динамического программирования. Этот метод эффективен для дискретных систем, при этом объем вычислений существенно зависит от размерности пространства состояний объекта управления [2]. Поэтому непрерывное уравнение (1) необходимо преобразовать к дискретной форме и уменьшить количество свободно варьируемых параметров состояния объекта.

Постановка задачи динамического программирования

Полагая, что при движении по участку трассы от S_0 до $S_{кон}$ скорость всегда положительна, можно представить все функции времени, входящие в уравнение (1), в виде функций от S , разделив левые и правые части уравнений на V . Тогда уравнение преобразуется к виду

$$\frac{dX}{dS} = \frac{1}{V} F_X(X, u, \alpha). \quad (4)$$

Далее интервал пути $[S_0, S_{кон}]$ разбивается на N подинтервалов $s^{(k)} = S_{k+1} - S_k$, $k = 0, 1, \dots, N-1$. Каждый интервал $s^{(k)}$ дополнительно делится на m_h сегментов с длиной $h_s = s^{(k)} / m_h$ таким образом, чтобы величину h_s можно было использовать в качестве длины шага численного интегрирования. Тогда для каждого сегмента $s^{(k)}$ уравнение (4) можно записать в конечно-разностной форме

$$X_{k+1} = F_k(X_k, u_k, \alpha_k). \quad (5)$$

Управление u_k на каждом интервале $s^{(k)}$ полагаем постоянным, изменяющимся ступенчато только на границах интервалов. Целевую функцию для каждого интервала $s^{(k)}$ запишем на основе соотношения (2) следующим образом:

$$\xi_k(V_k, V_{k+1}, u_k, \alpha_k) = q_1 u_k (\Delta t)_k + q_2 (V_k - V_{ref})^2 + q_3 |V_k - V_{k+1}|,$$

где $(\Delta t)_k$ – время движения на интервале $s^{(k)}$. Функцию ξ_N примем равной нулю. Целевая функция для процесса движения объекта из начального состояния S_0 в конечное состояние S_N примет тогда вид

$$J(V_0, S_0) = \xi_N + \sum_{k=1}^{N-1} \xi_k(V_k, V_{k+1}, u_k, \alpha_k) = \sum_{k=1}^{N-1} \xi_k(V_k, V_{k+1}, u_k, \alpha_k). \quad (6)$$

Задача динамического программирования заключается в нахождении последовательности оптимальных управлений $\{u_k^*\}$ для объекта (5) на каждом интервале пути $s^{(k)}$ при движении из точки S_0 до точки S_N , минимизирующей целевую функцию (6).

Описание алгоритма динамического программирования

В соответствии с принципом оптимальности Беллмана сформировано функциональное уравнение

$$J_k(V_k) = \min_{u_k \in U} \left\{ \xi_k(V_k, V_{k+1}, \omega_{\check{A}k}, u_k, \alpha_k) + J_{k+1}(F_k(V_k, \omega_{\check{A}k}, u_k, \alpha_k)) \right\}, \quad (7)$$

определяющее критерий оптимальности для процесса движения из состояния S_k в состояние S_N . Решение уравнения (7) является основой алгоритма вычисления оптимального закона управления. Для сокращения объема вычислений величина $\omega_{\check{A}}$ исключается из числа варьируемых параметров состояния; ее начальное значение на каждом k -м шаге принимается равным некоторому значению $\omega_{\check{A}k}^{(0)}$.

Вычислительная процедура включает три этапа [3]. На первом этапе для каждого интервала $s^{(k)}$, начиная с $s^{(N-1)}$, определяется интервал скоростей, такой, что для любой скорости $V_k \in [V_{k \min}, V_{k \max}]$ существует управление u_k , удовлетворяющее ограничениям (3), позволяющее достичь некоторой скорости $V_{k+1} \in [V_{k+1 \min}, V_{k+1 \max}]$. Для $k = N-1$ принимается

$V_{k+1 \min} = V_{k+1 \max} = V_{ref}$. Каждый интервал $[V_{k \min}, V_{k \max}]$ дискретизируется с некоторым шагом h_V .

Далее, на *втором* этапе, реализуется обратная процедура поиска управлений, минимизирующих критерий (6), для каждого интервала $s^{(k)}$, начиная с $s^{(N-1)}$. При этом находится оптимальная траектория для каждой скорости $V_{k,j} = V_{k \min} + jh_V$, $j = 0, 1, \dots, \lceil (V_{k \max} - V_{k \min})/h_V \rceil$. Для нахождения управления u_k , обеспечивающего переход из некоторого состояния V_k в некоторое состояние V_{k+1} , выполняется численное интегрирование уравнения (1) с шагом h_s на интервале $[S_k, S_{k+1}]$. Результатом этого этапа является семейство оптимальных законов управления $\{u_k^*(V_{0j})\}$ для каждой возможной начальной скорости V_{0j} .

На *третьем* этапе для начальной скорости $V_0 = V_{ref}$ формируется искомая оптимальная траектория управлений $\{u_k^*(V_{ref})\}$, обеспечивающая минимум функционалу (6) и обеспечивающая перемещение объекта (5) из состояния $V_0 = V(S_0)$ в состояние $V_N = V(S_N)$.

Результаты численного моделирования

Результаты вычисления оптимальных законов управления и численного моделирования демонстрируются на двух участках трассы с типовым профилем: «подъем» (рис. 1, а) и «холм» (рис. 1, б). Начальная и конечная скорости приняты равными 85 км/ч. Моделировалось движение с опорной скоростью, изменяемой по оптимальному закону, и движение с постоянной опорной скоростью. Приведена сравнительная оценка экономии топлива для оптимального режима движения по сравнению с режимом выдерживания постоянной скорости.

Заключение

Представленный в работе алгоритм, основанный на методе динамического программирования, позволяет оптимизировать движение автомобиля по трассе с учетом её вертикального профиля. Движение в оптимальном режиме позволяет добиться сокращения расхода топлива при сохранении, или даже некотором увеличении, средней скорости движения.

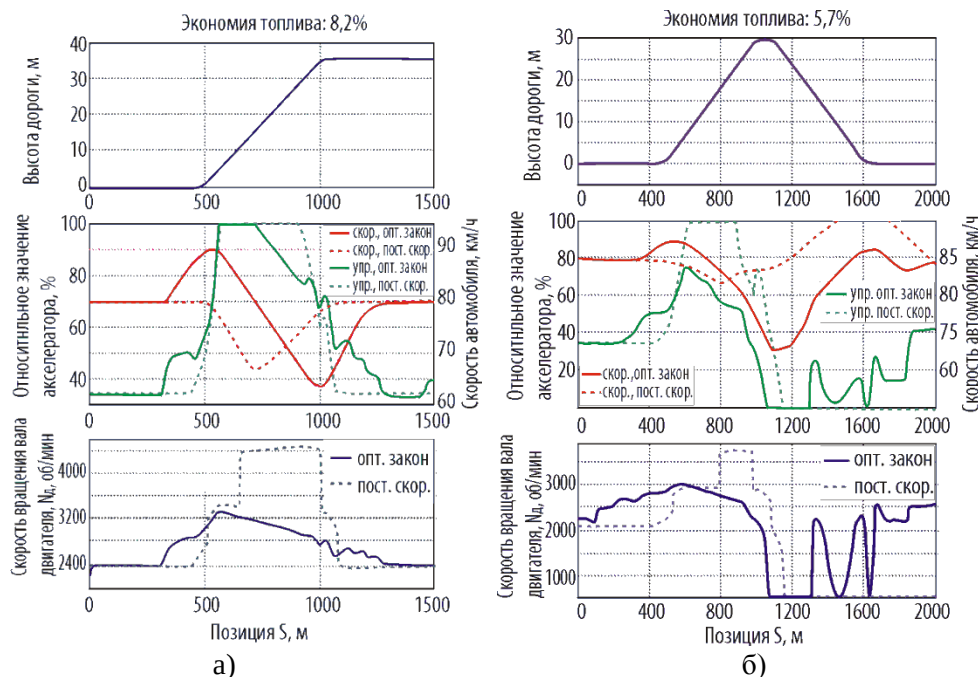


Рис. 1 – Графики параметров движения на участках с типовым профилем

Список литературы

1. Nielsen, L., Kiencke, U. Automotive control systems. Springer, Berlin, 2000.
2. Беллман, Р., Калаба, Р. Динамическое программирование и современная теория управления. М.: Наука, 1969. 120 с.
3. Hellström, E. Explicit use of road topography for model predictive cruise control in heavy trucks. Master's thesis Linköpings Universitet. Linköping, 2005.

05.05.03

¹А.Ю. Барыкин к.т.н., ²Р.Р. Басыров к.т.н., ²М.М. Мухаметдинов к.т.н.

¹НЧИ ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
автомобильное отделение, каф. «Эксплуатация автомобильного транспорта»,
Набережные Челны, alexs-jb@rambler.ru

²НЧИ ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
автомобильное отделение, каф. «Автомобили, автомобильные двигатели и дизайн»,
Набережные Челны, basr@mail.ru, m-mm@rambler.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА САЛОНА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

В работе представлены результаты изучения требований к микроклимату салона автомобиля, его влияние на безопасность движения, разработан алгоритм выбора конструктивных элементов систем обеспечения комфортных условий. Проведена оценка эффективности процесса обогрева стёкол, а также определена эффективность вентиляции и отопления салона легкового автомобиля.

Ключевые слова: *микроклимат, безопасность, автомобиль, эффективность работы, комфортные условия.*

Успех производителей автомобилей в настоящее время определяется конкурентоспособностью продукции, которая закладывается на этапе разработки. Большое внимание уделяется модернизации автомобилей путем разработки и внедрения конструктивных элементов, повышающих надёжность, качество, безопасность и комфортабельность.

Безопасность движения автомобиля зависит от состояния микроклимата в салоне автомобиля, который обеспечивается эффективностью и уровнем автоматизации климатических установок, таких как система отопления, вентиляции и кондиционирования.

В процессе управления автомобилем на водителя воздействует высокое нервно-эмоциональное напряжение, монотонность и переутомление. Очевидно, что на состояние здоровья и работоспособность в системе «человек-автомобиль-дорога» непосредственное влияние оказывают условия труда. Микроклимат – это совокупность её метеорологических условий: температуры воздуха, его влажности и давления, поступления кислорода, а также загазованности салона [1].

Современные требования к микроклимату регламентируют эффективность обогрева ветрового и боковых стёкол, подачу и распределение в салон необходимого количества воздуха, обеспечение полей температур и скоростей потоков воздуха, соответствующих современным требованиям и субъективным ощущениям комфортного пребывания человека в автомобиле [2].

В ходе исследования авторами был разработан алгоритм выбора конструктивных элементов систем вентиляции и отопления, заключающийся в выборе, классификации и систематизации показателей, оценивающих безопасность движения и уровень качества воздушной среды. Для рационального выбора и последовательного расчета конструктивных элементов систем обеспечения комфортных условий (СОКУ) авторами был разработан 3-х ступенчатый алгоритм (рис.1), в котором предварительно принятые показатели новой модели оцениваются на эффективность СОКУ по коэффициенту кратности циркуляции воздуха ($K_{ц}$), проверяются на соответствие ГОСТ Р 50993-96 «Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Требования к эффективности и безопасности», а затем оцениваются по интегральному показателю качества воздушной среды (K_K) [3].

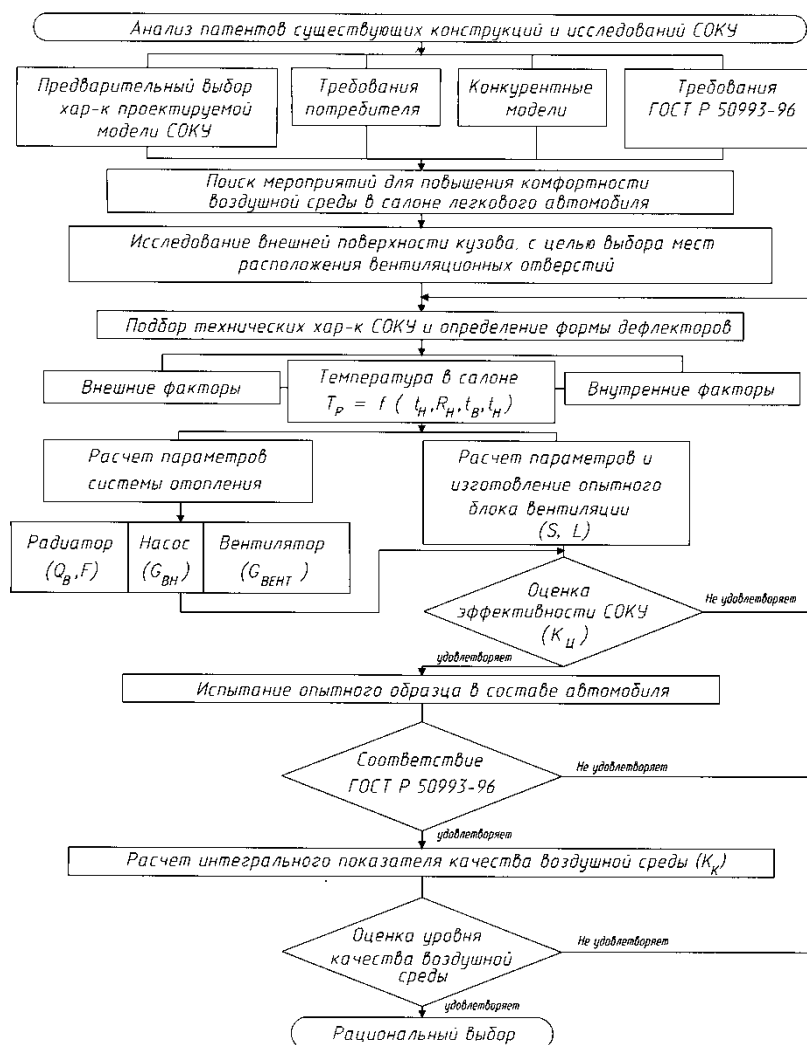


Рис.1 - Алгоритм выбора конструктивных элементов СОКУ

Данный алгоритм позволяет сравнить конструктивные решения и определить влияние параметров микроклимата на эффективность работы всей системы в целом. Пользуясь алгоритмом в процессе подбора скоростей вращения, мощности и производительности вентилятора, геометрических размеров и теплоотдачи радиатора, производительности насоса, была выбрана рациональная конструкция.

Окончательный результат в виде коэффициента кратности циркуляции воздуха, составил от $0,29$ до $0,47\text{м}^{-3}$ при минимальном и максимальном, соответственно, расходе воздуха через систему. Чем больше коэффициент кратности циркуляции, тем выше эффективность системы отопления. Однако у систем отопления большинства отечественных автомобилей он не превышает $0,2-0,3\text{м}^{-3}$.

Для оценки соответствия выше перечисленным требованиям выполнялся расчёт параметров с использованием программных пакетов, базирующихся на методе конечных элементов.

1. Эффективность процесса обогрева ветрового и боковых стёкол. Для выполнения работы была построена расчетная модель воздушного пространства салона, которая создавалась на основе геометрических моделей. В работе производился расчет температур. В ходе оптимизационных работ производился подбор положения и угла наклона дефлекторов относительно стёкол, подбирались необходимые расходы воздуха через них. Для сравнительной оценки эффективности обогрева и вентиляции ветрового и боковых стёкол использовалась степень нагрева их поверхностей.

2. Эффективность вентиляции салона. Для оценки качества вентиляции было предусмотрено два варианта выхода воздуха из салона: через вытяжные отверстия в задних стойках и в нижней части заднего стекла.

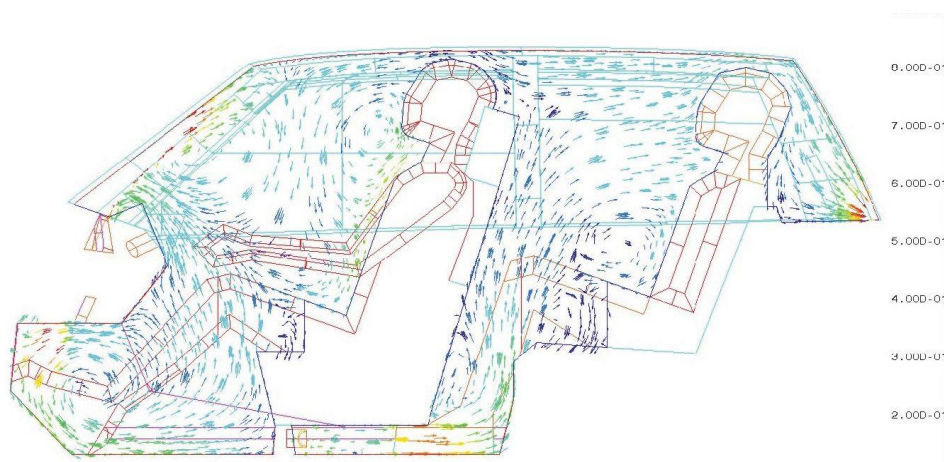


Рис. 2 - Распределение воздушных потоков по салону автомобиля

В ходе исследования были рассчитаны различные варианты подачи наружного воздуха в салон. Среди изменяемых параметров рассматривались: количество и положение дефлекторов, подающих воздух в салон, направление подачи воздуха в салон, расход воздуха через каждый дефлектор. Для сравнительной оценки эффективности вентиляции салона использовались значения скоростей потоков воздуха в зонах головы и пояса водителя (рис.2). Наиболее эффективным местом выхода воздуха из салона, по результатам расчёта, является зона под задним стеклом.

3. Эффективность отопления салона. Для выполнения работы была использована расчётная модель, аналогичная использованной при расчёте вентиляции салона. Для сравнительной оценки эффективности отопления салона использовались значения скоростей и температур потоков воздуха в зонах ног, головы и пояса водителя и заднего пассажира (рис.3).

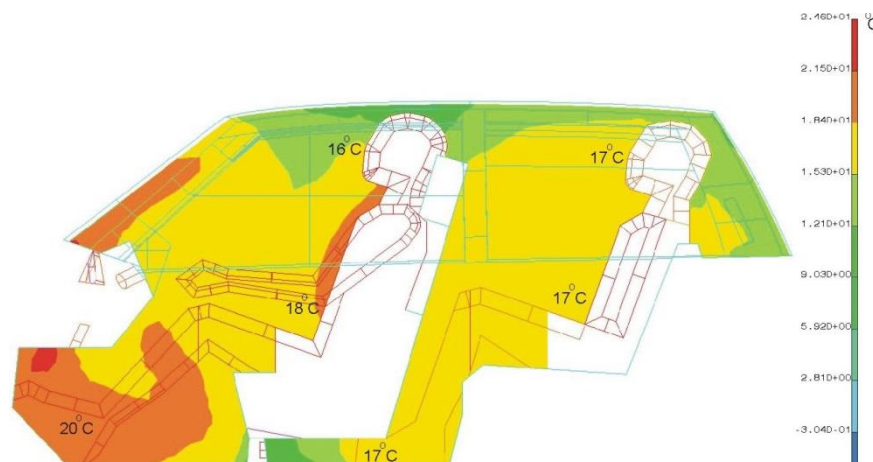


Рис. 3 - Распределение температуры воздушных потоков в салоне автомобиля

Полный набор результатов расчетов и математические модели сохраняются средствами использованного расчетного пакета и могут быть в любое время использованы для дополнения и дальнейшего продолжения работ.

Список литературы

1. Басыров Р.Р. Выбор конструктивных элементов легкового автомобиля особо малого класса по критерию комфортности воздушной среды в салоне: дисс. канд. техн. наук. – Набережные Челны, КамПИ, 2005. – 144 с.
2. Басыров Р.Р., Шайхуллин Э.Ф. Технологии моделирования параметров при проектировании автомобиля // Леса России и хозяйство в них. – 2012. – т. 1, № 42. – С.8-9.
3. Басыров Р.Р. Оптимизация зон распределения температуры воздушного потока по салону легкового автомобиля // В сб. «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовки кадров». Материалы международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ). – Москва: МГТУ «МАМИ», 2010. – С. 51-53.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., Д.С. Денисов

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, buinosov@mail.ru, ds.denisov7@yandex.ru

РАЗРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ЭЛЕКТРОВЗОВ НА ПТОЛ

В статье приведен разработанный микропроцессорный диагностический комплекс ПТОЛ для технического обслуживания электровозов.

Ключевые слова: электровоз, обслуживание, диагностика, комплекс, ПТОЛ, разработка.

Усложнение конструкции современных электровозов может привести к снижению их надежности. Чтобы не допустить этого, приходится увеличивать надежность каждого аппарата, узла, детали, прибегать к их дублированию, защите и т. д. Все это требует увеличения объема контрольных работ при техническом обслуживании (ТО), повышения их качества и эффективности [1].

Исследования показывают, что из общего количества операций ТО более 50 % приходится на контрольные работы, около 30 % – на крепежные, около 15 % – на регулировочные и до 5% – на смазочные операции. В то же время около 25 % времени ТО затрачивается на локализацию дефектной области (выявление неисправного узла или агрегата), около 40 % – на поиск дефекта внутри этой области и только 35 % – на восстановление (ремонт) отказавшего элемента. Поэтому столь актуальна разработка совершенных методов и средств контроля технического состояния деталей, узлов и агрегатов электровозов. Требуется и соответствующая организация технического обслуживания, совмещаемого с контрольно-диагностическими операциями, выполняемыми с помощью специальных средств диагностирования. Диагностирование – особый технологический процесс, заключающийся в определении технического состояния и прогнозировании работоспособности оборудования по диагностическим параметрам этого оборудования. Диагностическими параметрами могут быть потребляемый ток, электрическое сопротивление, тепловой режим, вибрация и шумовой эффект, степень герметичности, наличие примесей продуктов износа трущихся деталей в смазочных маслах и т. д. [2].

Все большее значение придается встроенным средствам диагностирования, способствующим безопасной эксплуатации электровоза. На базе микропроцессорной техники создан ряд диагностирующих встроенных приборов, обеспечивающих непрерывный контроль технического состояния агрегатов локомотивов в эксплуатации и возможность его прогнозирования [3].

Предполагается, что ПТОЛ, в первую очередь, должны быть оборудованы автоматическими диагностическими комплексами для сбора, анализа информации и выработки обоснованных решений по оптимальному техническому обслуживанию поступившего электровоза. Переход к электронному виду паспортов электровозов и журналов осмотра электровозов поспособствует более быстрому доступу к необходимой информации.

В настоящее время все грузонапряженные участки оборудованы устройствами для контроля греющихся букс и комплексами технических средств диагностики подвижного состава (КТСМ) на ходу поезда. Поэтому первичная диагностическая информация о состоянии колесных пар электровозов может поступать на ПТОЛ еще на походе к станции или при движении по тракционным путям [4].

Важнейшим источником информации о состоянии оборудования является встроенная система диагностирования, способная накапливать и передавать по линиям радиосвязи

данные о локомотиве в депо. В порядке модернизации и на новых электровозах следует иметь устройства для контроля нагрева обмоток тяговых двигателей [5], роликовых и моторно-осевых подшипников.

Предполагается внедрять на всех ПТОЛ автоматические приборы для замера параметров колесных пар (разработка УрГУПС). Эти устройства имеют встроенную оперативную память и возможность передачи этих данных в центр сбора информации [3].

Для обеспечения надежного токосяема (особенно в зимнее время), в депо должны проверяться характеристики токоприемников, хотя это и достаточно трудоемкая работа. В ОмГУПС разработано, испытано и внедрено автоматическое устройство для контроля токоприемников электрических локомотивов. Для контроля расхода воздуха и чистоты снегозащитных фильтров в Уральском отделении НИИЖТ предложен метод измерения статического напора в воздухозаборном устройстве. Через отверстие в стенке воздухозабора вводится измерительный зонд, подключаемый к микропроцессорному устройству; последний определяет статический напор вентилирующего воздуха, выводит результаты замера и выдает практические рекомендации.

При ТО-2 диагностирование электрической аппаратуры и электрических машин производится с учетом записи в журнале технического состояния локомотива ТУ-152 результатов визуальной проверки. Для ускорения этого процесса предлагается при текущих ремонтах на наиболее ответственные части силового электрического оборудования наносить термоиндикаторы плавления (с превышающей на несколько градусов допустимую температуру). Изменение цвета свидетельствует о неисправном режиме работы элемента оборудования в эксплуатации. В Уральском отделении НИИЖТ проведены исследования; в результате разработана таблица применения термоиндикаторов плавления для электрических аппаратов, вспомогательных машин и тяговых двигателей.

В настоящее время целесообразно использовать термоиндикаторы плавления для оперативного контроля состояния электрооборудования при проведении ТО-2 (не исключая использование в спорных случаях многоцелевого диагностического устройства «Доктор 030 (060)» Омского научно-исследовательский институт технологии, контроля и диагностики железнодорожного транспорта [6].

Для надежной работы электровозов на линии крайне важны выходные испытания электровоза после проведения ремонтных операций. Правилами ремонта и техническими указаниями предусмотрена проверка электровоза под контактным проводом на стоянке из каждой кабины управления. Однако такие проверки не гарантируют работоспособности электровоза на всех соединениях тяговых двигателей в тяговом и рекуперативном режимах. Для этого требуются тракционные пути длиной не менее 350–400 м, которые в большинстве ПТОЛ отсутствуют. А строить такие пути невозможно из-за отсутствия земельных участков, стоимость которых в городах соизмерима со стоимостью сооружения катковых станций для испытания электровозов в движении на всех без исключения соединениях.

Накоплен определенный опыт применения катковых стендов для испытания локомотивов при выдаче из ремонтов. Катковый стенд для испытания маневровых тепловозов по методу взаимной нагрузки разработан на основе типовых узлов локомотива (разработка МИИТ, испытан в депо Лихоборы Московской железной дороги, 1998 г.).

Для ускорения испытания электровозов после ремонта ученые УрГУПС изготовили образец катковой испытательной станции электровозов с использованием в качестве катков и нагрузочных машин серийных колесно-моторных блоков. На катковой станции можно за 5–10 минут в автоматическом режиме проверить работу всего электровозного оборудования под номинальной нагрузкой; тяговых электродвигателей на всех соединениях в режиме тяги и рекуперации; силовой и низковольтной электрической аппаратуры [7].

На рис. 1 представлен единый технический комплекс ПТОЛ и его диагностических устройств с микропроцессорами отдельных диагностических подсистем (МП). Основа схемы – разработанная НИИЖТ система управления технологическим процессом в депо на основе автоматизированных рабочих мест.

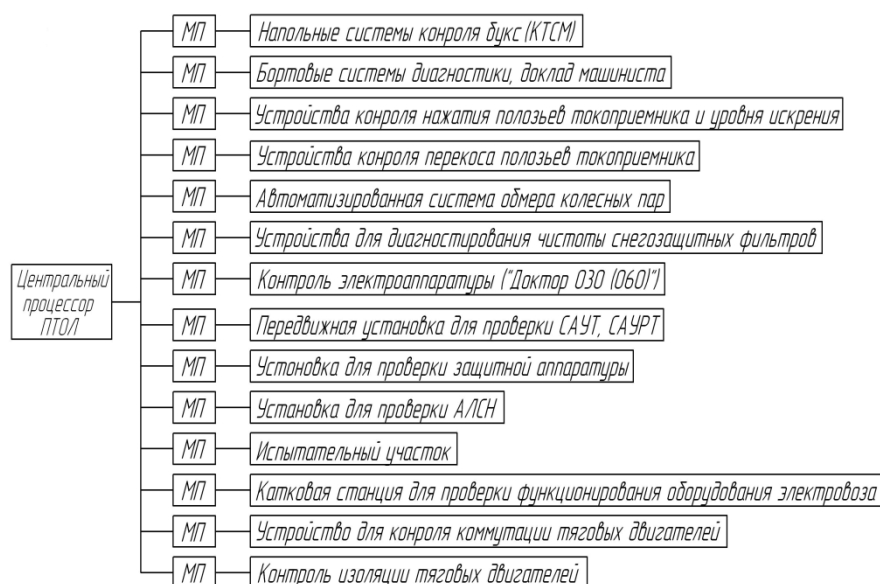


Рис. 1. Микропроцессорный диагностический комплекс ПТОЛ

Обработанная информация с отдельных диагностических систем объединяется в центральном процессоре ПТОЛ. На ее основе формируется решение по оптимальному варианту проведения технического обслуживания [8].

Нагревание букс колесных пар и ползуны на поверхности катания колес контролируются перед сортировочными станциями устройствами КТСМ (разработчик ЗАО «НПЦ – ИНФОТЭКС», г. Екатеринбург). По каналам связи информация передается в центр сбора и обработки данных в ПТОЛ. При наличии встроенных систем диагностирования информация должна передаваться по каналам радиосвязи. Однако в переходный период информацию о техническом состоянии локомотива может передавать локомотивная бригада, используя радио- или сотовую связь.

Для диагностирования состояния приборов безопасности вдоль каналов ПТОЛ должны быть уложены специальные шлейфы и другие вспомогательные устройства. Окончательная проверка электровоза производится на катковой станции.

Список литературы

1. Наговицын В.С., Буйносов А.П. Разработка алгоритма поиска критических узлов железнодорожного подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 4. С. 153-156.
2. Наговицын В.С., Буйносов А.П. Структурная классификация технических средств диагностики тягового подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 326–329.
3. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Журнал Сибирского Федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2013. Т. 6. № 2. С. 211-220.
4. Миронов А.А., Тагиров А.Ф. Применение комплектов КТСМ в современных условиях // Автоматика, связь, информатика. 2002. №9. С. 5-9.
5. Сулейманов Р.Я., Дурандин М.Г., Гимаев С.Р. Повышение коммутационной устойчивости тяговых электродвигателей постоянного тока // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2012. № 4. С. 39-45.
6. Головаш А.Н., Куршакова Н.Б. Научная школа «Эксплуатационная надежность подвижного состава» // Железнодорожный транспорт. 2012. № 12. С. 50-52.
7. Буйносов А.П., Наговицын В.С. Диагностика низковольтных цепей электровоза // Железнодорожный транспорт. 1996. № 9. С. 36-38.
8. Виноградов Ю.Н., Цихалевский И.С., Худояров Д.Л. Совершенствование пунктов технического обслуживания локомотивов // Железнодорожный транспорт. 2007. № 4. С. 59-61.

05.22.07

А.П. Буйнов д.т.н., А.М. Кислицын

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

КОМПЛЕКСНАЯ МНОГОУРОВНЕВАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ

В статье рассмотрены принципы функционирования разработанной многоуровневой комплексной измерительной системы для контроля параметров колесных пар при движении локомотива, приведено структурное описание разработки и элементов, интегрируемых в ее состав.

Ключевые слова: *локомотив, колесная пара, измерительная система, параметры, контроль.*

Статистический анализ причин изнашивания бандажей электровозов 2ЭС6 и 2ЭС10 в сервисном локомотивном депо Свердловск показывает, что причинами проведения технического обслуживания ТО-4: износ гребня по толщине, разница диаметров, ползуны (выбоины), ослабление посадки, вертикальный подрез гребня и др. [1].

Как видно из рис. 1 причиной постановки электровоза на обточку бандажей колесных пар без выкатки их из-под локомотива, является не предельный прокат бандажа (7 мм), как это было в 70-е годы прошлого века, а предельный износ гребня (44 %). Как следствие этого – снижение срока службы бандажа, ввиду повышенного технологического износа, что влечет за собой повышенные затраты на ремонт. Ухудшает положение и то, что не каждое ремонтное локомотивное депо имеет в своем распоряжении колесный цех для проведения работ по смене бандажей колесных пар [2].

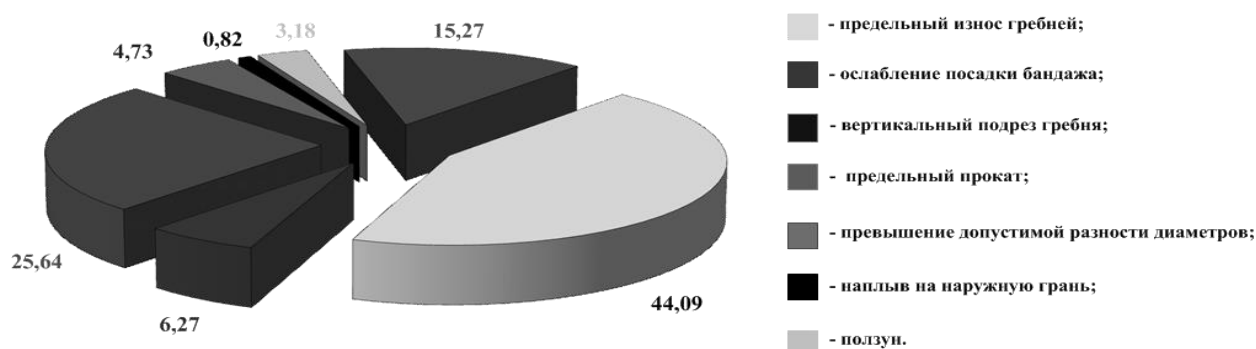


Рис. 1. Распределение обточек бандажей по причинам в 2014 г. в сервисном локомотивном депо Свердловск

В рамках комплексной автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом в Уральском государственном университете путей сообщения (УрГУПС) на кафедре «Электрическая тяга» разработана комплексная многоуровневая измерительная система для контроля параметров колесных пар локомотивов, которая имеет иерархическую структуру, содержащую три уровня (рис. 2).

Первый уровень структуры включает подсистему контроля параметров колесных пар, выполняющую непрерывное автоматическое измерение параметров при движении локомотива [3] и ручное измерение параметров колесных пар [2, 4] при техническом обслуживании (ТО) и ремонте. Контроль параметров колесных пар выполняется с помощью двух автоматических систем – обмера колесных пар (АСОК-Л) и обнаружения трещин и дефектов на поверхности катания колесных пар (АСОД-Л). Ручное измерение контролируемых параметров колесных пар проводится с помощью комплексного

электронного переносного измерителя параметров колесных пар (КИП), электронного переносного измерителя диаметров колесных пар (ИД), шаблонов и дефектоскопов. Системы автоматического и ручного измерения параметров колесных пар имеют метрологическое обеспечение. Выходная информация поступает на программный комплекс контроля нормативных параметров колесных пар и ведения электронных паспортов [5]. Информация результатов ручного измерения вводится в программный комплекс через устройства автоматического и ручного ввода данных. В программный комплекс заранее вводятся нормативные показатели [6].

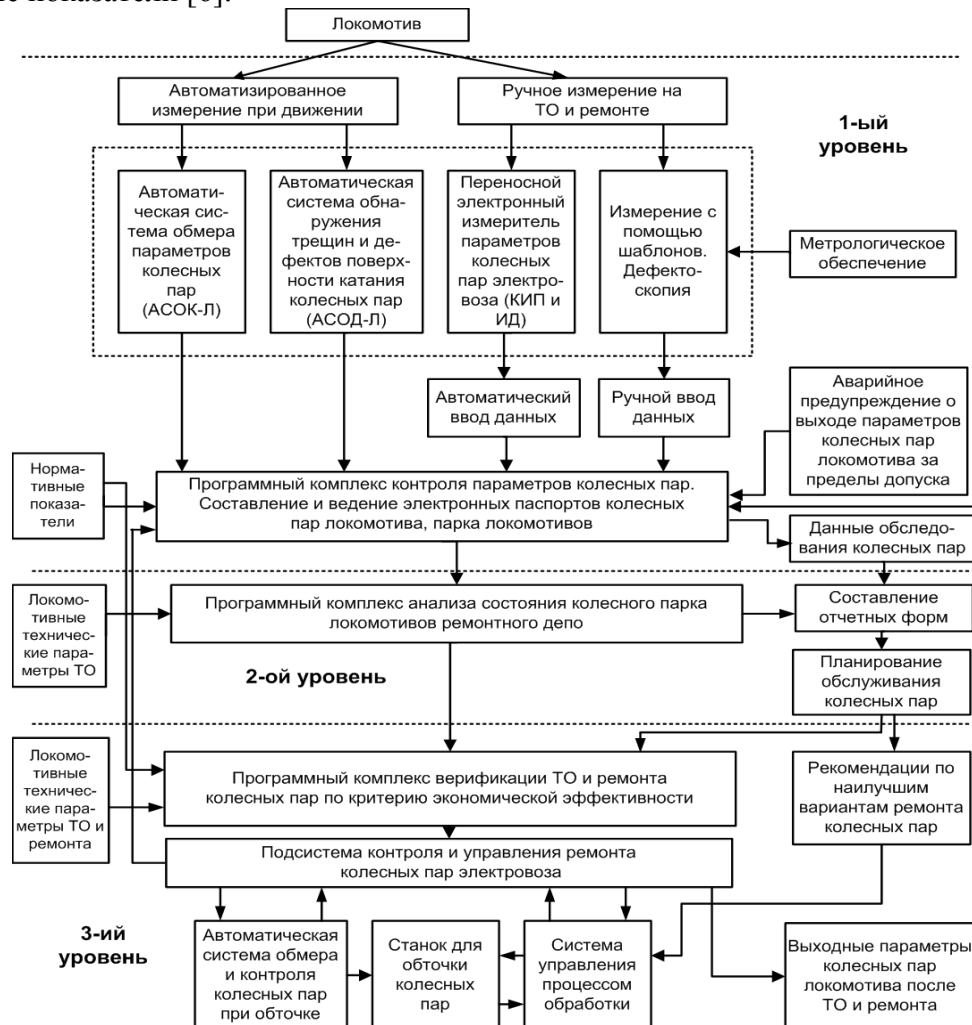


Рис. 2. Структура комплексной многоуровневой измерительной системы для контроля параметров колесных пар локомотивов

Второй уровень структуры содержит автоматизированное рабочее место, которое включает программный комплекс [5] анализа состояния колесного парка локомотивов ремонтного депо, в которой вводятся нормативные технические параметры элементов колесных пар. Программный комплекс также формирует базу данных [3] для передачи на следующий уровень структуры комплексной системы, выдает информацию для составления отчетных форм и через подсистему планирования ТО и ремонта колесных пар формирует соответствующие данные.

Третий уровень структуры – технологический комплекс наилучшего варианта обточки колесных пар [1]. Он состоит из: программного комплекса для оптимизации технического обслуживания и технологии ремонта колесных пар по критерию экономической эффективности; автоматической системы измерения и контроля колесных пар при обточке; станка для обточки колесных пар; системы управления процессом обработки колесной пары.

Автоматическая система обмера колесных пар локомотивов (АСОК-Л) представляет собой многоканальную ультразвуковую локационную систему с использованием неконтактных датчиков [4]. Работа всех измерительных каналов синхронизирована во

времени. Движущаяся колесная пара облучается ультразвуковыми импульсами одновременно с нескольких направлений. Отраженные от бандажа сигналы принимаются, подвергаются оцифровке и вводятся в ПЭВМ.

Исходя из особенностей трехмерных геометрических построений, текущие дальности в измерительных каналах выражаются через геометрические параметры, а не наоборот [6]:

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

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

Строгое решение уравнения (1) в общем виде представляется довольно сложным, поэтому при вычислении искомых параметров колесной пары используется упрощенный метод решения, суть которого заключается в следующем: 1) вводится начальное приближение для всех параметров колесной пары, а именно, считается, что параметры конкретной колесной пары соответствуют параметрам идеальной колесной пары. Под идеальной колесной парой понимается такая колесная пара, профиль бандажа которой полностью соответствует ГОСТ 11018–2011, а диаметр по кругу катания и межбандажное расстояние имеют средние значения из допускаемого ГОСТом диапазона; 2) проводится пробное моделирование изменения дальностей в измерительных каналах при текущем состоянии набора параметров колесной пары, с варьированием значения оцениваемого параметра в пределах возможного диапазона его значений; 3) по рассчитанным дальностям, соответствующим текущему значению варьируемого параметра, вычисляется соответствующее значение критерия, используемого для оценки данного параметра. Таким образом табулируется зависимость конкретного параметра от критерия при текущем состоянии остальных параметров; 4) вычисляются коэффициенты полинома, аппроксимирующего зависимость контролируемого параметра колесной пары от критерия; 5) вычисляется критерий для измеренных дальностей; 6) с использованием аппроксимирующего полинома, вычисляется значение оцениваемого параметра. Результат заносится в выходной массив; 7) пп. 2–6 по очереди выполняются для каждого вычисляемого параметра, при этом последовательно уточняется геометрия колесной пары (значения параметров идеальной колесной пары постепенно замещаются рассчитанными значениями, соответствующими конкретной колесной паре).

Очередность вычисления параметров выбрана таким образом, чтобы первыми вычислялись параметры, у которых критерий наименее подвержен влиянию мешающих факторов. Параметры вычисляются в следующем порядке: межбандажное расстояние; поперечное смещение; скорость движения колесной пары; перекося колесной пары относительно оси пути; прокат; диаметр по кругу катания; текущие координаты установленных датчиков.

Кроме того, составляющей частью комплексной измерительной системы является «Автоматическая система обнаружения трещин и дефектов поверхности катания колесных пар (АСОД-Л)». Добавление этой составляющей системы обусловлено тем, что совершенно новым явлением эксплуатационной практики на повышенных скоростях движения железнодорожного транспорта (скоростные поезда Сапсан) оказалось не монотонное изменение геометрических параметров колесных пар, а выкрашивание из рабочих поверхностей бандажей колесных пар компактных групп зерен сплава с образованием коверн.

Список литературы

1. Горский А.В., Наговицын В.С. и др. Экономичная обточка бандажей // Локомотив. 1992. №4. С. 26-27.
2. Калмыков А.А., Наговицын В.С. и др. Бесконтактное измерение бандажей // Железнодорожный транспорт. 1995. № 11. С. 34-36.
3. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Методы автоматизированного измерения параметров колесных пар при движении электровоза // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. №6. С. 174-177.
4. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Измерительная система для контроля параметров колесных пар локомотивов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2013. № 11. С.44-51.
5. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Комплексная информационно-измерительная система технического обслуживания и ремонта колесных пар электровозов в депо // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 3. С. 103-106.
6. Калязин В.П. Технические средства диагностирования. Л.: Судостроение, 1984. 208 с.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., И.О. Шепелева

Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, shepeleva-ira_91@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ БАНДАЖЕЙ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ

В статье приведены результаты моделирования упрочнения стали бандажей при термообработке колесных пар электровозов с использованием неподвижного импульсного или быстро движущегося сканирующего теплового источника, создающего равномерное температурное поле.

Ключевые слова: *электровоз, колесная пара, бандаж, упрочнение, нагрев, тепло, моделирование.*

Создание математической модели процесса нагрева материала тепловым источником, энергия которого распределена на большой площади (например, за счет сканирования), позволит снизить затраты на проведение экспериментов и разработку соответствующей технологии [1].

Концентрированные источники имеют нормальное распределение энергии, которое с целью упрощения расчета можно привести к равномерному распределению [2]. В работе [3] для описания упрочнения сталей при импульсной термообработке предложено решение одномерной задачи теплопроводности, полученное для процесса нагрева и охлаждения полупространства под воздействием одиночного теплового импульса прямоугольной формы.

Для расчета температурных полей можно воспользоваться известным решением для мгновенного плоского источника теплоты при нагреве полубесконечного тела [2]:

$$T = \frac{Q}{c\gamma \cdot \sqrt{a\pi t}} \cdot e^{-\frac{z^2}{4at}}, \quad (1)$$

где T – температура тела; Q – плотность энергии; c – удельная теплоемкость; γ – плотность стали; a – коэффициент температуропроводности; t – время процесса распространения тепла; z – глубина от поверхности.

Из [4] известно, что если $V \cdot \delta / 4 \cdot a > 2$ (V – скорость движения источника тепла; δ – толщина пластины), то пластину можно рассматривать как полубесконечное тело. При упрочнении гребней бандажей колесных пар локомотивов плазменной дугой с поперечными электромагнитными колебаниями ($K = 1,4$ см/с; $\delta = 2,8$ см; $a = 0,08$ см²/с [5]) это условие выполняется ($K \cdot \delta / 4 \cdot a = 12,25$), поэтому можно использовать решение (1). Это же решение можно применять и для более глубоких слоев, так как толщина упрочненного слоя (2 мм) мала по сравнению с толщиной гребня (28 мм).

Высокая скорость источника нагрева (1–2 см/с), значительно превышающая обычные скорости сварки, позволяет применить схему быстро движущегося источника [2].

Как показывает эксперимент [1], при частоте электромагнитных колебаний 50 Гц температурное поле является стационарным и не зависит от частоты, а тепловой поток можно принять постоянным и равномерно распределенным по всей ширине обрабатываемого участка. Так как при нагреве массивного тела потери тепла в окружающую среду составляют около 1 % [6], то ими можно пренебречь.

Обозначим тепловой поток как $q = \eta \cdot N / S$, а время действия теплового источника как t_0 , где η – коэффициент полезного действия источника; N – мощность источника; S – нагреваемая площадь.

Для плазменной дуги с электромагнитными колебаниями, движущейся со скоростью V , N

$= U \cdot I$, (U – напряжение, I – ток дуги), $S = b \cdot d$ (b – ширина колебаний дуги, d – эффективный диаметр дуги, $t_0 = d/V$).

Во время действия источника нагрева, обеспечивающего тепловой поток q , в момент времени t за период dt' выделится энергия $dQ = q \cdot dt'$ (рис. 1). Подставив dQ в (1), получим выражение для приращения температуры

$$dT = \frac{q \cdot dt'}{c\gamma\sqrt{\pi a} \cdot (t-t')} e^{-\frac{z^2}{4a(t-t')}},$$

или

$$T - T_0 = \frac{q}{c\gamma\sqrt{\pi a}} \int_0^B \frac{dt'}{\sqrt{t-t'}} \cdot e^{-\frac{z^2}{4a(t-t')}}, \quad (2)$$

где $B = t$ при $t < t_0$ и $B = t_0$ при $t \geq t_0$; T_0 – исходная температура или температура предварительного подогрева; t' – время от начала нагрева.

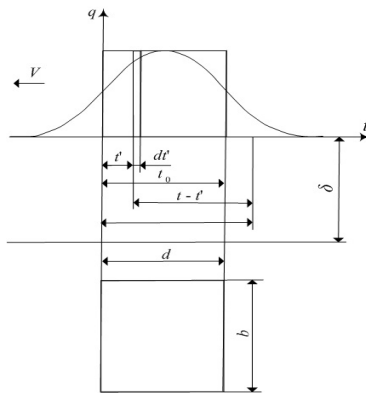


Рис. 1. Схема нагрева нормально распределенным источником, приведенным к равномерно распределенному

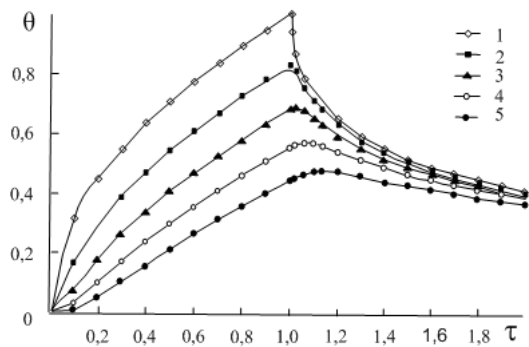


Рис. 2. Зависимость относительной температуры θ от относительного времени τ

Очевидно, что максимальная температура достигается на поверхности ($z = 0$) в момент окончания действия источника $t = t_0$. Ее легко получить, интегрируя (2):

$$T_m - T_0 = \frac{2q}{c\gamma} \cdot \sqrt{\frac{t_0}{\pi a}}. \quad (3)$$

Для упрощения введем безразмерные параметры: время $\tau = t/t_0$; время действия источника $\tau' = t'/t_0$; глубина $Z = z/(4 \cdot a \cdot t_0)^{1/2}$; температура $\theta = (T - T_0)/(T_m - T_0)$. Выражение (2) примет вид:

$$\theta = \frac{1}{2} \int_0^B \frac{d\tau'}{\sqrt{\tau - \tau'}} \cdot e^{-\frac{Z^2}{\tau - \tau'}}, \quad (4)$$

где $B = \tau$ при $\tau < 1$ и $B = 1$ при $\tau \geq 1$.

Для поверхности $Z = 0$ интеграл (4) выражается в конечном виде:

$$\theta = \sqrt{\tau} - \sqrt{\tau - 1} \quad (5)$$

и

$$\theta = \sqrt{\tau} \quad \text{для } \tau < 1. \quad (6)$$

Выражения (4), (5) и (6) имеют одинаковый вид как для неподвижного импульсного, так и для непрерывного быстро движущегося источников.

Результаты расчетов по уравнениям (4), (5) и (6) представлены на рис. 2. Необходимо отметить, что для быстро движущегося источника время удобнее отсчитывать не с начала действия источника, а с его конца, когда температура на поверхности максимальна. Изменение координаты времени не повлияет на вычисления, поскольку все вычисления производятся на кривой охлаждения. В новой системе координат выражения (4) и (5) примут

вид:

$$\theta = \frac{1}{2} \int_0^1 \frac{dt'}{\sqrt{\tau + \tau'}} \cdot e^{-\frac{Z^2}{\tau + \tau'}}, \quad (7)$$

– для точек на глубине, и

$$\theta = \sqrt{\tau + 1} - \sqrt{\tau}, \quad \tau = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{\theta} - \theta \right)^2 \quad (8)$$

– для точек на поверхности.

Для определения времени в старой системе координат нужно к вычисленному времени прибавить единицу. Для процессов упрочнения большое значение имеет время нахождения металла в аустенитном состоянии t_a [7], которое для точек на поверхности можно вычислить как

$$\tau_a = \frac{t_a}{t_0} = \frac{1}{4} \cdot \left(2 + \frac{1}{\theta_a^2} - 3 \cdot \theta_a^2 \right), \quad (9)$$

где $\theta = (T_a - T_0)/(T_m - T_0)$, T_a – температура аустенитного превращения.

Как видно из выражений (8) и (9), рассчитать процесс нагрева поверхности при равномерно распределенном источнике не представляет никаких затруднений. Для подповерхностных слоев расчеты с использованием (8) возможны численными методами на ПЭВМ. Для вычисления времени τ_m , необходимого для достижения максимальной температуры θ_m на глубине Z , необходимо производную $d\theta/d\tau$ приравнять нулю. В результате получается итерационное уравнение

$$\tau_m = 2 \cdot Z^2 - \frac{\int_0^1 \frac{\tau' d\tau'}{\sqrt{(\tau_m + \tau')^5}} \cdot e^{-\frac{Z^2}{\tau_m + \tau'}}}{\int_0^1 \frac{d\tau'}{\sqrt{(\tau_m + \tau')^5}} \cdot e^{-\frac{Z^2}{\tau_m + \tau'}}}. \quad (10)$$

После подстановки τ_m в (7) возможно определить θ_m .

Безразмерный параметр глубины упрочнения Z может быть ограничен значением 0,4. В работах [3, 7] для стали 45 и для стали бандажей колесных пар ограничивали глубину упрочнения изотермой 850 °С (температура аустенизации), однако в [8] в результате экспериментальных исследований процесса плазменного упрочнения было показано, что для среднеуглеродистых сталей эта температура должна быть не ниже 950 °С. В этом случае при $T_0 = 0$ $\theta_a = \theta_m = 950/T_m$. Уменьшение температуры нагрева поверхности с 1500 до 1000 °С приводит к резкому снижению глубины прогрева в 10 раз, поэтому поддержание заданной температуры поверхности является важнейшим фактором качественного упрочнения.

Таким образом, видно, что упрочнение сталей при термообработки с использованием равномерно распределенных источников нагрева определяется, в основном, двумя параметрами: максимальной температурой T_m и временем нагрева t_0 поверхности, которые в процессе термообработки должны строго контролироваться. Так как $t_0 = d/V$, то для этого необходимо поддерживать неизменными параметры, влияющие на эффективный диаметр источника нагрева d (ток и напряжение дуги), а также постоянную скорость перемещения источника V . Значение d для расчетов необходимо определять экспериментально [1, 9] или, если это невозможно, вычислять из комплекса ad , подбирая значение a .

Список литературы

1. Буйносов А.П., Шепелева И.О. Сравнение результатов полученных на модели теплового процесса упрочнения стали бандажей колесных пар электровозов с экспериментами // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 6. С. 91-93.
2. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М.: Машгиз, 1951. 296 с.
3. Лыков А.М., Почаев В.Т., Редькин Ю.Г., Куминов В.С. Плазменное термоупрочнение сталей // Физика и химия обработки материалов. 1997. № 3. С. 27-32.
4. Шоршоров М.Х., Бараиков А.С. К оценке эффективного радиуса подвижного нормально-кругового источника на поверхности плоского слоя по ширине зоны проплавления // Сварочное производство. 1990. № 2. С. 40-42.
5. Кузьмина Г.Д. Дилатометрические характеристики и диаграммы анизотермического распада аустенита колесной стали марки 2 // Сварочное производство. 1997. № 12. С. 3-5.
6. Буйносов А.П., Шепелева И.О. Влияние электрического торможения на износ бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 127-129.
7. Коротков В.А., Трошин О.В., Бердников А.А. Плазменная закалка сканируемой дугой без оплавления поверхности // Физика и химия обработки материалов. 1995. № 2. С. 101-106.
8. Домбровский Ю.М. Кинетика нагрева стали сканируемой воздушно-плазменной дугой // Сварочное производство. 1998. № 11. С. 15-18.
9. Буйносов А.П., Шепелева И.О. Модель теплового процесса упрочнения стали бандажей колесных пар электровозов при нагреве равномерно распределенными источниками // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2014. № 4. С. 150-157.

05.13.01

Т.В. Гаибова к.т.н., Н.А. Шумилина

Оренбургский государственный университет, факультет информационных технологий,
кафедра системного анализа и управления, Оренбург, gaibovasau@mail.ru

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТНЫМ РИСКОМ ОТКАЗА ОБОРУДОВАНИЯ

Представлены результаты формализации задачи управления риском отказа оборудования в рамках жизненного цикла проекта. Предложен механизм снижения риска, объединяющий процедуру выбора стратегии технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) оборудования, используемого в проекте и процедуру самострахования. Разработана структура программной системы управления проектным риском отказа оборудования.

Ключевые слова: *проектный риск, отказ оборудования, резервный фонд.*

Количественное обоснование проектных решений объектов производства должно выполняться с обязательным учетом риска отказа оборудования [1].

Теория надежности, изучающая закономерности распределения отказов технических устройств, причины и модели их возникновения, располагает на сегодняшний день широким арсеналом методов и средств обеспечения стабильной работы производственного объекта, но их использование для задач управления риском отказа оборудования на современном этапе развития экономики, когда наиболее эффективным способом организации производства признано проектное управление, требует адаптации. Эта адаптация заключается в добавлении условий проектно-ориентированности к существующим моделям управления отказами технических объектов и применения подходов к снижению риска, выработанных современной теорией управления проектами.

Целью исследования является разработка технологии управления риском отказа производственного оборудования в проектном цикле. Новизна предлагаемой технологии основана на:

- 1) проектной ориентированности рассматриваемой задачи – ее постановка выполнена в соответствии с целями, критериями и ограничениями (временными, финансовыми) проекта, в котором это оборудование используется;
- 2) использовании механизма согласования стратегии ТО и Р производственного оборудования в рамках жизненного цикла проекта и стратегии самострахования (создания резервного фонда) для снижения производственного риска проекта и достижения целей проекта с учетом наложенных ограничений.

В настоящей статье представлены результаты формализации рассматриваемой задачи.

Концептуальная модель задачи

В основу формализации задачи управления проектным риском отказа оборудования положены следующие допущения.

В проекте один основной технологический процесс, реализующий все стадии переработки сырья и выпуска готовой продукции с использованием N групп основного производственного оборудования, выделенных по функциональному признаку. Тогда уровень проектного риска отказа оборудования $R_{отк}(t)$ на t -ом шаге реализации проекта рассчитывается следующим образом:

$$R_{отк}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M R_{ij}(t),$$

где $R_{ij}(t)$ - уровень риска отказа j -го элемента i -й группы оборудования, используемого в проекте на t -ом шаге реализации проекта; M – количество элементов в группе оборудования.

Горизонт планирования проекта T , $0 \leq t \leq T$, в соответствии с методиками инвестиционного проектирования может определяться не только величиной среднего нормативного срока службы основного технологического оборудования, но и продолжительностью эксплуатации объекта, достижением заданных характеристик прибыли, требованиями инвестора. Таким образом, в общем случае, стадии жизненного цикла рассматриваемого проекта и жизненного цикла используемого оборудования могут не совпадать.

Так как для реализации проекта требуется N видов оборудования, а техническое состояние и, как следствие, интенсивность отказов и остаточный ресурс элементов групп оборудования напрямую зависит от стадии эксплуатации оборудования и его загрузки, требуется создание специального инструментария количественной оценки риска отказа оборудования в проекте и степени его возможного влияния на проект, а также процедур снижения риска с обязательным учетом эффективности всего процесса реализации проекта.

Системное представление задачи управления риском отказа оборудования в рамках жизненного цикла проекта изображено на рисунке 1.

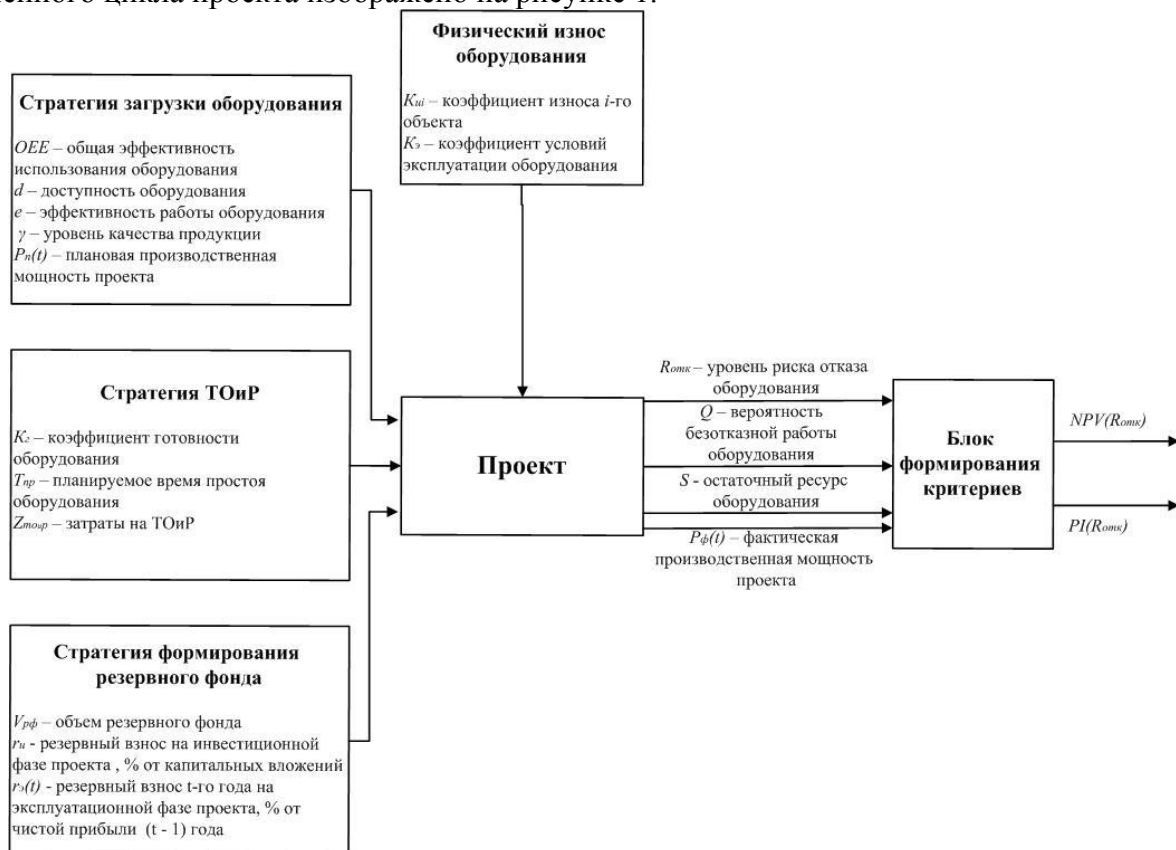


Рис.1 – Системное представление задачи управления проектным риском отказа оборудования

Выделены три группы управляющих параметров, характеризующих стратегию загрузки оборудования S_z , стратегию проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту $S_{ТОиР}$ и стратегию формирования резервного фонда $S_{рф}$.

Стратегия загрузки оборудования характеризуется плановой производственной мощностью проекта $P_n(t)$ и параметром $OEE = d * e * \gamma$, показывающим общую эффективность использования оборудования с учетом простоев оборудования d и потерь производительности e и качества производимой продукции γ .

Диапазон возможных значений управляющих параметров сформирован с обязательным учетом требований реализации проекта:

$$P_{n \min}(t) \leq P_n(t) \leq \min\{P_{n \max}(t); P_{n \text{рын}}(t)\},$$

где $P_{n \max}(t)$ - максимальная паспортная производительность оборудования; $P_{n \text{рын}}(t)$ - прогнозируемый объем рыночной ниши (целевой сегмент), на который ориентируется проект. Таким образом, $S_3 = \langle P_n(t), OEE, d, e, \gamma \rangle$.

В предлагаемой постановке выбор стратегии технического обслуживания и ремонта подразумевает определение объема работ и соответствующих расходов на поддержание работоспособности оборудования с обязательным учетом не только его текущего состояния, но и влияния решений по ТО и Р на коммерческую эффективность проекта путем пошаговой проверки рассогласований между планируемым и фактическим объемом затрат на ТО и Р, планируемой и фактической производственной мощностью проекта. Стратегия ТО и Р характеризуется коэффициентом готовности K_z оборудования, величиной планируемого времени простоя оборудования T_{np} , затратами на ТО и Р $Z_{ТОиР}$. Таким образом, $S_{ТОиР} = \langle K_z, T_{np}, Z_{ТОиР} \rangle$.

Основной проблемой при создании резервного фонда является определение его оптимального объема $V_{рф}$. Размеры взносов в резервный фонд на инвестиционной r_u и эксплуатационной r_z фазах проекта определяются исходя из уровня риска отказа оборудования и параметров надежности оборудования, рассчитываемых по результатам текущей оценки его состояния, с учетом выбранной стратегии ТО и Р и стратегии загрузки оборудования. Таким образом, $S_{рф} = \langle V_{рф}, r_u, r_z \rangle$.

Для обеспечения требуемого качества проекта необходимо на каждом шаге реализации проекта t , $0 \leq t \leq T$, определять такие значения управляющих параметров проекта, чтобы для выбранного уровня риска $R_{отк}$ с учетом информации о состоянии оборудования на шаге $(t-1)$ показатели коммерческой эффективности проекта $NPV(R_{отк}) \rightarrow \max$; $PI(R_{отк}) \rightarrow \max$.

Сформулированная задача относится к типу задач адаптивного управления по состоянию в условиях случайной среды функционирования с неизвестной функцией распределения.

Структура программной системы управления проектным риском

Структура программной системы для решения рассматриваемой задачи представлена на рисунке 2.



Рис.2 – Структура программной системы управления проектным риском

Алгоритмы подсистемы оценки состояния оборудования разработаны и программно реализованы авторами на основе методов нечеткой логики. Результаты разработки представлены в [1,2].

Вывод

Предлагаемый подход позволяет повысить качество планирования проектов развития предприятия за счет учета возможного влияния риска отказа оборудования при оценке коммерческой эффективности проекта и удерживать проект в зоне требуемой коммерческой эффективности с учетом изменяющегося технического состояния оборудования и режимов его эксплуатации.

Список литературы

1. Гаибова Т.В., Шумилина Н.А. Оценка проектного риска отказа оборудования на основе теории нечетких множеств // Интеллект. Инновации. Инвестиции – 2013 - № 2 - С.10-16.
2. Васильев А.В., Гаибова Т.В., Шумилина Н.А. Оценка состояния технологического оборудования проектов промышленных предприятий. Прикладная программа. Зарег. в УФЭР ОГУ №1030 от 18.11.14. – Оренбург, 2014. – 15 с.

05.02.07

А.М. Галлямов, Т.В. Гончарова, Л.Н. Шафигуллин, Р.В. Шibaков, М.Н. Гончаров

Набережночелнинский институт К(П)ФУ, строительное отделение, кафедра Технологии строительства и управление недвижимостью, Набережные Челны, mngoncharov@yandex.ru

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО НАПЫЛЕНИЯ (HVOF)

В предлагаемой статье проведен анализ методов поверхностного упрочнения, целевое назначение которых направлено на повышение эксплуатационных свойств, технического ресурса деталей машин и механизмов оборудования для нефтедобычи, разработаны рекомендации для восстановления высокоскоростным напылением нижнего долотного модуля.

Ключевые слова: газопламенное напыление, высокоскоростное напыление, напылённые покрытия.

Существует ряд ответственных деталей, применяемых в энергетическом машиностроении, авиационной технике, нефтедобывающей и химической промышленности, имеющих высокую стоимость и малый срок эксплуатации.

Эффективным способом повышением долговечности рассматриваемых изделий является восстановление их эксплуатационных свойств путем нанесения покрытий на поверхность изношенных деталей. Данная технология, в частности методом газотермического напыления имеет более низкую стоимость работ по сравнению затратами на изготовление новой детали. Кроме того обеспечивается повышение ремонтпригодности деталей, ресурсосбережение, продление межремонтного ресурса деталей, сокращение потерь в следствии простоя оборудования. [1, 2].

Согласно ГОСТ 28076 -89, газотермическое напыление подразделяется на следующие способы (Рис. 1): газоплазменное напыление, плазменное напыление, плазменно-дуговое напыление, высокочастотное плазменное напыление, детонационное напыление, напыление в контролируемой атмосфере, напыление в динамическом вакууме и тигельное напыление.

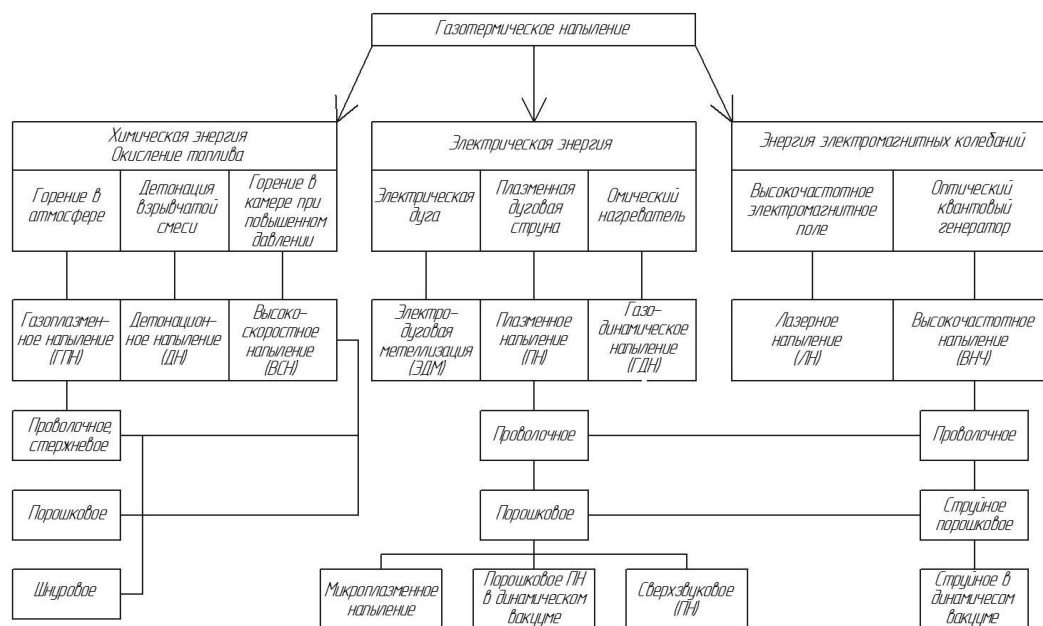


Рис. 1- Классификация методов газотермического напыления

Таким образом, известные методы газотермического напыления можно классифицировать по следующим признакам:

- источнику образования тепла (электрическая дуга или процесс горения топливных газов);
- виду распыляемого материала: порошок, проволока (в том числе стержни и шнуры);
- скорости распыляемых частиц;
- среде, в которой происходит процесс нанесения покрытий (воздух, контролируемая атмосфера или низкий вакуум).

Основными недостатками традиционных способ газотермического напыления являются: сравнительно невысокая адгезия покрытия и основного материала, наличие остаточной пористости, высокая трудоемкость подготовки поверхности [1, 2, 3, 4, 5].

Частично эти недостатки устраняются при использовании газотермических способов получения покрытий со сверхзвуковой скоростью частиц которые имеют названия «High-Velocity-Oxygen-Fuel» (HVOF) – «Высокая скорость-Кислород-Топливо» и «High-Velocity-Air-Fuel» (HVAF) – «Высокая скорость-Воздух-Топливо» [6]. Покрытия, полученные данными способами, в отличие от традиционных газотермических способов характеризуются более высокой адгезией, низкой пористостью и конкурируют по своей эффективности с детонационным напылением. покрытий [7].

Реализовать более высокий уровень адгезионных, когезионных характеристик и обеспечить низкую пористость покрытий можно, в данном способе удастся за счет повышения температуры (для более полного проплавления) и скорости газовой струи, взаимодействующей с частицами материала покрытия.

Рабочий процесс в сверхзвуковой напылительной горелке аналогичен рабочему процессу в ракетном двигателе. Топливо при высокоскоростном газопламенном напылении сжигается в горелках при повышенных давлениях, обеспечивающих критический перепад давления на сверхзвуковых скоростях. Скорость потока на выходе из сопла установки составляет 7-9 скоростей звука.

Сопоставление основных способов ГТН по параметрам процесса (температура-скорость) для частиц напыляемого порошка 25-50 мкм приведена на Рис. 2. Благодаря возможности получения малопористых покрытий с высокой адгезией, сверхзвуковое газопламенное напыление может использоваться для решения различных задач оптимизации производства износостойких деталей.

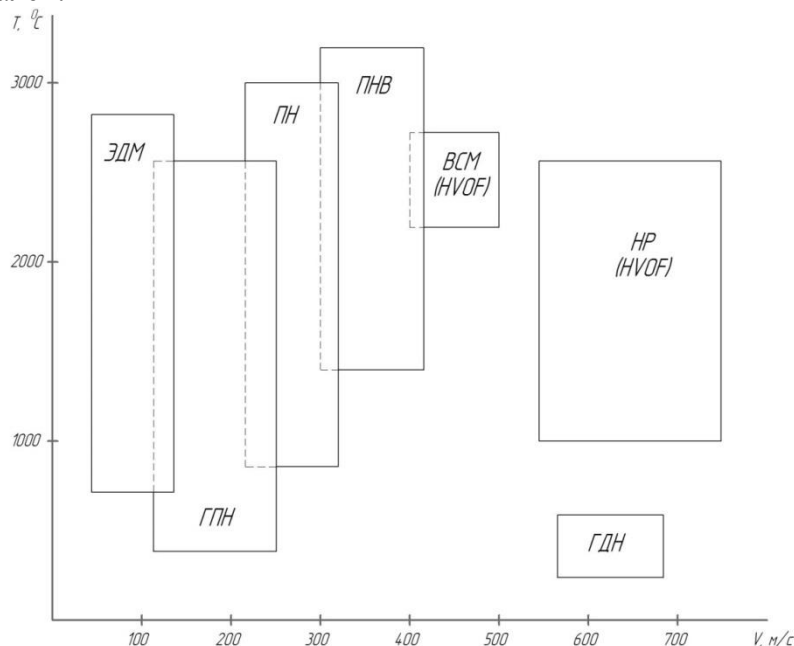


Рис. 2- Сопоставление способов газотермического напыления по параметрам Температура-Скорость: ЭДМ - электродуговая металлизация; ГПН - газоплазменное напыление; ПН - плазменное напыление на воздухе; ПНВ - плазменное напыление в динамическом вакууме; ВСМ (HVOF) - высокоскоростные методы напыления; HP (HVOF) - газодинамическое напыление.

Твердосплавные покрытия, нанесенные методами высокоскоростного напыления, по комплексу эксплуатационных свойств превосходят покрытия получаемые гальваническим хромированием, никелированием, детонационным, вакуумным и ионно-плазменным напылением и могут быть использованы для их замены (Табл. 1). Они могут наноситься на изделия сложной формы, изготовленные практически из любых металлов, в том числе на керамику и стекло [7].

На основе проведенного анализа, совместно с ООО "Инновационные Технологии Покрытия", были разработаны рекомендации по применению метода сверхзвукового газоплазменного напыления покрытий для восстановления детали нижний долотный модуль (НДМ-118). Нижний долотный модуль (далее - НДМ) является измерительной головкой при бурении нефтяных скважин и используется для измерения температуры, давления, вибрации бурового долота. НДМ изготавливают из титанового сплава BT-14. НДМ находится непосредственно за буровым долотом. В процессе эксплуатации на него воздействуют агрессивные рабочие среды при высоком давлении до 1800 Н/см²: сырая нефть; вода; природный газ; абразив, включающий мелкие частицы песка и других осадочных и горных пород; буровой раствор. При этом из-за постоянного контакта с абразивом происходит абразивный и эрозионный износ, и промыв защитного кожуха НДМ, в следствии чего происходит повреждение датчиков и электронных компонентов, износ замковой части НДМ (Рис. 3).

Таблица 1- Способы газотермического напыления и свойства покрытий

Способы напыления	Источники образования тепла (рабочий газ)	Адгезия, МПа	Пористость, %
Плазменное напыление порошками, проволокой	Прямая или косвенная электрическая дуга (ионизированный газ)	30-60	0,5-1,0
Высокоскоростные методы напыления порошками	Горение углеводородов (в том числе жидких) или водорода в среде кислорода или воздуха (продукты сгорания)	45-80	0,1-2,0
Газоплазменное напыление порошками, проволокой, шнуровыми материалами	Горение газообразных углеводородов в среде кислорода или воздуха (продукты сгорания)	20-50	3-15
Электродуговая металлизация композитной проволокой	Электрическая дуга (воздух или другие газы)	20-50	5-25

Примечание: Значения даны для стандартных процессов, если при напылении не преследуется цель получения покрытия со специальными свойствами.



Износ канавок уплотнителя в следствии повреждения защитного кожуха Износ замковой части

Рис. 3- Износ поверхностей НДМ

На первом этапе восстановления детали производится зачистка перед наплавкой поврежденных поверхностей, включающая механическую обработку поврежденных мест

прямой скоростной шлифовкой, фрезерование бор-фрезами SGS с покрытием TiN, а так же предварительная проточка на токарном станке.

На втором этапе производится наплавка, проволокой ОТ-4 диаметром 3 мм, выполняемая методом ручной аргоно-дуговой наплавки в среде защитного газа аргон с расходом в 9-13 л/мин с применением сопла №7 и током наплавки 98-105 А при дистанции до острия электрода 2-3 мм и углом горелки 90°.

Третий этап включает токарную обработку и восстановление чертежных размеров детали на токарном станке с использованием твердосплавного инструмента Iscar.

Четвертый этап включает механическую обработку замковой части после наплавки, выполняемую скоростным шлифованием, а также бор-фрезами SGS с покрытием TiN.

На пятом этапе производится напыление покрытия WC/Co 88-12, толщиной 0,5мм методом HVOF на установке HVOF-K2-2000 (Рис. 4).

На Рис. 5 представлен восстановленный НДМ.

Металлографическая структура восстановленных поверхностей представлена на Рис. 6.

Из анализа структуры следует, что покрытие характеризуется низкой пористостью 0,5-0,7%.

Полевые испытания восстановленных НДМ показали увеличение эксплуатационного ресурса деталей более чем в 1,5 раза. При наработке отремонтированной детали в 300 часов износ покрытия составил менее 3%.



Рис. 4- Покрытие из WC/Co/Cr на восстановленной замковой части.



Рис. 5-Восстановленный НДМ.

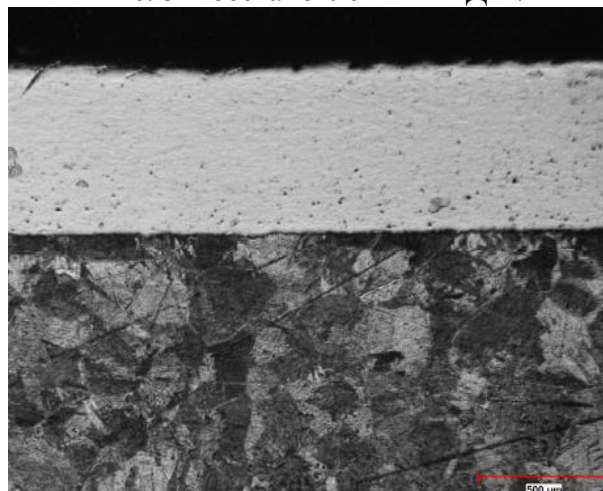


Рис. 6- Микроструктура покрытия WC/Co 88-12 на наплавленном слое.

В результате применения технологии ремонта и упрочнения деталей НДМ методом HVOF получен положительный экономический эффект:

- сокращение затрат на изготовление новых деталей сложной геометрии более чем в три раза;
- технология допускает применения до 6 ремонтных циклов при сохранении эксплуатационного ресурса после каждого восстановления.

Опытная эксплуатация технологии ремонта и упрочнения деталей методом HVOF показала, что ее применение: позволяет наносить покрытия на изделия сложной формы; обеспечивает ресурсосбережение, продление межремонтного ресурса детали, сокращение стоимостных и временных затрат на изготовление деталей, импортозамещение; имеет большие перспективы использования на ремонтных предприятиях, занимающихся восстановлением деталей.

Список литературы

1. Клубникин В.С. О достижениях в термическом напылении покрытий. [Текст] / В.С. Клубникин // Труды 6-й Международной конференции «Пленки и покрытия - 2001»; под ред. В.С. Клубникина. – СПб.: Из-во СПб ГТУ, 2001. – с. 15-21.
2. Полонский Л.Г. Историко-технические аспекты развития газотермического напыления покрытий. [Текст] / Л.Г. Полонский // Труды 5-й Международной конференции «Пленки и покрытия - 1998»; под ред. В.С. Клубникина. – СПб.: Из-во Полиплазма, 1998. – с. 47-52.
3. ГОСТ 28076-89. Газотермическое напыление. Термины и определения
4. Курчаткин В.В. Надежность и ремонт машин. [Текст] / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
5. Иванов В.Г. Термическая стойкость теплозащитных керамических покрытий на образцах из алюминиевых сплавов. [Текст] / В.Г. Иванов, В.П. Никитин, А.М. Яцечко // Сварочное производство. - № 12. – 1990. – с. 11-12.
6. Коровин, А.Я. Оборудование для сверхзвукового газоплазменного напыления покрытий. [Текст] / А.Я. Коровин, В.Н. Хромов // Сборник научных трудов. В 2-х частях. Ч. 2. – М.: РГАЗУ, 2000. – с. 183 – 186.
7. Кузнецов, Ю.А. Ресурсосберегающие технологии газотермического напыления при ремонте машин АПК. [Текст] / Ю.А. Кузнецов // Вестник ОрелГАУ. - № 1. – 2009. – с. 13-15.

05.26.03

О.А. Глухов д.т.н., К.А. Смотрин к.т.н., Е.Е. Винокурова

Поволжский государственный технологический университет,
Институт строительства и архитектуры, кафедра безопасности жизнедеятельности,
Йошкар-Ола, GluhovOA@volgatech.net

О МЕТОДАХ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРА ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО РИСКА

В статье дан сравнительный анализ методов расчета параметров опасных факторов пожара. Представлены результаты моделирования времени наступления предельно допустимых для людей значений опасных факторов пожара с использованием прикладных программных пакетов.

Ключевые слова: *пожар, опасные факторы пожара, риск, математические модели.*

Любое существующее здание или сооружение, даже самое современное и оснащенное всеми требуемыми системами противопожарной защиты, имеет определенный уровень пожарной опасности и, следовательно, представляет определенную угрозу для человека. Для количественной оценки уровня пожарной опасности введено понятие «пожарный риск» [1].

В соответствии с [2] индивидуальный пожарный риск отвечает требуемому, если:

$$Q_B \leq Q_B^H, \quad (1)$$

где Q_B – расчетная величина индивидуального пожарного риска;

Q_B^H – нормативное значение индивидуального пожарного риска, $Q_B^H = 10^{-6}$ год⁻¹.

Расчет величины индивидуального пожарного риска $Q_{B,i}$ для i -го сценария пожара на объекте проводится по формуле [2]:

$$Q_{B,i} = Q_{п,i} \cdot (1 - K_{ап,i}) \cdot P_{пр,i} \cdot (1 - P_{э,i}) \cdot (1 - K_{п.з,i}) \quad (2)$$

где $Q_{п,i}$ – частота возникновения пожара в здании в течение года;

$K_{ап,i}$ – коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов;

$P_{пр,i}$ – вероятность присутствия людей в здании;

$P_{э,i}$ – вероятность эвакуации людей;

$K_{п.з,i}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов.

Важнейшей составляющей в уравнении (2) является вероятность эвакуации людей. Значение коэффициента $P_{э}$ зависит от соотношения между временем эвакуации из здания и временем блокирования путей эвакуации [2]:

$$P_{э} = \begin{cases} 0,999 \cdot ((0,8 \cdot t_{бл} - t_p) / t_{нэ}), & \text{если } t_p < 0,8 \cdot t_{бл} < t_p + t_{нэ} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин.} \\ 0,999, & \text{если } t_p + t_{нэ} \leq 0,8 \cdot t_{бл} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин.} \\ 0,000, & \text{если } t_p \geq 0,8 \cdot t_{бл} \text{ или } t_{ск} > 6 \text{ мин.} \end{cases} \quad (3)$$

где t_p – расчетное время эвакуации людей; $t_{нэ}$ – время начала эвакуации;

$t_{бл}$ – время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара (ОФП), имеющих предельно допустимые для людей значения;

$t_{ск}$ – время существования скоплений людей на участках путей.

Определение значения коэффициента $P_{э}$ на практике сталкивается с рядом проблем. Эвакуация людей и распространение опасных факторов пожара представляют собой случайные процессы, которые зависят от множества факторов, поэтому для построения

расчетных моделей используются упрощения и допущения, что ведет к неопределенности получаемых результатов.

Наибольшую трудность для моделирования представляет процесс развития пожара и распространения его опасных факторов, что связано со сложностью описания всех физико-химических процессов, происходящих при пожаре [3].

В [2] указано, что для целей расчета параметров опасных факторов пожара могут быть применены три основных группы детерминистских моделей: интегральные, зонные и полевые и приведены предпосылки для их использования. Выбор того ли иного метода моделирования определяется параметрами помещения, а также имеющимися ограничениями, которые рассмотрены ниже. В настоящее время все три модели нашли свое воплощение в прикладных программных комплексах, применяемых для расчета пожарного риска.

Интегральный метод основан на нахождении среднеобъемных значений опасных факторов пожара путем решения уравнений аэрации, тепло- и массообмена [4]. Данный подход реализован, например, в программном пакете «СИТИС: ВИМ» [5].

Основным достоинством интегрального метода является низкая трудоемкость выполнения расчета. К недостаткам метода необходимо отнести: значительные накладываемые ограничения, в том числе малый объем и простая геометрическая конфигурация рассматриваемого помещения, соразмерность очага пожара с характерными размерами помещения [2]; невозможность получения данных о распределении параметров теплообмена по объему помещения; отсутствие зависимости величины ОФП на уровне рабочей зоны от вида, свойств, места расположения горючего материала и геометрии помещения [4].

Зонный метод основан на нахождении среднестроительных значений опасных факторов пожара. Примером реализации данного подхода является программа «СИТИС: Блок». В данном программном пакете использована двухзонная модель CFAST (Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model), созданная Национальным институтом стандартов и технологий США, в основе которой лежит задача Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений [6].

Достоинствами зонной модели являются низкая трудоемкость выполнения расчета, а также использование закономерностей теплового и гидродинамического взаимодействия струйного течения со строительными конструкциями с условным разбиением на характерные области (критическая точка, область ускоренного течения, переходная область и область автомодельного течения). Недостатками, также как и для интегральной модели, являются ограничения, накладываемые на геометрические параметры помещения и их соотношение с размером очага пожара и невозможность получения подробных данных о распределении параметров теплообмена по объему помещения. Также следует отметить несоответствие модели реальным условиям в случае сложной термогазодинамической картины пожара [4].

Полевые модели дают наиболее подробное описание процессов при пожаре в помещении, в их основе лежит система уравнений в частных производных. Данный подход реализован в модели FDS (Fire Dynamic Simulator), также созданной Национальным институтом стандартов и технологий США. FDS численно решает уравнения Навье-Стокса для низкоскоростных температурно-зависимых потоков. На основе модели FDS созданы программные пакеты, например Pyrosim, Fenix+ и другие.

Основным достоинством полевой модели является то, что результатом расчета является пространственно-временное распределение температур и скоростей газовой среды в помещении, концентрации компонентов среды, давлений и плотностей в любой точке помещения. Следует отметить что подход, основанный на полевой модели, является наиболее перспективным в части повышения точности расчетов в силу универсальности метода конечных элементов, заложенного в её основу. К недостаткам можно отнести ее сложность в математическом описании, а это, в свою очередь, ведет к значительным затратам времени при осуществлении расчетов [4].

В качестве общего недостатка описанных моделей необходимо отметить тот факт, что все они основаны на газодинамике ламинарных течений потоков, что в ряде случаев не соответствует реальным условиям.

Для анализа описанных методов был проведен расчет времени наступления предельно допустимых для людей значений опасных факторов пожара с использованием программных пакетов.

В качестве объекта для расчета было выбрано помещение размером 5×5 м и высотой 3 м с одним дверным проемом размером 0,8×1,9 м, расположенным в центре стены, и двумя оконными проемами размером 1,3×1,3 м каждый, расположенными на высоте 1,2 м от уровня пола. Параметры пожарной нагрузки и окружающей среды были приняты условно и имеют типичные значения. В качестве пожарной нагрузки были приняты мебель (75%) и бумага (25%), скорость распространения пламени 0,021 м/с. Температура воздуха 20°C, давление 101,3 кПа, скорость движения воздушных потоков 0 м/с. Пожар возник на уровне пола в центре помещения. В качестве расчетной была принята точка у двери (эвакуационного выхода) на уровне 1,7 м.

Результаты расчета времени наступления предельно допустимых для людей значений опасных факторов пожара с использованием программ «СИТИС: ВИМ», «СИТИС: Блок» и Pyrosim представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета времени (сек.) наступления предельно допустимых для людей значений опасных факторов пожара

Модель / ОФП*	В	Т	V	O ₂	CO ₂	CO	AT
Интегральная «Ситис: ВИМ»	40	50	118	50	>600	>600	40
Зонная «Ситис: Блок»	43	43	43	43	>600	>600	90
Полевая Pyrosim	41	43	52	90	>600	>600	41

* Примечание: В – время блокирования; Т – по повышенной температуре; V – по потере видимости; O₂ – по пониженному содержанию кислорода; CO₂ – по содержанию CO₂; CO – по содержанию CO; AT – по тепловому потоку.

Пример графического отображения результатов расчета параметров одного из ОФП (потери видимости) от времени развития пожара представлен на рис. 1.

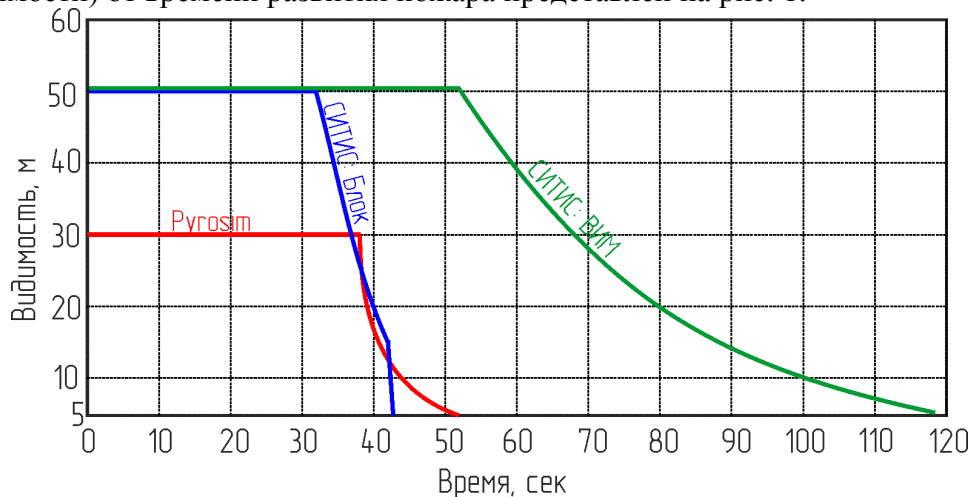


Рис.1 – Результаты расчета времени потери видимости в расчетной точке, полученные с использованием различных программных пакетов

В заключении необходимо отметить, что результаты расчета свидетельствуют о существенном расхождении времени блокирования, полученного с использованием различных моделей. Так время до наступления потери видимости, полученное с использованием интегральной модели, более чем в два раза превышает значение, полученное при использовании полевой или зонной модели. С учетом того, что все три модели разрешены к использованию, это дает возможность манипулирования данными с целью получения желаемого результата.

Существенное расхождение между результатами расчетов требует проведения экспериментальных исследований на основе физического моделирования для критичных сочетаний исходных параметров, дающих наибольшие расхождения по основным ОФП.

Список литературы

1. Федеральный закон от 22.07.2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. Приказ МЧС России от 30.06.2009 г. №382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».
3. Пузач С.В., Смагин А.В., Лебедченко О.С., Абакумов Е.С. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах. – М. Академия ГПС МЧС России, 2007. – 222 с.
4. Пузач С.В. Моделирование динамики опасных факторов пожара при расчете пожарного риска: [Электронный ресурс]. URL: http://riskprom.ru/_ld/2/209_-_28__2010.pdf. (Дата обращения: 01.03.2015).
5. СИТИС: ВИМ 1.80. Руководство пользователя: Редакция 12. – Екатеринбург: ООО «СИТИС», 2013. – 145 с.
6. СИТИС: Блок 2.70. Руководство пользователя: Редакция 6. – Екатеринбург: ООО «СИТИС», 2013. – 48 с.

05.22.07

¹М.И. Глушко д.т.н., ²Е.В. Федоров¹Уральское отделение ОАО «ВНИИЖТ»²Уральский Государственный Университет Путей Сообщения,
кафедра «Электрическая тяга», Fedorov335@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОГО ОБЪЁМА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СЕТИ ЛОКОМОТИВА

Применяемый в настоящее время способ проверки плотности пневматических сетей подвижного состава основан на измерении расхода сжатого воздуха из главных резервуаров без учёта объёма воздухопроводов, что приводит к существенной погрешности результатов проверки.

В статье предлагается способ определения фактического объёма пневматической сети локомотива, с помощью ввода в пневматическую сеть источника детерминированного расхода с применением физического моделирования.

Ключевые слова: *пневматические сети поезда; проверка плотности тормозной сети; тормозная магистраль; главные резервуары; расход сжатого воздуха; объем главных резервуаров.*

Поезд необходимо рассматривать как сформированную систему, пневматическая часть которой состоит из двух потребителей сжатого воздуха – локомотива и состава вагонов [1]. Проверка плотности пневматических сетей производится в поезде, поэтому в случае неудовлетворительного результата необходимо определить источник повышенного расхода из представленных двух потребителей.

Применяемый способ проверки плотности пневматических сетей подвижного состава основан на измерении расхода сжатого воздуха из главных резервуаров локомотива и определяется по формуле

$$q = \frac{\Delta P V}{t}, \quad (1)$$

где ΔP – величина снижения давления в главных резервуарах локомотива;

V – объём главных резервуаров, л;

t – время понижения давления на величину ΔP , с.

В расчётную формулу подставляют значение V для паспортного объёма только главных резервуаров без учёта объёма воздухопроводов, которые вместе с главными резервуарами образуют питательную сеть; кроме того, в главных резервуарах накапливается влага и смазка, что уменьшает свободный объём для сжатого воздуха, а во всех пневматических соединениях локомотива происходит утечка сжатого воздуха. Изменение свободного объёма главных резервуаров и наличие собственного расхода из пневматической сети приводят к существенной погрешности результатов проверки плотности, особенно, тормозной сети вагонов состава. Общий объём V_C пневматической сети можно оценить подключением к сети резервуара известного объёма v из соотношения

$$P V_C + p = P_0 (V_C + v), \quad (2)$$

откуда

$$V_C = \frac{P_0}{\Delta P} v. \quad (3)$$

Однако применение дополнительного резервуара усложняет процесс и не позволяет избежать погрешности, вносимой утечками. При анализе пневматического оборудования локомотива следует иметь в виду, потому что расход в пневматической сети локомотива влияет только на работу компрессорной установки, а расход в тормозной сети определяет градиент тормозной магистрали, который влияет на тормозную эффективность поезда.

Чтобы повысить точность проверки плотности и обеспечить раздельное определение расхода сжатого воздуха в пневматической сети локомотива и вагонов, необходимо располагать фактическим объёмом пневматической сети локомотива.

Расчётная схема пневматической сети локомотива (Рис. 1) содержит компрессор 1, главные резервуары 2, кран машиниста 3, тормозную магистраль 4 с концевыми кранами 5, дроссельное отверстие 6, разобщительные краны 7 и 8.

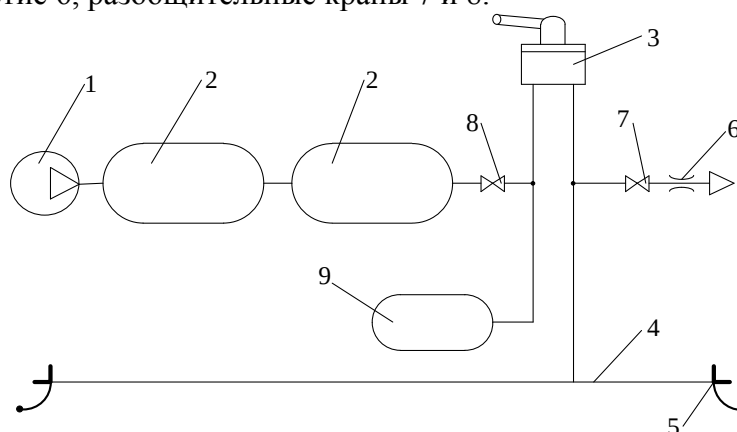


Рис. 1 – Расчетная схема пневматических сетей локомотива

Проверка плотности в соответствии с применяемыми Правилами технического обслуживания тормозного оборудования состоит в определении расхода q формула (1) в пневматической сети поезда с целью выявления расхода сжатого воздуха $q_{\text{тм}}$ в тормозной сети состава при отсутствии точных показателей утечки $q_{\text{ут}}$ и объёма V_C питательной сети. Поэтому результат проверки всегда оказывается весьма приблизительным. Для повышения достоверности контроля пневматических сетей необходимо определить показатели схемы пневматического оборудования локомотива – фактический объём и утечку из питательной сети.

Суммарный расход сжатого воздуха в атмосферу через неплотности пневматической сети локомотива происходит при сверхкритическом истечении; расход (утечка) через единичную неплотность q_L определяется по известной формуле [2]

$$q_L = \mu \cdot P_B \cdot 0,1551 \cdot d^2, \quad (4)$$

где μ – коэффициент расхода;

P_B – давление в питательной сети, кгс/см²;

d – диаметр эквивалентного отверстия, мм.

Применение формулы (4) затруднительно вследствие зависимости расхода от величины давления воздуха, которое меняется в пределах установленного перепада по главным резервуарам или градиента давления по длине тормозной магистрали. Поэтому определяется общий расход q_L по формуле (1) при фактической величине полного перепада ΔP

$$q_L = \frac{\Delta P V_C}{t_{\text{ут}}}. \quad (5)$$

В обоих случаях с определением расхода на утечки и общего расхода сжатого воздуха остаётся неизвестным фактический объём питательной сети локомотива. Для его определения введём в пневматическую сеть источник детерминированного расхода с применением физического моделирования. На этом принципе разработана схема для определения постоянного регулируемого расхода с применением крана машиниста. При настройке крана на определённое зарядное давление и открытии разобщительного крана 7 для выпуска воздуха из пневматической сети локомотива в атмосферу через дроссель 6 в системе установится постоянный расход в соответствии с формулой (4). Однако формула имеет чисто теоретический интерес ввиду недостаточной определённости значения коэффициента μ и точности изготовления дроссельного отверстия. Для определения величины вводимого расхода следует применить физическое моделирование, при котором питательная сеть временно замещается резервуаром 9 известного объёма V_{3P} , определяется влияние дроссельного отверстия 6, а в качестве стабилизатора расхода применяется кран машиниста. Вследствие постоянного давления на выходе стабилизатора обеспечивается постоянный расход сжатого воздуха, величина которого определяется по общей формуле

$$q = \frac{\Delta PV_{3P}}{t_{3P}} \quad (6)$$

Величина q не зависит от рабочего перепада ΔP и является параметром стабилизатора расхода. Определение контрольного расхода q носит одноразовый характер, затем резервуар 9 убирается. Для определения объёма всей питательной сети V_C открывают краны 7 и 8, подключая стабилизатор расхода при закрытых концевых кранах 5.

Для этого случая уравнение расхода сжатого воздуха из питательной сети за полный цикл нахождения компрессора в неработающем состоянии

$$\frac{\Delta PV_C}{t} = \frac{\Delta PV_C}{t_{YT}} + q \quad (7)$$

отсюда объём всей пневматической сети локомотива

$$V_C = \frac{q}{\Delta P} \frac{t}{t_{YT} - t} t_{YT}. \quad (8)$$

Удобнее применять выражение

$$\Delta PV_C = q \frac{t}{t_{YT} - t} t_{YT}, \quad (9)$$

в котором ΔPV_C обозначает расчётный параметр всей пневматической сети локомотива. С учётом полученного расчётного параметра и условия (5), определяем расход из пневматической сети локомотива

$$q_{JI} = q \frac{t_C}{t_{YT} - t_C}. \quad (10)$$

В случае плотной питательной сети расчётный параметр следует определять после введения дополнительной утечки из питательной сети.

Определение параметра q делает возможным применить пневматическую сеть локомотива в качестве средства контроля пневматических сетей всего поезда. Например, пневматическая сеть поезда находится в заряженном состоянии, и тормозная магистраль 4 питается от сети локомотива через кран машиниста. Тогда, в целом для поезда уравнение расхода сжатого воздуха $\frac{\Delta PV_C}{t_0} = \frac{\Delta PV_C}{t_{YT}} + q_{TM}$, отсюда расход сжатого воздуха в тормозной магистрали поезда

$$q_{TM} = \Delta PV \frac{t_{YT} - t_0}{t_{YT} t_0}. \quad (11)$$

С учётом параметра первичной модели $q_{TM} = q \frac{t}{t_{YT} - t} \cdot \frac{t_{YT} - t_0}{t_0}$; принимая во внимание (3), получаем в окончательном виде

$$q_{TM} = q_{JI} \left(\frac{t_{YT}}{t_0} - 1 \right). \quad (9)$$

Таким образом, с помощью метода введения в пневматическую систему локомотива дополнительного детерминированного расхода реализуется возможность раздельного определения расхода сжатого воздуха в пневматической сети локомотива и в тормозной системе состава. Важным свойством является независимость показателя расхода в тормозной сети состава от состояния пневматической сети локомотива. Величина вводимого расхода определяется с помощью резервуара постоянного объёма, выбранного зарядного давления 0,53 МПа и применяемого на тормозной магистрали локомотива дросселя диаметром 0,5 мм.

Список литературы

1. М.И. Глушко, Е.В. Федоров. Контроль перекрытия концевых кранов в поезде // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. №1. С. 151–154.
2. Пневматические расчеты тормозных приборов / Московский тормозной завод. – Москва, 1958. – 56 с.

05.13.18

Д.Р. Григорьева, А.Г. Файзуллина, Р.Ш. Шарипов, Р.Р. Басыров

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Экономическое отделение, кафедра математических методов в экономике, г. Набережные Челны, dlya_pisem_t@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В настоящее время развитие дорожных сетей является важным аспектом роста экономики любого региона. Появляется необходимость в присоединении новых участков дорог к существующим. В работе поставлена задача нахождения минимального пути, соединяющего несколько населенных пунктов. В ходе выполнения работы были рассмотрены методы нахождения кратчайших сетей и определена задача Штейнера, разработано приложение в среде Delphi, определяющее точку Штейнера, минимальную длину пути (участка) и рассчитывающее время прохождения и приблизительную стоимость постройки полученного участка дороги.

Ключевые слова: *кратчайший путь, задача Штейнера, точка Штейнера, теория графов, минимизация расходов, расчет стоимости постройки участка дороги.*

В настоящее время, в связи с развитием дорожных сетей, все чаще появляется необходимость в присоединении к ним новых участков. Одной из подобных задач является соединение нескольких населенных пунктов системой дорог таким образом, чтобы по этим дорогам можно было из каждого пункта добраться в любой другой с минимальной длиной пути.

Данная задача впервые была рассмотрена Якобом Штейнером, он занимался поиском одной точки, сумма расстояний от которой до всех точек заданного множества была бы минимальной [1].

Задача Штейнера состоит в поиске минимального дерева Штейнера – кратчайшей сети, соединяющей заданный конечный набор точек плоскости.

Для рассмотрения данной задачи необходимо обратиться к теории графов. Теория графов - это раздел дискретной математики, рассматривающий множества с заданными на них отношениями между элементами. Объекты могут быть наглядно представлены с помощью рисунков, состоящих из точек, соединенных линиями. Первоначально была поставлена задача нахождения точки Штейнера для трех точек [2].

Идея алгоритма, для решения задачи Штейнера, которая реализована в работе, заключается в соединении ближайших двух точек к выбранной. Затем выбирается следующая точка, находятся ближайшие к ней две точки и так далее. Алгоритм можно условно разбить на две части. В первой его части множество исходных точек подразделяется на всевозможные подмножества. Во второй части для каждого такого подмножества создается ряд возможных деревьев [3].

Как только для этих трех точек найдена точка Штейнера, алгоритм начинает работать в обратном направлении, пытаясь определить точку Штейнера, соответствующую каждой замещающей точке.

Попытка может закончиться неудачей, но успешная попытка приводит к возникновению дерева Штейнера, соединяющего каждую исходную точку подмножества с деревом одним ребром. Рассмотрев, таким образом, все замещающие последовательности, алгоритм выбирает кратчайшее из этих деревьев Штейнера для подмножества. Комбинируя между собой всевозможными способами кратчайшие деревья Штейнера для подмножеств так, чтобы охватить исходное множество точек, можно построить всевозможные локально минимальные деревья Штейнера и определить геометрию кратчайшей сети.

Рассмотрим данную задачу на примере практической деятельности предприятия - построения дорожной сети на реальном участке автомобильной дороги. Соединим три населенных пункта одной минимальной сетью дорог: с. Покровское (55.709706, 51.718111), с. Старая Мурзиха (55.73815, 51.647015), с. Новая Мурзиха (55.743154, 51.665554).

При вводе координат в приложение, созданное в программной среде Delphi и рассчитаем точку Штейнера получим координаты точки Штейнера: $X = 55,743154$; $Y = 51,665554$ [4].

Общая длина маршрута от с. Покровское до с. Старая Мурзиха составляет 8,1 км. Для расчета стоимости постройки полученного нового участка дороги необходимо указать цену за 1 км дороги (55 091 401,2 рублей). [5].

В итоге получаем:

- от с. Покровское до точки Штейнера – 341 566 687,44 рублей;
- от с. Старая Мурзиха до точки Штейнера – 104 673 662,28 рублей;
- от с. Новая Мурзиха до точки Штейнера – 0 рублей (т.к. точка совпала).

Всего необходимо затратить 446 240 349,72 рублей.

Таким образом, мы получили точку Штейнера для указанных вершин: с. Покровское (55,709706; 51,718111), с. Старая Мурзиха (55,73815; 51,647015). Точка Штейнера совпадает с координатами с. Новая Мурзиха (55,743154; 51,665554). Полученная минимальная длина маршрута - 8,1 км. Предполагаемая стоимость строительства дороги на указанном участке при средней цене 55 091 401,2 рублей за км – 446 240 349,72 рублей.

Данная стоимость и длина пути являются наименьшими, среди других предложенных вариантов реконструкции проектным управлением предприятия.

Произведя расчеты, мы получили следующие значения для нового участка дороги (таблица 1).

Таблица 1 – Полученные значения для нового участка

Участок	Длина маршрута (км)	Время прохождения (минут)	Стоимость (рублей)
с. Покровское (Е) – Р	3,4	4,08	187 310 764,08
с. Новая Мурзиха (D) – Р	2,9	3,48	159 765 063,48
с. Старая Мурзиха (C) – с. Новая Мурзиха	1,4	1,68	77 127 961,68
Итого:	7,7	9,24	424 203 789,20

Сравним данные показатели с уже имеющейся дорогой.

Таблица 2 – Показатели старого участка

Участок	Длина маршрута (км)	Время прохождения (минут)	Стоимость (рублей)
с. Покровское (Е) – F	3,8	4,56	209 347 324,60
с. Новая Мурзиха (D) - M	4,2	5,04	231 383 885,00
с. Старая Мурзиха (C) - N	0,75	0,9	41 318 550,90
Итого:	8,75	10,5	482 049 760,5

Стоимость рассчитывается из учета средней цены строительства новой дороги – 55 091 401,20 рублей. Длина маршрута, найденного используя задачу Штейнера, на 4 км меньше уже имеющейся дороги, тем самым уменьшается среднее время прохождения на 13,6%. В связи с уменьшением длины участка, мы сократили расходы на его строительство, с 482 049 760,50 до 424 203 789,20 рублей (~13,6% или 57 845 971,30 рублей). Учитывая реконструкцию автодороги М-7, и необходимости создания новых участков для разворота автотранспорта, выбранная точка Р(51.72784, 51.68961) – является наиболее оптимальной для создания выездов из указанных населенных пунктов: с. Покровское, с. Старая Мурзиха, с. Новая Мурзиха.

Таким образом, мы построили предполагаемый новый участок дороги с минимальной протяженностью 7,7 км и необходимой ценой постройки - 424 203 789,20 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для определения координат точек Штейнера программисты и математики разработали специальные алгоритмы, но, несмотря на то, что знания в области реализации алгоритмов расширились, задача поиска кратчайшей сети остается актуальной. Задача Штейнера принадлежит к классу задач, для которых эффективные алгоритмы, по-видимому, так никогда и не будут найдены. Даже при использовании лучшего из известных алгоритмов построения дерева Штейнера для n точек время, затрачиваемое на решение, с увеличением n возрастает экспоненциально. Наиболее реальным представляется создание программы, которая находила бы сеть, несколько более длинную по сравнению с кратчайшей сетью. Приближённые методы решения довольно часто применяются в различных приложениях задачи поиска кратчайших сетей. Среди них — конструирование интегральных электронных схем, построение эволюционного дерева для группы биологических видов и минимизация расхода материалов на создание сетей телефонных линий, трубопроводов и шоссе дорог.

Используя сеть Штейнера для решения данной практической задачи, удалось сократить длину пути, тем самым сэкономить финансовые средства бюджета субъекта РФ.

Список литературы

1. Grigoreva D.R., Faizullina A.G. Analysis and forecasting of sales economic index in the Statistica system. Proceedings of the 1st International Academic Congress "Fundamental and Applied Studies in the Pacific and Atlantic Oceans Countries, 2014, 284-288.
2. Yang, Z.-X. Geometry Experiment Algorithm Steiner Minimal Tree Problem / Z.-X. Yang, X.-Y. Kia, J.-Y. Hao, Y.-P. Gao // Journal of Applied Mathematics. – 2013. – Vol. 2013. – P. 1-10.
3. Sharipov R.R., Faizullina A.G. Practical application of three-point tasks Steiner networks construction of shortest roads real object construction / Project: Analysis of scientific research: Naukovi Pratsi С sovereign upravlinnia one of. - 2014. -. 101-104p.
4. Григорьева Д.Р., Файзуллина А.Г., Шарипов Р.Ш. Решение задачи Штейнера Хроники объединенного фонда электронных ресурсов наука и образование.- Москва: Федеральное государственное научное учреждение Институт научной и педагогической информации Российской академии образования, Объединенный фонд электронных ресурсов «Наука и образование». Свидетельство регистрации электронного ресурса №20726 от 16.01.2015
5. Реестр закупок и заказов. Портал закупок // Официальный сайт РФ в сети Интернет для размещения информации о размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг. [Электронный ресурс]: <http://zakupki.gov.ru/epz/main/public/home.html> (дата обращения: 08.02.2015).

05.13.06

А.А. Денисевич, М.О. Бланк, С.Н. Ливенцов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
физико-технический институт, кафедра электроники и автоматики физических установок,
Томск, denisevicghaa@tpu.ru

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ УЗЛОМ ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ СМЕСИ КИСЛОТ ПРОИЗВОДСТВА БЕЗВОДНОГО ФТОРИСТОГО ВОДОРОДА

Эта работа посвящена первому этапу создания автоматизированной системы управления процессом сернокислотного разложения флюоритового концентрата в барабанных печах — разработке алгоритма для приготовления смеси реагентов требуемого состава и равномерной ее подаче в печь в условиях технологического оборудования и средств КИПиА ОАО Сибирский химический комбинат (СХК).

Ключевые слова: алгоритм управления, математическая модель, производство безводного фтористого водорода, рабочая смесь кислот.

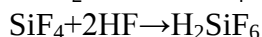
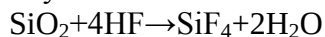
Фтор, его неорганические, а также органические соединения имеют большое практическое значение.

В природе имеется лишь один стабильный изотоп фтора, образующий устойчивое газообразное соединение с ураном – UF_6 , которое легко может быть переведено в жидкое или твердое состояние (температура возгонки UF_6 равна 56°C при атмосферном давлении). Эти обстоятельства позволяют выполнять разделение изотопов ^{235}U и ^{238}U и обогащение ядерного горючего по ^{235}U .

Промышленный способ производства фтороводорода основан на разложении фторида кальция CaF_2 серной кислотой. Источником CaF_2 в процессе разложения является флюоритовый концентрат, содержащий более 90 % CaF_2 .

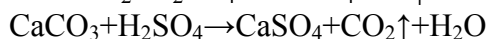
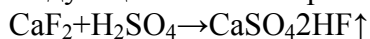
Запасы флюорита в природе ограничены [1]. Рассматриваемая реакция относится к классу топохимических эндотермических реакций, поэтому процесс ведется в обогреваемых вращающихся барабанных печах при $130\text{--}200^\circ\text{C}$ [2], куда непрерывно подаются флюоритовый концентрат и рабочая смесь кислот, состоящая из серной кислоты – 88–96 %, фтороводорода – 1–7 % и воды – 2–5 %.

Применяемый для получения БФВ обогащенный флюоритовый концентрат содержит ряд примесей, таких как карбонат кальция, кремнезем, сульфиды железа, окислы алюминия и т.п. Так, на реакцию, протекающие в две ступени:



на 1 % SiO_2 в ФК расходуется более 4 % полученного фтороводорода [1].

Для того чтобы составить математическую модель процесса приготовления рабочей смеси, необходимо рассмотреть материальный баланс выхода отвала и загружаемых реагентов [3]. В технологической схеме протекают следующие основные реакции:



С учетом стехиометрии данных реакций образуется по 0,136 кг/моль CaSO_4 .

Тогда стехиометрический массовый расход серной кислоты, необходимой для разложения поступающего ФК:

$$W_{20}^C = P \left(\frac{\mu_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{\mu_{\text{CaF}_2}} q_1 + \frac{\mu_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{\mu_{\text{CaCO}_3}} q_2 \right)$$

где P – массовый расход ФК;

q_1 – содержание CaF_2 в ФК;

q_2 – содержание CaCO_3 в ФК.

Фактический избыток серной кислоты в отвале:

$$W_0^{\text{И}} = Bb_2 - \frac{Bb_1\mu_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{\mu_{\text{CaF}_2}}$$

где B – массовый выход отвала;

b_1 – массовая доля CaF_2 в отвале;

b_2 – массовая доля H_2SO_4 в отвале.

Фактический коэффициент избытка серной кислоты, определяемый по реальному составу отвала:

$$K_{\text{Ф}} = \frac{W_{20}^{\text{С}} + W_0^{\text{И}}}{W_{20}^{\text{С}}}$$

Массовый выход отвала рассчитывается по формуле:

$$B = P \left(\frac{\mu_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{\mu_{\text{CaF}_2}} q_1 + \frac{\mu_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{\mu_{\text{CaCO}_2}} q_2 \right) - B \frac{\mu_{\text{CaSO}_4}}{\mu_{\text{CaF}_2}} b_1 + Bb_1 + Bb_2$$

Количество кислоты, поступающей с компонентами РСК:

$$W_{20} = W_1 a_{21} + W_4 a_{24} + W_5 a_{25}$$

Количество воды в рабочей смеси кислот:

$$W_{30} = W_1 a_{31} + W_4 (1 - a_{24}) + W_5 (1 - a_{25})$$

Исходя из заданного состава РСК по воде, массовый расход воды в составе РСК определяется:

$$W_{30} = \frac{W_{20}}{a_{20}^*} \cdot (1 - a_{20}^*)$$

В итоге получаем систему уравнений, подставляем значения молярных масс компонентов и преобразований:

$$\left\{ \begin{array}{l} W_{20} = PK(1,256q_1 + 0,98q_2), \\ K = 1 + \frac{B(b_2 - 1,256b_1)}{P(1,256q_1 + 0,98q_2)}, \\ B = \frac{P(1,744q_1 + 1,36q_2)}{1 + 0,744b_1 - b_2}, \\ W_4 = \frac{W_{20} - W_1 a_{21} - W_5 a_{25}}{a_{24}}, \\ W_5 = \frac{\frac{-W_{20}(a_{24} - a_{20}^*)}{a_{20}^*} - W_1(a_{31}a_{24} - a_{21} + a_{24}a_{21})}{a_{24} - a_{25}}. \end{array} \right.$$

Таким образом, при заданных производительности P , расходе оборотной кислоты W_1 и коэффициенте избытка кислоты K можно рассчитать значения массовых расходов купоросного масла W_4 и олеума W_5 , необходимых для приготовления рабочей смеси заданного количества и состава.

На основании вышеизложенных данных разработана математическая модель и для удобства расчетов компонентов РСК с помощью программы GUIDE, пакета MATLAB был разработан графический интерфейс. Графическое отображение интерфейса пользователя разработанной математической модели представлено на рисунке 1.

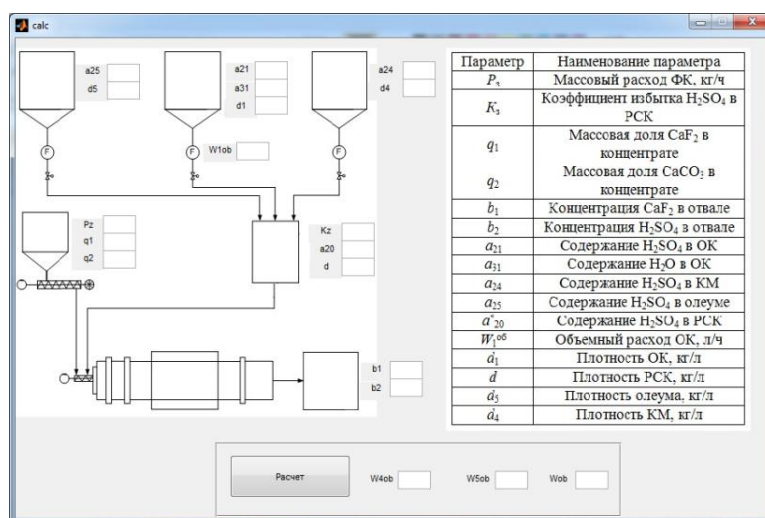


Рис. 1 – Графический интерфейс статической модели расчета РСК

В таблице 1 представлена данные об адекватности разработанной статической математической модели. Методика расчета проста: из технологических журналов рассчитаны экспериментальные данные о расходах реагентов смеси кислот, а посредством модели – расчетные. Таким образом, происходит сравнение экспериментальных и расчетных данных.

Таблица 1 – Результаты проверки адекватности математической модели

№ Эксперимента	1		2		3	
Источник данных	Пр-во	Модель	Пр-во	Модель	Пр-во	Модель
Объемный расход купоросного масла $W_4^{об}$, л/ч	120	118	130	136	126	120
Объемный расход олеума $W_5^{об}$, л/ч	320	310	330	337	320	324
Приведенная погрешность $W_4^{об}$, %	0,3		0,7		0,85	
Приведенная погрешность $W_5^{об}$, %	0,1		0,7		0,4	

Отклонение расчетных и экспериментальных значений расходов составило: КМ – 0,85 %, олеума – 0,7 %. На основании этих результатов, учитывая, что параметры модели будут корректироваться по реальному составу отвала, можно сделать вывод, что разработанная математическая модель может быть использована при разработке алгоритма управления процессом приготовления РСК.

Список литературы

1. Савосина А.Г., Ромашова Н.Н. Характеристика сырьевой базы соединений фтора // Тр. НИУИФ. – М. – 1988. – Вып. 254. – С.10–23.
2. Галкин Н.П., Крутиков А.Б. Технология фтора. – М.: Атомиздат, 1968. – 187 с.
3. Бейгель А.Г., Лысенко А.А., Сесь И.В. Разработка АСУТП приготовления рабочей смеси для печи разложения флюоритового концентрата производства безводного фтороводорода: Тез.докл. I областной научно-технической конференции молодежи и студентов. – Томск, 1995.

05.13.06

А.А. Денисевич, С.Н. Ливенцов, Е.М. Гладырь

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
физико-технический институт, кафедра ЭАФУ, Томск, denisevichaa@tpu.ru

РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЁРА

В статье приводится математическое описание тепловых процессов в экспериментальном электролизёре, осуществляется компьютерное моделирование, проверяется адекватность полученной модели, производится идентификация всех тепловых процессов, протекающих в установке в процессе ее функционирования. Полученные данные используются в настоящее время при синтезе системы автоматизированного регулирования.

Ключевые слова: Электролизер, среднетемпературный электролиз, тепловая модель, получение фтора, теплообмен, идентификация, система автоматизированного управления, законы регулирования.

Введение

Фтор – один из самых активных элементов периодической таблицы Д.И. Менделеева и образует соединения со всеми элементами, причем реакции нередко сопровождаются горением и взрывами [1]. С рядом органических соединений фтор дает весьма ценные продукты, которые находят широкое применение во многих отраслях промышленности [2].

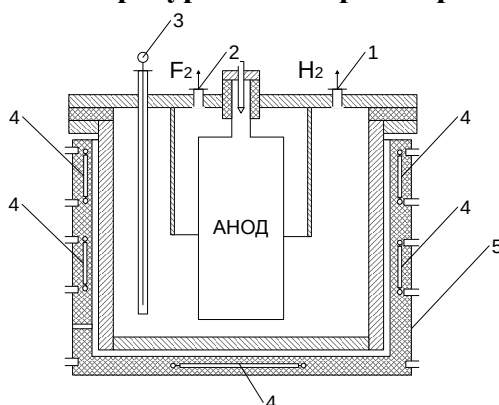
Источником для производства фтора служит фтористый водород. Производство фтора осуществляется посредством электролиза расплава кислого фторида калия, который образуется при насыщении расплава $KF \cdot HF$ фтористым водородом до содержания 40-41% HF . Электролиз ведется при температуре 80-105 °С. Получаемый фтор содержит до 5% HF .

Таким образом, процесс электролиза заключается в разложении фторида калия на фтор и водород. На аноде выделяется фтор, на катоде – водород.

Для научных целей (проведение экспериментов, создание образцов фторных соединений) фтор получают в экспериментальных электролизёрах малой мощности. Каждый такой аппарат уникален ввиду того, что они создаются под конкретную производительность фтора. В исследуемом экспериментальном электролизёре в качестве электролита используется расплав бифторида калия $KF \cdot HF$ [2].

Создание математической тепловой модели экспериментального электролизёра позволит синтезировать автоматизированную систему управления температурой электролита и определить оптимальные параметры настройки регулятора [3].

Моделирование изменения температуры в электролизёре



1) Выход водорода; 2) выход фтора; 3) термопара;
4) трубчатые электрические нагреватели; 5) корпус электролизера
Рис. 1 – Экспериментальный среднетемпературный фторный электролизер

Объектом исследования является среднетемпературный экспериментальный фторный электролизер, используемый для учебных и научных целей в Физико-техническом институте Томского политехнического университета (рис. 1.).

Рассмотрим тепловые процессы, протекающие в электролизере:

- разогрев электролита ТЭНами до рабочей температуры 80 °С;
- теплопотери через стенку аппарата.

Введём допущения и зададим начальные условия модели:

- начальная температура ведения процесса 15 °С;
- ввиду высокой инерционности процессов, протекающих в электролизере, время запаздывания, обусловленные инерционностью элементов системы не учитываются.

В ходе составления математического описания в качестве упрощения было принято, тот факт, что поступивший в электролизер фтороводород моментально перемешивается с электролитом. Распределение температуры электролита внутри ванны было принято постоянным по высоте и по ширине.

Электролит нагревают трубчатыми электрическими нагревателями, до достижения им температуры, необходимой для протекания процесса среднетемпературного электролиза, равной от 80 до 105 °С. Данный тепловой процесс описывается системой однородных дифференциальных уравнений. Уравнения описывают данный процесс с достаточной точностью, так как учтен процесс потери некоторой части тепла через стенку ванны для электролиза в окружающее пространство.

Нагрев электролита током и ТЭНами до установившегося значения займет достаточно длительный промежуток времени, так как тепловым процессам свойственна высокая инерционность. Полученная система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} C_{\text{Э}} \cdot \rho_{\text{Э}} \cdot \frac{\partial T_{\text{Э}}}{\partial \tau} = \frac{Q_{\text{ТЭН}}}{V_{\text{Э}}} - \frac{\alpha_{\text{Э}} \cdot (T_{\text{Э}} - T_{\text{СТ}}) \cdot F_{\text{СТВн}}}{V_{\text{СТ}}} \\ C_{\text{СТ}} \cdot \rho_{\text{СТ}} \cdot \frac{\partial T_{\text{СТ}}}{\partial \tau} = \frac{\alpha_{\text{Э}} \cdot (T_{\text{Э}} - T_{\text{СТ}}) \cdot F_{\text{СТВн}}}{V_{\text{СТ}}} - \frac{\alpha_{\text{СТ}} \cdot (T_{\text{СТ}} - T_{\text{ОС}}) \cdot F_{\text{СТНар}}}{V_{\text{СТ}}} \end{cases} \quad (1)$$

где $C_{\text{Э}}$, $C_{\text{СТ}}$ – удельная теплоемкость электролита и материала стенки соответственно; $\rho_{\text{Э}}$, $\rho_{\text{СТ}}$ – плотность электролита и материала стенки соответственно; $T_{\text{Э}}$, $T_{\text{СТ}}$ – температура электролита и материала стенки соответственно; τ – время протекания процесса; $V_{\text{Э}}$ – объем электролита; $\alpha_{\text{Э}}$, $\alpha_{\text{СТ}}$ – коэффициент теплоотдачи электролита и материала стенки соответственно; $F_{\text{СТВн}}$, $F_{\text{СТНар}}$ – площадь внутренней и внешней поверхностей стенки электролизера; $V_{\text{СТ}}$ – объем стенки электролизера; $T_{\text{ОС}}$ – температура окружающей среды.

Для решения систем таких уравнений в пакете MatLab удобно применять встроенные стандартные решатели для систем дифференциальных уравнений семейства ODE [4]. В данном случае используется решатель ode45. Решение этой системы, отражающее процесс нагрева электролита показано на рис.2.

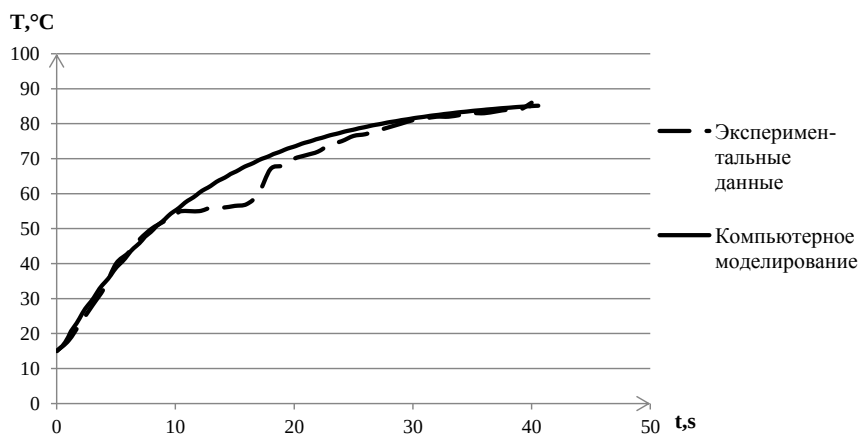


Рис. 2 – Сравнение полученных данных

Адекватность разработанной математической модели реальному объекту определялась путём сопоставления распределений температуры электролита, полученных с модели и реального электролизёра (рис.2). Среднеквадратичное отклонение составило 10%, что позволяет сделать вывод об адекватности разработанной модели.

Структурный синтез системы автоматического управления

Полученный переходный процесс разогрева электролита был описан инерционным звеном первого порядка без запаздывания, которое имеет вид [5]:

$$W(s) = \frac{k_{об}}{T_{об} \cdot s + 1}, \quad (2)$$

где K_o – коэффициент передачи объекта по управляющему воздействию; T_o – постоянная времени объекта.

Идентификация проводилась с помощью встроенного в пакет MatLab инструмента Curve Fitting Tool. Коэффициент передачи объекта по управляющему воздействию составил 1,21 °C/A а постоянная времени – 4429 с.

На основании полученных результатов идентификации для управления температурой электролита предполагается использовать одноконтурную САУ (рис.3). В качестве закона регулирования предполагается использовать П-, ПИ- и ПИД-регуляторы. Выбор наилучшего закона регулирования будет осуществлен после сопоставления показателей качества САУ.

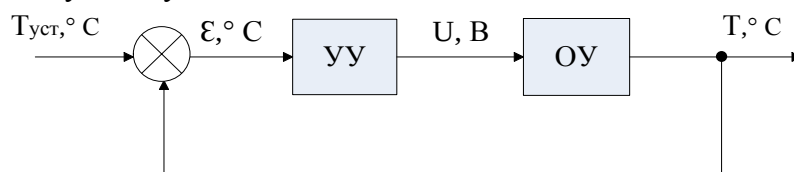


Рис. 3 – Структурная схема САУ: УУ – управляющее устройство (регулятор); ОУ – объект управления

Заключение

В результате проделанной работы разработано математическое описание тепловых процессов в экспериментальном фторном электролизере и произведено компьютерное моделирование изменения температуры электролита. Произведена идентификация тепловых процессов, протекающих в установке в процессе ее функционирования. Выполнен структурный синтез системы автоматизированного управления температурой электролита. На основании полученных результатов в настоящее время производится параметрический синтез системы автоматизированного управления и исследование САУ.

Список литературы

1. Галкин Н.П., Крутиков А.Б. Технология фтора. – М.: Атомиздат, 1968г. – 188 с.
2. Нагайцева О.В., Ливенцова Н.В., Денисевич А.А., Ливенцов С.Н. Синтез системы автоматического управления концентрацией HF для электролизера производства фтора. «Промышленные АСУ и контроллеры». – 2011. – №7. – С. 1-5.
3. Егорова О.В., Ливенцова Н.В., Денисевич А.А., Ливенцов С.Н., Ефремов Е.В. Модель системы электропитания серий электролизеров для компьютерного тренажера производства фтора. «Промышленные АСУ и контроллеры». – 2013 - №. 10 – С. 25-34.
4. Егорова О.В., Ливенцова Н.В., Денисевич А.А., Ливенцов С.Н., Ефремов Е.В. «Промышленные АСУ и контроллеры». – 2012. – №9. – С. 35-42.
5. Корытин А.М., Петров И.К. и др. Автоматизация типовых технологических процессов и установок: учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 432 с.

05.13.19

¹Н.А. Дородников, ²Л.А. Безбородов, ³С.А. Арустамов д.т.н., ⁴И.М. Дородникова к.т.н.¹Университет ИТМО, кафедра Проектирования и безопасности компьютерных систем,
Санкт-Петербург, nucleofag@gmail.com²Университет ИТМО, кафедра Высокопроизводительных вычислений,
Санкт-Петербург, lev.bezborodov@gmail.com³Университет ИТМО, проф. кафедры Проектирования и безопасности компьютерных систем,
Санкт-Петербург, sergey.arustamov@gmail.com⁴Волгоградский государственный технический университет, кафедра ПЭБЖ,
Волгоград, irmix0@gmail.com

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЛВС С УЧЁТОМ ТРЕБОВАНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В статье рассматриваются вопросы повышения безопасности ЛВС. Предлагается использовать математическую оценку уровня безопасности при проектировании сети. Для этого создается типовая универсальная схема сети и описывается ее математическая модель. Также, предлагается способ количественного анализа ее устойчивости к атакам.

Ключевые слова: универсальная схема ЛВС, математическая модель, информационная безопасность.

Сегодня вопросам информационной безопасности в локальных сетях предприятий уделяется всё большее внимание. Важно взять под контроль надежность, доступность и безопасность сети еще на этапе ее проектирования, учитывая при этом возможные варианты сетей, их совокупности и особенности, взаимное влияние элементов сети друг на друга[1].

Цель исследования - создание типовой универсальной схемы, на основе которой, путем ее оптимизации, возможно построить любую гетерогенную ЛВС, описать математическую модель, а также - произвести качественный и количественный анализ ее устойчивости к угрозам различного вида.

Очевидна необходимость создания модели сети, которая могла бы описать сеть любой сложности, вложенности, и работающую на любых технологиях. Для этого был введен термин “квазиподсеть” - набор конечных узлов и вложенных квазиподсетей, подключенных параллельно к единственной общей точке входа. Для описания топологии квазиподсети введем термин “представление”.

В данной модели задействованы три уровня модели OSI: физический, канальный и сетевой, в связи с чем, выделяются три представления: общее (учитывает топологию квазиподсети на всех трех уровнях модели OSI), канальное (учёт топологии квазиподсети на канальном уровне модели OSI (а также на физическом уровне, являющемся его компонентом)) и сетевое (учёт только топологии квазиподсети на сетевом уровне). Канальное и сетевое представления строятся на основе общего представления путём упрощения деталей, не относящихся к задействованным уровням модели OSI.

Общее представление квазиподсети объединяет в себе описание топологии квазиподсети на всех уровнях в модели OSI с физического по сетевой. Общее представление корневой квазиподсети строится на основе полного набора входных данных, введённых от пользователя (сведения о физической топологии системы, сведения о логической топологии системы. Группы пользователей распределяются по офисам при помощи технологии VLAN. При построении общего представления использовались следующие правила: коммутатор с настроенными VLAN-ами в каждом офисе; офисы объединяются при помощи маршрутизаторов; на входе в систему располагается сетевой экран.

В канальном представлении отражена физическая топология квазиподсети. Разветвителями являются любые физические устройства (маршрутизаторы, коммутаторы), осуществляющие “развилку” в сети. Построение канального представления происходит посредством превращения всех устройств, осуществляющих “развилку”, в разветвители, и опускания факта наличия VLAN-ов ввиду отсутствия их влияния на расчеты.

В сетевом представлении отражена сетевая топология квазиподсети. Разветвителями являются порты маршрутизаторов, порождающие подсети и/или VLAN-ы. Построение сетевого представления происходит посредством опускания факта наличия коммутаторов вследствие отсутствия их влияния на расчеты в данном представлении, а также объединения фрагментов каждого VLAN-а в один, руководствуясь следующим принципом: для каждого VLAN-а V удалить все фрагменты V из всех подсетей, объединить в один и подключить в качестве дочерней подсети к маршрутизатору R самого низкого уровня иерархии, в дочерних сетях которого содержится хотя бы один фрагмент VLAN-а V , а в дочерних сетях всех маршрутизаторов более высоких уровней иерархии нет ни одного фрагмента V , не принадлежащего дочерним сетям R .

Когда говорят о безопасности сети, имеют ввиду два аспекта: целостность и конфиденциальность. [2]

Целостность (безопасность структуры квазиподсети). В канальном представлении целостность означает устойчивость квазиподсети к нарушениям структуры на физическом (обрыв кабеля) и на канальном (нетаргетированная DDOS-атака) уровнях. В сетевом представлении целостность означает устойчивость квазиподсети к таргетированным DDOS-атакам; при рассмотрении этого типа атак учитывается наличие сетевого экрана на входе в корневую квазиподсеть.

Конфиденциальность (безопасность данных в квазиподсети). Исключая тривиальные случаи, в которых система заведомо полностью скомпрометирована, конфиденциальность описывает свойства квазиподсети, проявляющиеся исключительно на сетевом уровне: сложность получения несанкционированного доступа на чтение и/или запись к критичным данным.

Выберем целевые функции так, чтобы они обладали аддитивностью: недоступность в канальном представлении; недоступность в сетевом представлении; конфиденциальность в сетевом представлении.

Недоступность в канальном представлении (НКП) - функция зависимости степени нарушения структуры конечного узла или квазиподсети от времени (0 - ненарушенная структура; 1 - абсолютно нарушенная структура). При агрегировании квазиподсети совокупная НКП рассчитывается через НКП конечных узлов, вложенных квазиподсетей и связей, ведущих к ним, по следующей формуле:

$$\text{НКП}_G = \text{НКП}_{g_0} * \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N \text{НКП}_{g_i} * \text{НКП}_{l_{oi}},$$

где g_i - узлы и вложенные квазиподсети квазиподсети G ,

g_0 - устройство в точке входа в G , а l_{oi} - соединения между g_0 и g_i .

В простейшем случае НКП узла или соединения можно задать следующей формулой (скорость выхода из строя узла пропорциональна степени выхода его из строя):

$$\text{НКП}(t) = 2 - 2^{\frac{t}{t_0}}, t \leq t_0, \\ 1, t > t_0$$

где t_0 - наработка на отказ (гарантированная производителем продолжительность работы устройства).

Недоступность в сетевом представлении (НСП) - функция зависимости степени “проседания” узла или связи (отношения скорости передачи данных к скорости передачи в штатном режиме) от времени и интенсивности таргетированной атаки. При агрегировании квазиподсети совокупная НСП рассчитывается через НСП конечных узлов, вложенных квазиподсетей и связей, ведущих к ним, по следующей формуле:

$$\text{НСП}_G = \text{НСП}_{g_0} * \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N \text{НСП}_{g_i},$$

где g_i - узлы и вложенные квазиподсети квазиподсети G ,

g_0 - устройство в точке входа в G .

В простейшем общем случае НСП узла можно задать формулой

$$\text{НСП}(I, t) = \begin{cases} \frac{It}{V_0}, & It \leq V_0 \\ 1, & It > V_0 \end{cases}$$

где V_0 - объём оперативной памяти маршрутизатора,

I - интенсивность атаки (в единицах Гб/с).

В случае модификаций зависимость будет более сложной. Например, при добавлении интеллектуальной системы распознавания мусорного трафика НСП может быть описана формулой

$$\text{НСП}(I, t) = \begin{cases} \frac{It}{V_0}, & It \leq V_l \\ 0, & It > V_l \end{cases}$$

где V_l - пороговый объём отсекаемого “мусорного” трафика.

Из закрытых узлов выбирается (в качестве одной из переменных в задаче оптимизации) сервер - целевой узел, содержащий критические данные. Будем считать взломом несанкционированный доступ к серверу извне.

Конфиденциальность в сетевом представлении (КСП) - время между входом сигнала в узел/квазиподсеть и выходом из него/неё. Целевой функцией является минимальное время доступа извне (через открытые узлы, с учётом времени доступа извне к самим открытым узлам) к серверу. Она считается путём суммирования КСП квазиподсети, непосредственно содержащей открытый узел, КСП квазиподсети, непосредственно содержащей сервер, и КСП всех узлов на кратчайшем пути между этими квазиподсетями.

В простейшем случае КСП маршрутизатора задаётся формулой

$$\text{КСП} = v \cdot S^L,$$

где L - длина пароля административной учётной записи маршрутизатора,

S - объём алфавита, из которого берутся символы для пароля, а

v - длительность единичной неуспешной попытки авторизации.

При закрытии некоторых портов маршрутизатора его КСП может быть задана формулой

$$\text{КСП} = \frac{v}{n} \cdot S^L,$$

где n - доля незакрытых портов маршрутизатора.

Таким образом, в данной работе была разработана типовая универсальная схема ЛВС, а также описана ее математическая модель, показывающая устойчивость сетей к угрозам различного вида путем расчета значений ключевых параметров информационной безопасности.

Список литературы

1. Дородников, Н.А. Проблемы развития корпоративных локальных сетей / Дородников Н.А., Дородникова И.М. // Инновационные информационные технологии : матер. междунар. науч.-практ. конф., г. Прага, Чехия, 22-26 апр. 2013 г. В 4 т. Т. 2 / МИЭМ НИУ ВШЭ [и др.]. - М., 2013. - С. 75-79.
2. Дородников, Н.А. Пути решения проблем локальных сетей на этапах планирования и эксплуатации / Дородников Н.А., Дородникова И.М., Арустамов С.А. // Сборник научных трудов SWorld. - 2013. - Вып. 4, том 12. - С. 66-70.

05.08.00

А.Ю. Дуженко

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова,
кафедра маневрирования и управления судном, Санкт-Петербург, duzhenko.arthur@mail.ru

ТРЕБОВАНИЯ К МОРСКИМ СУДАМ, ПЕРЕВОЗЯЩИМ РАДИОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В настоящее время наблюдается интенсивные перевозки радиоактивных грузов, которые связаны с развитием и широким использованием технологий на основе радиоактивных материалов. Для минимизации возможных рисков необходимо соблюдать предусмотренные в этом случае действующие правила. В статье проанализированы требования к морским судам, перевозящим радиоактивные материалы.

Ключевые слова: *опасный груз класса 7, транспортировка, радиоактивные материалы, технические требования, грузовое помещение, контейнеровоз, МК МПОГ.*

Транспортировка радиоактивных веществ морскими судами является высоко рентабельным и наиболее безопасным способом перевозки опасных грузов. Однако для минимизации возможных рисков необходимо неукоснительно соблюдать все предусмотренные в этом случае действующие правила.

Таким образом, соблюдение требований установленных к судам, перевозящим радиоактивные материалы имеет важное значение. Этим и объясняется актуальность исследования.

Целью данной научной работы является анализ требования к морским судам, перевозящим радиоактивные материалы.

Суда, перевозящие радиоактивные материалы, должны быть освидетельствованы Регистром и иметь Свидетельство о пригодности для перевозки опасных грузов.

Освидетельствование судов производится с учетом одобренного Главным управлением Регистра проектного обоснования, подтверждающего соответствие конструкции, оборудования и снабжения судна и его грузовых помещений требованиям Кодекса ММОГ / Правил МОПОГ с учетом требований грузоотправителя (грузополучателя) по безопасной перевозке радиоактивного материала и действиям в аварийной ситуации.

При подготовке к составлению грузового плана требуется учесть необходимость погрузки на судно груза радиоактивных материалов в последнюю очередь, а разгрузки - в первую очередь.

Данный метод грузообработки, во-первых, позволит сократить время пребывания груза на борту, следовательно, уменьшить дозу облучения членов экипажа; во-вторых, уменьшается риск повреждения упаковок, контейнеров с опасными грузами класса 7 другими грузами при их погрузке-разгрузке.

Для достижения минимально возможного уровня облучения членов экипажа необходимо не превышать минимальных расстояний от груза до рабочих мест и помещений надстройки, указанных в Санитарно-эпидемиологическом заключении, разрешающем проводить работы с источниками ионизирующего излучения на транспортном средстве, и, по возможности, размещать груз на наибольшем удалении, экранировать другими грузами, избегать размещения груза на верхней палубе.

Также, для расчета безопасных расстояний и оптимального размещения грузов можно применять утвержденные Министерством транспорта РФ расчетные методики, учитывающие физические характеристики груза (энергию и вид излучения), но, в любом случае минимальное расстояние до груза не должно быть менее указанного в санитарно-эпидемиологическом заключении, а расчетная мощность эквивалентной дозы не должна

превышать контрольного уровня, согласованного с Госсанэпидслужбой на транспорте (в соответствии с НРБ-99, ОСПОРБ-99).

Радиоактивные материалы должны быть хорошо закреплены. Находящиеся рядом грузы также должны быть соответствующим образом закреплены во избежание их смещения во время рейса и повреждения опасного груза.

Упаковка или транспортный пакет при условии, что средний тепловой поток у поверхности не превышает 15 Вт/м, а непосредственно окружающий их груз не находится в мешках или пакетах, может перевозиться среди упакованного груза, кроме случаев, когда компетентным органом в соответствующем сертификате на упаковку или перевозку может быть оговорено особое требование (пункт 565 Правил МАГАТЭ №ST-I).

При размещении груза на судне необходимо учитывать требования пунктов 566-569 и таблиц IX и X Правил МАГАТЭ № ST-I:

- за исключением случаев исключительного использования, общее число упаковок, транспортных пакетов и грузовых контейнеров на борту одного перевозочного средства должно ограничиваться таким образом, чтобы общая сумма транспортных индексов на борту перевозочного средства не превышала следующих установленных значений.

Таблица - Пределы транспортных индексов для грузовых контейнеров и перевозочных средств, не находящихся в условиях исключительного использования:

Тип грузового контейнера или перевозочного средства	Предельная общая сумма транспортных индексов для грузового контейнера или на борту перевозочного средства
Грузовой контейнер малый	50
Грузовой контейнер большой	50
Морское судно	
1. Трюм, отсек или обозначенная часть палубы:	
- упаковки, транспортные пакеты, малые грузовые контейнеры	50
- большие грузовые контейнеры	200
2. Судно в целом: упаковки, транспортные пакеты, малые грузовые контейнеры	200
большие грузовые контейнеры	не ограничено

В отношении грузов материала HYA-1 (LSA-I) не устанавливается каких-либо ограничений по сумме транспортных индексов.

В случае если груз транспортируется в условиях исключительного использования, не устанавливается каких-либо ограничений по сумме транспортных индексов на борту одного перевозочного средства.

Уровень излучения в обычных условиях перевозки не должен превышать 2 мЗв/ч в любой точке на внешней поверхности транспортного средства и 0,1 мЗв/ч на расстоянии 2м от нее.

Любая упаковка или любой транспортный пакет, имеющие транспортный индекс превышающий 10, или любой груз, имеющий индекс безопасности по критичности более 50, должны транспортироваться только в условиях исключительного использования.

При перевозках вне условий исключительного использования груз должен обрабатываться и укладываться таким образом, чтобы общая сумма индексов безопасности по критичности в любой группе не превышала 50 и чтобы погрузка/разгрузка и укладка каждой группы проводилась с разделением групп на расстояние не менее 6м (по вертикали и горизонтали - т.е. между грузом в трюме и на крышке трюма расстояние должно быть не менее 6м по вертикали).

При перевозках в условиях исключительного использования груз должен обрабатываться и укладываться таким образом, чтобы общая сумма индексов безопасности по критичности в

любой группе не превышала 100 и чтобы погрузка/разгрузка и укладка каждой группы проводилась с разделением групп на расстояние не менее 6м (по вертикали и горизонтали). Пространство между группами можно заполнять другими грузами под контролем грузоотправителя (или по согласованию с ним).

Для грузов, перевозимых в условиях исключительного использования, уровень излучения не должен превышать 10 мЗв/ч в любой точке внешней поверхности любой упаковки или транспортного пакета и может превышать 2 мЗв/ч только при условии, если:

1.1. транспортное средство оборудовано ограждением, которое в обычных условиях перевозки предотвращает доступ посторонних лиц внутрь огражденной зоны, и

1.2. предусмотрены меры по закреплению упаковки или транспортного пакета таким образом, чтобы их положение внутри транспортного средства в условиях обычной перевозки осталось неизменным, и

не производится никаких погрузочных или разгрузочных операций во время перевозки,

- уровень излучения не должен превышать 2 мЗв/ч в любой точке на внешней поверхности транспортного средства и 0,1 мЗв/ч на расстоянии 2м от нее.

Упаковки и транспортные пакеты, имеющие уровень излучения на поверхности более 2 мЗв/ч, если они не перевозятся на транспортном средстве в условиях исключительного использования, не должны перевозиться на борту судна специальным образом.

05.13.12

С.И. Закиров

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
аэрокосмический факультет, кафедра прикладной информатики, Москва, newins@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОПЕРАТИВНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ИХ НАДЕЖНОСТНЫЕ И СТОИМОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В работе представлены результаты изучения двух инфраструктурных методов повышения надежности распределенных вычислений, производимых на базе современных крупномасштабных вычислительных комплексов (кластеров) и центров хранения и обработки данных (ЦХОД), баланса между ними, а также влияния на стоимостные характеристики.

Ключевые слова: центр хранения и обработки данных, ЦОД, ЦХОД, дата-центр, техническое обслуживание и ремонт, надежность и стоимость, крупномасштабные вычислительные комплексы.

Одной из основных тенденций в области решения сложных вычислительных задач являются распределенные вычисления, сводящиеся к декомпозиции исходной задачи на несколько взаимосвязанных, каждая из которых будет выполняться на отдельном сервере. Образованная таким образом группа серверов называется *кластером*. Негативным фактором при этом является снижение вероятности успешного решения исходной задачи с ростом количества серверов в кластере. В противодействие этому используют *дублирование* вычислений одной и той же задачи на двух и более серверах.

В этом случае, как правило, устанавливается точная копия всего кластера во второй максимально независимый (с точки зрения инфраструктуры) центр обработки данных (ЦОД), удаленный территориально. Количество таких копий в зависимости от характера вычислений и желаемой надежности комплекса может варьироваться.

На рисунке 1 приведена общая схема вычислительного комплекса из n кластеров, каждый из которых состоит из m серверов, установленных в различных ЦОД.

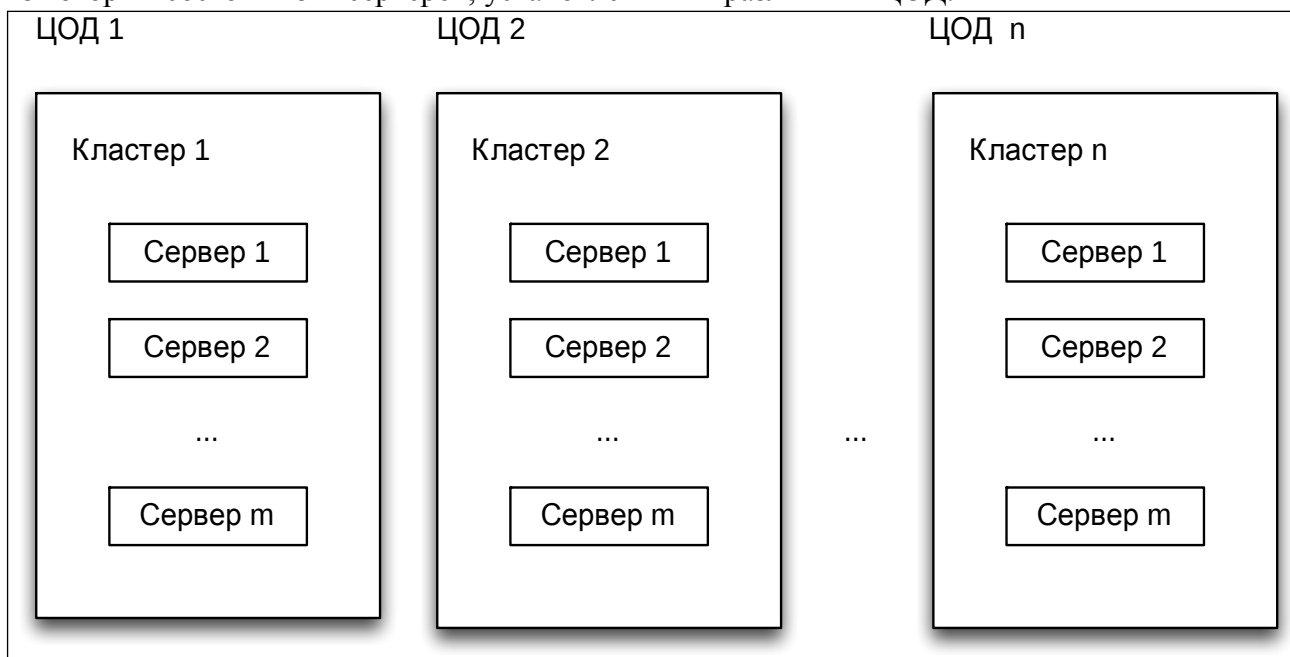


Рис. 1 – Общая схема комплекса из n кластеров по m серверов в n ЦОД

Серверы каждого кластера производят вычисление одной и той же задачи, соответственно, реальная полезная мощность составляет всего m серверов.

Метод дублирования вычислений крайне эффективен для повышения надежности, но его большим минусом является высокая стоимость.

Вторым инфраструктурным способом увеличения отказоустойчивости вычислений является организация оперативного технического обслуживания и ремонта всех компонент системы.

В рамках настоящей статьи рассматривается вопрос о балансе между дублированием вычислений и оперативностью технического обслуживания при заданном уровне надежности распределенных вычислений.

Модель для оценки стоимостных и надежностных характеристик вычислительной системы

Рассматриваемая ниже модель для оценки стоимостных и надежностных характеристик вычислительной системы характеризуется следующим образом:

1. На каждом сервере кластера с экспериментально определенной вероятностью за некоторый промежуток времени случается *отказ* - событие, которое препятствует завершению порученной этому серверу работы.

2. Серверы располагаются в *центрах обработки данных* (ЦОД) и используют их *инфраструктуру*, необходимую для выполнения вычислительных работ.

3. С экспериментально определенной вероятностью за некоторый промежуток времени в ЦОД происходит *отказ инфраструктуры* - событие, которое препятствует завершению работы, порученной всем серверам данного ЦОД.

4. В пределах кластера работа делится между серверами на непересекающиеся фрагменты, т.е. серверы выполняют свою работу без дублирования.

5. Для повышения надежности осуществляется дублирование вычислений *первичного* кластера (*мастера*) путем ее параллельного выполнения на еще одном (двух, трех и более) идентичном *вторичном* кластере (*слейве*), расположенном в другом ЦОД.

6. Если выполнены все распределенные непересекающиеся фрагменты работы на основных или вторичных кластерах, то она считается успешно завершенной.

Модель оценки надежности

Обозначим вероятность отказа одного сервера как P_{srv} , вероятность отказа инфраструктуры одного ЦОД как P_{dc} , количество серверов в кластере – N_{srv} , количество ЦОД – N_{dc} , надежность системы из n ЦОД, в каждом из которых по m серверов, – $V_{n,m}$.

События «успешное выполнение работы» и «работа выполнена неуспешно вследствие отказа» образуют в полную группу событий, поэтому:

$$V_{n,m} = 1 - P_{n,m}, \text{ где } P_{n,m} - \text{вероятность отказа системы.}$$

В простейшем случае $N_{\text{srv}}=1$ и $N_{\text{dc}}=1$.

Надежность системы из одного сервера в одном ЦОД:

$$V_{1,1} = (1 - P_{\text{srv}})(1 - P_{\text{dc}})$$

Вероятность отказа системы из одного сервера в одном ЦОД:

$$P_{1,1} = 1 - (1 - P_{\text{srv}})(1 - P_{\text{dc}})$$

В более сложном случае работа выполняется одновременно в нескольких ЦОД, в каждом из которых установлен один сервер: $N_{\text{dc}}=n$, $N_{\text{srv}}=1$. Вероятность отказа такой системы составляет:

$$P_{n,1} = (P_{1,1})^n = (1 - (1 - P_{\text{srv}})(1 - P_{\text{dc}}))^n$$

При разделении работы внутри одного ЦОД между несколькими серверами, т.е. $N_{\text{srv}}=m$, $N_{\text{dc}}=1$, вероятность отказа вычисляется следующим образом:

$$P_{1,m} = 1 - (1 - P_{\text{srv}})^m (1 - P_{\text{dc}})$$

В общем случае при разделении работы на непересекающиеся фрагменты, выполняемые на $N_{\text{srv}}=m$ серверах основного кластера, установленного в одном ЦОД, а также $N_{\text{dc}}=n$ вторичных кластеров, расположенных в других ЦОД с целью повышения отказоустойчивости, получим следующую надежность системы:

$$V_{n,m} = (V_{n,1})^m = (1 - P_{n,1})^m = (1 - (1 - (1 - P_{\text{srv}})(1 - P_{\text{dc}}))^n)^m$$

Пример расчет надежности системы

Обозначим P_{srv} и P_{dc} – экспериментально определенные вероятности сбоев сервера и инфраструктуры ЦОД, соответственно. В основе этих данных лежат публичные отчеты компании Google [1], [2].

Согласно этим данным, для крупномасштабного вычислительного комплекса (количество серверов $\sim 10^4$), расположенного в значительном количестве ЦОД ($\sim 10^1$) за длительный промежуток времени эксплуатации (~ 3 года) в течении которого периоды без технического обслуживания составляли от 3 до 168 часов получены значения для величин P_{srv} и P_{dc} , представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Вероятность отказа сервера и ЦОД за период времени

	168 часов	72 часа	24 часа	12 часов	3 часа
P_{srv}	0.009383310	0.004032253	0.001345895	0.000673174	0.000168336
P_{dc}	0.007526847	0.003232756	0.001078749	0.000539520	0.000134907

В таблице 2 представлены результаты расчетов на основе изложенной выше модели, использующие данные из таблицы 1. Расчет выполнен для комплекса из 10 000 серверов и вариантов, различающихся числом ЦОД (от 1 до 4).

Таблица 2 – Зависимость вероятности отказа системы от скорости технического обслуживания и коэффициента дублирования

	168 часов	72 часа	24 часа	12 часов	3 часа
$N_{\text{dc}} = 1$	1.75422E-74	2.45653E-32	2.90697E-11	5.39163E-06	0.04818702
$N_{\text{dc}} = 2$	0.058653974	0.591008369	0.942971936	0.985410011	0.999080995
$N_{\text{dc}} = 3$	0.953370257	0.996193368	0.999857724	0.999982182	0.999999721
$N_{\text{dc}} = 4$	0.999196205	0.999972342	0.999999655	0.999999978	0.999999999

Модель оценки затрат

При оценке затрат учитывались стоимость владения системой и затраты на её техническое обслуживание.

Стоимость владения системой

Стоимость владения одним кластером зависит от количества серверов, стоимости каждого из них, количества потребляемой электроэнергии и ее цены, а также стоимости потребленного электричества системой охлаждения для отвода вырабатываемого тепла.

Примем следующие условные обозначения для расчета минимальной стоимости года эксплуатации одного кластера, состоящего из N_{srv} серверов:

- C_{srv} – стоимость одного сервера в рублях;
- P_{srv} – среднее потребление сервера в кВт;
- T_{srv} – расчетный срок амортизации одного сервера в месяцах;
- $T_{\text{srv-o}}$ – рассматриваемый срок амортизации одного сервера в месяцах;
- C_{kwt} – стоимость 1 кВт электроэнергии в рублях;
- PUE (Power Usage Effectiveness) – коэффициент энергетической эффективности системы охлаждения, рассчитывается как отношение суммы потребленной сервером энергии и необходимого количества энергии для отвода выработанного тепла к сумме потребленной сервером энергии. Значение может колебаться в диапазоне от 1.1 до 2.0 в зависимости от типа системы охлаждения и климатических условий, в которых расположен ЦОД;

• C – итоговая стоимость владения за период $T_{\text{srv-o}}$.

$$C = (N_{\text{srv}} \times C_{\text{srv}} \times T_{\text{srv-o}} / T_{\text{srv}}) + (N_{\text{srv}} \times P_{\text{srv}} \times T_{\text{srv-o}} \times 24 \times 30 \times C_{\text{kwt}}) \times \text{PUE}$$

Для выполнения расчетов возьмем значения из таблицы 3.

Таблица 3 – Значения параметров для модели расчета стоимости

N_{srv}	C_{srv}	$T_{\text{srv-o}}$	T_{srv}	P_{srv}	C_{kwt}	PUE
10 000	120 000 руб.	12 мес.	36 мес.	0.1 кВт	2 руб.	1.5

В итоге минимальная годовая стоимость владения одним кластером, состоящим из 10 000 современных серверов, составит не менее 426 млн рублей.

Расчет стоимости оперативного технического обслуживания кластера

В рассматриваемом случае не учитывались затраты на комплектующие, т.к. они являются константами при любой интенсивности технического обслуживания.

Примем следующие условные обозначения для выполнения расчетов:

T – период времени в часах, за который производится расчет;

C_{salary} – среднерыночная стоимость работы одного сотрудника в рублях с учетом всех дополнительных расходов за выбранный период T ;

T_{worker1} – количество рабочих часов одного сотрудника за период T ;

N_{srv} – количество обслуживаемых серверов в ЦОД;

$N_{\text{srv-norm}}$ – норма количества оборудования в эксплуатации на одного сотрудника (1000 серверов/человека);

N_{worker} – необходимое количество сотрудников (с полной занятостью) для проведения работ по устранению 95% отказов в срок от 3 до 12 часов;

C_{org} – стоимость внедрения и обслуживания ТООР-системы с учетом организации обучения сотрудников и реорганизацией процессов;

C – итоговая стоимость организации всех ТООР-процессов при устранении 95% отказов в срок от 3 до 12 часов.

В общем случае стоимость вычисляется по формуле:

$$C = (C_{\text{salary}} \times N_{\text{worker}}) + C_{\text{org}}$$

Необходимое количество инженеров вычисляется из системы:

$N_{\text{worker}} = T / T_{\text{worker1}}$, при этом с учетом правил безопасности

$N_{\text{worker}} = 2 \times T / T_{\text{worker1}}$, а также согласно норме

$N_{\text{worker}} \geq N_{\text{srv}} / N_{\text{srv-norm}}$

Произведем расчет стоимости оперативного технического обслуживания за один календарный год, взяв значения из таблицы 4.

Таблица 4 – Значения для модели расчета стоимости обслуживания

T	C_{salary}	T_{worker1}	N_{srv}	$N_{\text{srv-norm}}$	C_{org}
8760 часов	1 090 000 руб.	1810 часов	10 000	1000	20 000 000 руб.

Итоговая стоимость организации всех ТООР-процессов не превысит 31 млн рублей при устранении 95% отказов в срок от 3 до 12 часов.

Анализ результата расчетов и выводы

Из таблицы 2 очевидно, что крупномасштабные вычислительные комплексы абсолютно бессмысленно располагать в одном ЦОД, т.к. даже при наивысшей достижимой скорости обслуживания система будет крайне ненадежна.

Четырехкратное резервирование однозначно является избыточным для большинства прикладных задач практически при любой скорости обслуживания, может применяться лишь для наиболее критичных приложений.

Таблица 5 – Зависимость надежности от стоимости вычислительной системы при различных применяемых методах для ее повышения

Стоимость млн.руб.	426	457	852	883	1278	1309	1704	1735
Дублирование	0.0000	0.0000	0.0586	0.0586	0.9533	0.9533	0.9992	0.9992
Обслуживание	0.0481	0.0481	0.9970	0.9990	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999

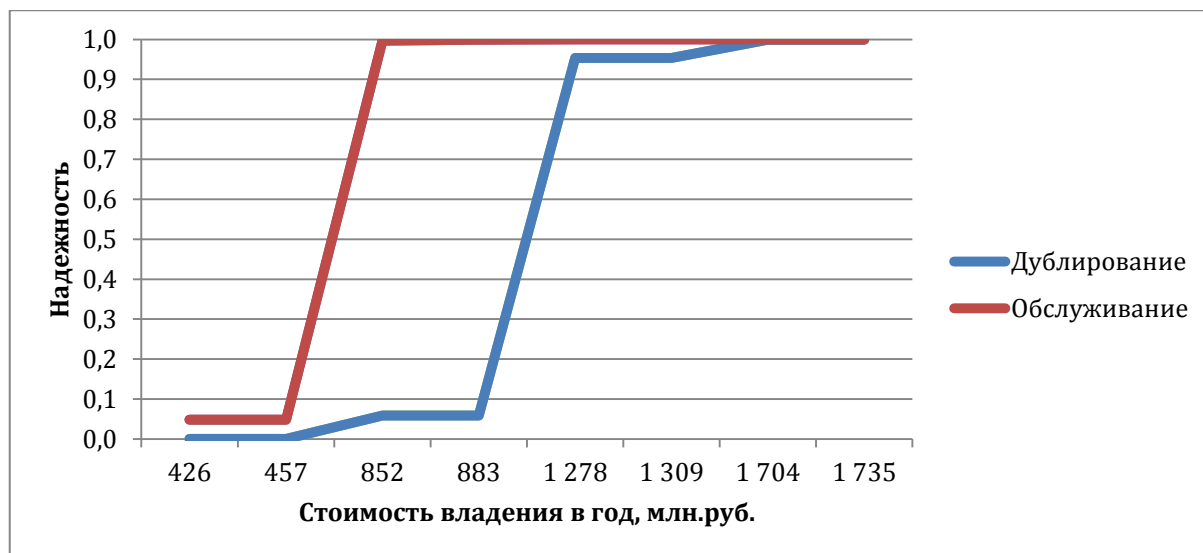


Рис. 2 – Зависимость надежности от стоимости вычислительной системы при различных применяемых методах для ее повышения

В таблице 5 и на рис. 2 представлены результаты, отражающие зависимости надежности крупномасштабного вычислительного комплекса с эффективной вычислительной мощностью в 10 000 серверов от стоимости годового владения с использованием только дублирования и устранением отказов в течение 7 суток («Дублирование»), а также при дополнительной организации оперативного технического обслуживания («Обслуживание»), с устранением отказов в течение 3-12 часов с момента их возникновения. Из них следует вывод: организация своевременного технического обслуживания крупномасштабных вычислительных комплексов позволяет, снижая сроки устранения неисправностей, уменьшить количество ЦОД при сохранении достаточной надежности всей системы, обеспечивая значительную экономию операционного бюджета компании, позитивно влияя на связанные финансовые показатели оценки всей ее деятельности.

Таким образом, организация оперативного технического обслуживания является экономически эффективным методом повышения надежности распределенных вычислений, производимых на базе современных крупномасштабных вычислительных комплексов.

Список литературы

1. *Pinheiro E.*, Failure Trends in a Large Disk Drive Population (2007), http://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/ru//archive/disk_failures.pdf
2. *Meisner D., Sadler C.M., Barroso L.A., Weber W.D., Wenisch T.F.*, Power Management of Online Data-Intensive Services (2011), <http://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/ru//pubs/archive/37062.pdf>

05.02.08

Т.Н. Иванова д.т.н., О.В. Никитина к.т.н.

Чайковский филиал ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Воткинский филиал ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова»,
Ижевск, rsg078829@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Повышение надежности и точности выполнения функционального назначения, эксплуатационных свойств и долговечности плоских деталей из легированных сталей технологическими методами является одним из существенных резервов повышения эффективности механической обработки. Процессы формирования остаточных напряжений в поверхностном слое определяются комплексом одновременно действующих факторов: силами резания, тепловыми процессами и структурными превращениями в обрабатываемых сталях. Поэтому реальная картина напряженного состояния поверхностного слоя детали может быть получена лишь при учете всех указанных факторов.

Ключевые слова: шлифование, остаточные напряжения, плоские детали, тепловые явления, силовые факторы, поверхностный слой, структура сталей, легированные стали.

В процессе эксплуатации большинства плоских деталей основные нагрузки воспринимаются тонкими поверхностными слоями. В зависимости от физико-механических свойств, структурного и напряженного состояния поверхностных слоев толщиной несколько микрометров, долговечность работы деталей, изготовленных из одного и того же материала, может изменяться в несколько раз. Окончательное напряженное состояние поверхностного слоя формируется на операциях чистовой обработки – шлифования [1, 2, 6].

Процесс абразивной обработки характеризуется сложным комплексным воздействием на материал обрабатываемой детали. Среди основных причин вызывающих образование остаточных напряжений, следует выделить большие силы резания, высокие температуры в зоне контакта абразивного инструмента и детали, высокие скорости тепловых процессов. Следствием этих причин являются структурные превращения в поверхностном слое, которые, в свою очередь, и вызывают те или иные остаточные напряжения.

Согласно современным исследованиям [2 – 6 и др.] возникновению остаточных напряжений способствуют два фактора: остаточные пластические деформации в поверхностном слое под действием сил резания и термопластические деформации в результате температуры в зоне шлифования. Пластические деформации от действия тангенциальной составляющей силы резания приводят к упрочнению поверхностного слоя и появлению сжимающих остаточных напряжений, и чем выше температура в зоне контакта, тем больше растягивающие остаточные напряжения.

Особенности формирования температурных остаточных напряжений связаны с тем, как реагирует обрабатываемый материал на тепловые воздействия. Замечено, что величина и глубина распространения растягивающих остаточных напряжений пропорциональны мощности теплового источника, коэффициенту линейного расширения материала детали, модулю упругости и обратно пропорциональны объемной теплоемкости и пределу текучести материала [1, 2, 3].

Процесс возникновения остаточных напряжений при шлифовании может быть представлен следующей схемой. В начальный момент процесса шлифования, когда до высокой температуры нагревается тонкий поверхностный слой детали, он стремится

расшириться, но так как стеснен нижележащими слоями, то оказывается пластически сжатым. После выхода шлифовального круга из зоны контакта поверхностный слой детали сжимается, и, испытывая сопротивление со стороны нижележащих слоев, оказывается под действием растягивающих напряжений. При плоском шлифовании деталей возникает перепад температур ее верхней и нижней поверхностей, детали деформируются, приобретая выпуклую форму и расширение по толщине.

При шлифовании металлов, склонных к структурным превращениям, превалирующее влияние на образование остаточных напряжений оказывает тепловой фактор [1 - 6]. Под действием высоких температур в тонком поверхностном слое происходят структурные превращения, обусловленные объемными изменениями металла. Мартенситная структура, формируемая при закалке, имеет максимальный удельный объем и атомную решетку объемно-центрированного куба. Аустенитная структура более плотная, имеет наименьший удельный объем и атомную решетку куба с центрированными гранями.

Закаленные конструкционные стали на мартенсит с последующим низким отпуском термостабильны до температур 220°C для углеродистых сталей и 350°C для легированных сталей. Затем наступает распад мартенсита с образованием более равновесных структурных свойств и фазового состава. При температуре свыше 700°C наступает процесс аустенизации стали, когда мартенсит без промежуточного распада переходит в аустенит. Эти структуры и промежуточные распады имеют разную плотность, из них меньшую мартенсит, большую аустенит. Изменение объема в этом случае зависит от количества растворенного углерода. При шлифовании, когда в зоне контакта инструмента и детали возникают температуры выше термоустойчивости мартенсита, происходит его распад и возникает прижог отпуска, связанный с замятием некоторого слоя и уменьшением объема металла. Попутно с распадом мартенсита в структуре происходят процессы, приводящие к охрупчиванию материала: синеломкость углеродистых сталей или отпускная хрупкость легированных сталей [3].

Если деталь после закалки имела мартенситную структуру, то при шлифовании под действием высоких температур в тонком поверхностном слое происходят структурные превращения: мартенсит распадется на трооститно - сорбитную структуру, и увеличится процентное содержание аустенита. При этих условиях поверхностный слой, уменьшаясь в объеме, стремится сжаться. Этому сжатию препятствует подповерхностный глубинный слой, который имеет большой удельный объем. При таком сочетании разнообъемных структур в поверхностном слое возникают большие растягивающие напряжения, которые по своей величине будут превышать предел прочности металла.

Если температурные напряжения в процессе нагрева будут выше предела текучести материала, то после снятия нагрева в детали остаются остаточные напряжения. При этом механические свойства обрабатываемой детали в процессе нагрева остаются либо постоянными, либо изменяются. В первом случае это возможно, например, для углеродистых сталей если нагрев происходит до температуры 250°C , для жаропрочных сплавов – до 450°C . Определение остаточных напряжений происходит следующим образом. По оси абсцисс откладывается значение температурной деформации, с обратным знаком. Точка A характеризует напряжение в детали в конце нагрева. При снятии нагрева деформации и напряжения изменяются по прямой AA_1 ; отрезок OA_1 выражает искомые остаточные напряжения. При больших значениях ε_1 (рис. 1, б) в процессе разгрузки образуются повторные пластические деформации.

Если в процессе шлифования и затем последующего охлаждения механические свойства обрабатываемого материала изменяются, то определение остаточных напряжений будет следующим. Пусть нагрев осуществляется от температуры t_1 до t_k . На рис. 2 даны кривые деформирования для указанных температур и двух промежуточных. Вначале рост температурных напряжений идет вдоль кривой 01, при дальнейшем повышении температуры осуществляется переход на кривую 02. Температурное напряжение после нагрева численно равно ординате точки A .

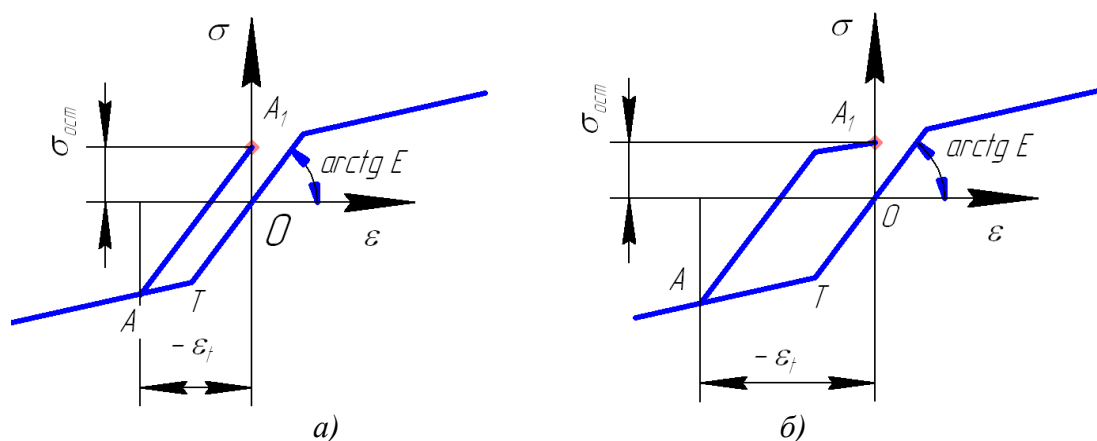


Рис. 1. Образование остаточных напряжений при шлифовании детали с постоянными механическими свойствами материала: *а* – при упругих деформациях; *б* – при наличии вторичных пластических деформаций

При действии смазочно-охлаждающей жидкости во время шлифования происходит уменьшение температуры от t_K до t_3 температурные напряжения будут уменьшаться по прямой $A3^*$, параллельной начальному участку кривой OA (рис. 2). При понижении температуры от t_3 до t_2 напряжение изменяется по прямой 3^*2^* , параллельной начальному участку кривой 03 . В точке A' остаточные напряжения достигают предела текучести и дальнейший рост остаточных напряжений становится небольшим.

На рис. 3 показана схема распределения температуры при шлифовании. В поверхностном слое в процессе шлифования возникают сжимающие температурные напряжения, которые превосходят предел текучести материала и вызывают пластическую деформацию сжатия. После окончания процесса шлифования эта деформация сохраняется и приводит к растяжению поверхностного слоя со стороны внутренних слоев, и к образованию в нем растягивающих остаточных напряжений.

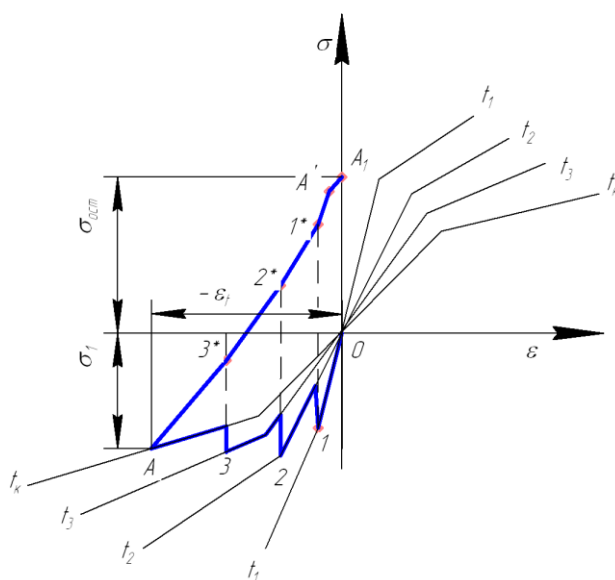


Рис. 2. Определение температурных напряжений в процессе нагрева с учетом изменения механических свойств материала

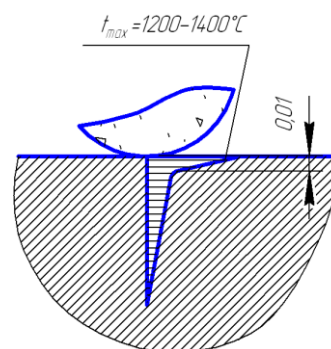


Рис. 3. Распределение температуры при шлифовании

Для высоколегированных сталей при охлаждении образуется поверхностный белый мартенситный слой толщиной до 0,2 мм. Это означает, что мартенситное превращение происходит при увеличении объема обрабатываемого материала, а пластическая деформация сжатия уменьшает объем и приводит к образованию остаточных напряжений сжатия. Однако

замечено [2, 3, 6], что влияние температурных деформаций сказывается больше, и после шлифования в поверхностном слое наблюдаются растягивающие остаточные напряжения до 90 МПа на глубине 20 ÷ 50 мкм. Пластическая деформация, связанная с силой резания, при шлифовании имеет второстепенное значение.

Таким образом, в результате проведенных исследований остаточных напряжений при шлифовании создаются температурные напряжения сжатия, превосходящие предел текучести обрабатываемого материала, т.е. температурная деформация, превышает упругую. После шлифования размеры детали возвращаются к прежним, но наличие остаточной деформации сжатия вызывает появление остаточных напряжений растяжения. При действии смазочно-охлаждающей жидкости в процессе шлифования детали остаточные напряжения достигают предела текучести, и дальнейший рост остаточных напряжений становится небольшим.

Список литературы

1. Технологические остаточные напряжения. / Под ред. А.В. Подзея. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.
2. Долганов, А.М. Теоретическая модель прогнозирования остаточных напряжений при шлифовании. // А.М. Долганов, В.А. Жуланов, Т.Н. Иванова, В.Ф. Юрков // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – вып. № 3 2012. – С. 110 - 113.
3. Иванова, Т.Н. Исследование обрабатываемости труднообрабатываемых сталей при шлифовании. / Т.Н. Иванова, Д.Д. Галиханов // Естественные и технические науки. – Москва: ООО «Издательство «Спутник+», 2012. – вып. № 3 (59) 2012. – С. 173 – 176.
4. B.M. Brzhozovskii, O.V. Zakharov. Adjustment of Circular Grinders in Machining Conical Surfaces. Russian Engineering Research, 2014, Vol. 34, Issue 4. Pp. 218-221.
5. O.V. Zakharov, A.V. Korolev, A.A. Korolev and A.V. Kochetkov. The Method of the Centerless Roundness Measuring with Corrective Adjustment. Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 756. P. 556-564.
6. Иванова Т.Н., Чепкасов В.И. Технологическое напряжение в пластинах. Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – вып. № 4 2014. – С. 115-118.

05.02.22

В.А. Карпычев, А.В. Копылова

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ),
кафедра «Машиноведение, проектирование, стандартизация и сертификация»,
Москва, xzx-mot@yandex.ru

БАЙЕСОВ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ РИСКА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

В статье изложены вопросы прогнозирования риска с помощью Байесовой статистики, включая требуемые входные данные для анализа. Дана характеристика Байесова подхода к оценке риска и его отличительных особенностей. Произведена оценка риска на примере тормозного оборудования грузовых вагонов.

Ключевые слова: *безопасность, риск, вероятность, Байесова сеть, тормозное оборудование.*

Байесовы сети применимы в любой области, где необходимо установить неизвестные переменные с помощью структурных взаимосвязей. Их используют в таких областях как: медицина, генетика, экономика, моделирование изображений, исследование космоса и в мощных современных поисковых системах. В основном Байесовы сети применяются для изучения причинно-следственных взаимосвязей, с целью улучшения понимания проблемной области и прогнозирования последствий внешних воздействий.

В результате анализа статистической информации за период 2011-2013 г.г. об отказах технических средств грузовых вагонов, оказавших влияние на безопасность движения, было выявлено, что 46% отказов приходится на тормозное оборудование. Далее представлен пример оценки риска возникновения задержки поезда в результате отказа тормозного оборудования.

Для формирования модели системы оценки риска обозначим вероятности, следующим образом:

1. Вероятности возникновения отказов тормозного оборудования грузового вагона в движении (P_A);
2. Вероятность проведения внеплановых ремонтных работ тормозного оборудования грузового вагона (P_E).
3. Вероятность возникновения задержки поезда в результате отказа тормозного оборудования грузового вагона (P_F).

Используя накопленную статистическую информацию, определяем события, влияющие на вероятность возникновения задержки поезда в результате отказа тормозного оборудования.

Событие 1 – Проведения внеплановых ремонтных работ тормозного оборудования грузовых вагонов. В соответствии с результатами обработки данных справочной системы ИСС ВЧД, в таблице 1 представлены результаты вычислений P_E .

Таблица 1

Вероятность внепланового ремонта тормозного оборудования

Тормозное оборудование	P_E	
	true	false
Событие 1	0,294	0,706

Событие 2 – Отказ тормозного оборудования грузового вагона при движении поезда. Включает в себя зафиксированные отказы воздухораспределителя, тормозного цилиндра, арматуры тормозного оборудования, тормозной магистрали, резервуаров, ручного тормоза, авторежима, рычажной передачи и тормозного подвешивания.

Таблица 2

Вероятность отказа технического средства грузового вагона в движении		
Тормозное оборудование	P_{A200}	
	true	false
Событие 2	0,0623	0,9377

Зависимость между событиями и последствием представлена на рисунке 1, который представляет собой фрагмент байесовой сети. В данном примере переменным достаточно принимать булевы значения (true/false), так как целью данной оценки является определение вероятности возникновения/не возникновения отказа и следующего за ним последствия.

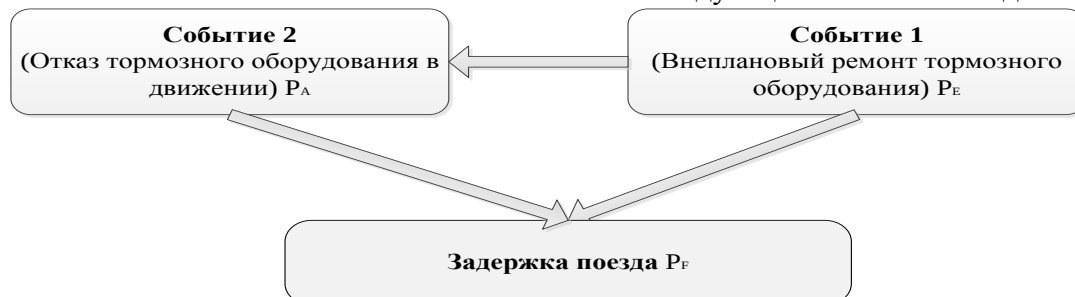


Рис.1 Фрагмент байесовой сети зависимости задержки поезда от событий, связанных с тормозным оборудованием.

Полная вероятность возникновения последствия – задержка поезда, вычисляется по формуле 1:

$$(P_F = true) = \sum_{P_A, P_E \in \{t, f\}} P_E \cdot (P_A / P_E) \cdot (P_F = true / P_A, P_E) \quad (1)$$

В таблице 3 на основе статистических данных и экспертной оценки определена зависимость между отказом тормозного оборудования при движении поезда и внеплановым ремонтом данного оборудования.

Таблица 3

Априорные условные вероятности		
P_E	$(P_A = true / P_E)$	$(P_A = false / P_E)$
true	0,118	0,882
false	0,053	0,947

Вероятность того, что произойдёт отказ тормозного оборудования во время движения поезда по производственной при ремонте причине, определяется с помощью по формуле 2:

$$(P_A = true / P_E = true) = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n O_{Ki} / O_{Ki} \geq M_P \right\}}{V_P} = \frac{987}{8332} = 0,118 \quad (2)$$

где:

n - количество отказов технического средства грузового вагона;

M_P - множество отказов технических средств, характеризующее производственную при ремонте причину отказа;

K - кодовый номер, характеризующий наименование технического средства;

O_K – отказ k -ого технического средства;

$\sum_{i=1}^n O_{Ki}$ - суммарное количество отказов технического средства грузового вагона за выбранный период;

V_P - среднее арифметическое значение гружёных вагонов, находящихся в движение на московской дороге за период 2010-2013 годы.

Вероятность того, что произойдёт отказ тормозного оборудования во время движения поезда по эксплуатационным причинам, определяется по формуле 3:

$$(P_A = \text{true}/P_E = \text{false}) = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n O_{Ki} / O_{Ki} \geq M_{\text{э}} \right\}}{V_{\Gamma}} = \frac{470}{8332} = 0,056 \quad (3)$$

Где:

$M_{\text{э}}$ - множество отказов технических средств, характеризующее эксплуатационную причину отказа.

Вероятность отказа тормозного оборудования вагона с учётом данных о внеплановом ремонте данного оборудования вычисляется по формуле 4:

$$(P_A = \text{true}) = \sum_{P_E=\{t,f\}} P_E \cdot (P_A = \text{true}/P_E) \quad (4)$$

$$(P_A = \text{true}) = 0,294 \cdot 0,053 + 0,706 \cdot 0,118 = 0,016 + 0,083 = 0,099$$

Вероятность задержки поезда при условии, что на данное последствие оказал влияние отказ в тормозном оборудовании определяется по формуле 5.

$$(P_{\text{Задержка200}} = \text{true}/P_A = \text{true}) = \sum_{P_E=\{t,f\}} P_E \cdot (P_{\text{Задержка200}} = \text{true}/P_A = \text{true}, P_E) \quad (5)$$

$$(P_{\text{Задержка200}} = \text{true}/P_A = \text{true}) = 0,294 \cdot 0,192 + 0,706 \cdot 0,065 = 0,056 + 0,046 = 0,102$$

Для определения вероятности задержки поезда были установлены условные вероятности, представленные в таблице 4.

1) Зависимость между произведённым внеплановым ремонтом тормозного оборудования и произошедшим отказом данного оборудования во время движения поезда, определяется по формуле 6 и составляет:

$$(P_F = \text{true}/P_A = \text{true}, P_E = \text{true}) = \frac{\frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^n O_i}{N} = \frac{522}{2726} = 0,192 \quad (6)$$

где:

m – количество отчётных периодов;

$\sum_{i=1}^n O_i$ - суммарное количество отказов тормозного оборудования грузового вагона за

выбранный период;

N - среднее количество отремонтированного тормозного оборудования за период 2010-2013 год.

2) Вероятность того, что произойдёт задержка поезда в результате отказа тормозного оборудования грузового вагона во время движения поезда, определяется с помощью накопленной статистической информации о событиях, приведших к задержкам поездов за период 2010-2013 годы, и составляет:

$$(P_F = \text{true}/P_A = \text{true}, P_E = \text{false}) = \frac{\frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^n H_i}{V_{\Gamma}} = \frac{547}{8332} = 0,065 \quad (7)$$

где:

$\sum_{i=1}^n H_i$ - суммарное количество отказов тормозного оборудования грузового вагона

приведших к задержкам поезда.

Таблица 4

Априорные условные вероятности		
P_A	<i>true</i>	<i>true</i>
P_E	<i>true</i>	<i>false</i>
$(P_F = \text{true}/P_A, P_E)$	0,192	0,065
$(P_F = \text{false}/P_A, P_E)$	0,808	0,935

В результате оценки получаем, что риск возникновения задержки поезда в результате отказа тормозного оборудования грузового вагона составляет $P_F = 0,102$. При этом

вероятность отказа тормозного оборудования с учётом влияния внепланового ремонта на эксплуатационные показатели увеличилась с 0,062 до 0,099.

Риск задержки поезда в результате отказа тормозного оборудования вычисляется по формуле 8. Величина риска, полученная с помощью Байесовой сети, составила $R = 0,01$, что в 2,5 раза выше статистических данных.

$$R = (P_A/P_E) \cdot P_F = 0,099 \cdot 0,102 = 0,01 \quad (8)$$

Байесов подход является одним из этапов системы управления рисками, он позволяет спрогнозировать величину риска отказа технических средств грузового вагона и тем самым своевременно запустить процедуру предупреждающих мероприятий. Данный подход, один из немногих, которые позволяют оценить последствия количественным способом, а так же позволяют оценить риск, объединяя данные эксплуатации и технического обслуживания.

Список литературы

1. Лисенков В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов: Учеб. Для вузов. – М.: ВИНТИ РАН, 1999. - 332 с., ил.
2. Научная сессия МИФИ-2003. 5-ая Всероссийская научно-техническая конференция «нейроинформатика-2003»: лекции по нейроинформатике. Часть 1. – М.: МИФИ, 2003.
3. Костерев В.В. Надёжность технических систем и управление риском: учебное пособие – М.: МИФИ, 2008-280 С.

05.13.19

А.О. Киклевич, Е.А. Хлюпина, Г.П. Жигулин к.т.н.

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, институт комплексного военного образования, кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз, Санкт-Петербург, ikvo@grv.ifmo.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ АПОСТЕРИОРНОЙ МОДЕЛИ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

В настоящей работе представлены результаты исследований по определению ключевых параметров, влияющих на построение апостериорной модели угроз безопасности информации, в соответствии с положениями действующего законодательства Российской Федерации в области защиты информации, а также определен порядок пересмотра актуальности угроз безопасности информации.

Ключевые слова: *информационная безопасность, модель угроз, ключевые параметры модели угроз, персональные данные.*

Построение модели угроз безопасности информации является одним из основополагающих аспектов при проектировании и построении любой системы защиты информации. В общем случае при проведении проектных работ учитывается характер обрабатываемой информации, уровень ее конфиденциальности, приоритет сохранения свойств информационной безопасности, а также состав используемой информационно-телекоммуникационной (ИТ) инфраструктуры. При этом одними из обязательных элементов являются моделирование, просчет и анализ поведения предполагаемого (вероятного) нарушителя. В результате их определения получается итоговый документ, на основании которого можно судить об актуальности угроз, вероятности их возникновения, а также степени опасности наиболее вероятных деструктивных последствий их реализации. Данная модель угроз будет являться априорной, не учитывающей организационные меры защиты, средства защиты информации, инженерные сооружения и возможности модернизации ИТ. Данные изменения должны быть учтены в следующих итерациях документа или апостериорной модели угроз.

Зачастую построение апостериорной модели угроз более сложный и трудоемкий процесс. В статье [1] автором рассмотрен общий случай построения модели угроз с использованием в качестве основных критериев формализации логических связей и вывода соответствующих параметрических характеристик. Также описана логика применения данного подхода при формировании отдельной экспертной системы, определяющей актуальность угроз безопасности информации, на примере базовой модели угроз безопасности персональных данных [2]. Данная логика применима для большинства современных подходов к построению моделей угроз, однако в самой статье автор не затрагивает проблему определения ключевых параметров при построении апостериорной модели угроз безопасности информации.

Определение ключевых параметров при построении апостериорной модели угроз безопасности информации является основополагающим моментом при повторном рассмотрении уже сформированной априорной модели угроз. В зависимости от способа формирования и выявления данных параметров будет изменяться не только актуальность моделируемой угрозы, но и логически отсеиваться способы ее реализации. Рассмотрим общий случай построения модели угроз безопасности информации. Построим априорную модель угроз для абстрактной организации. В качестве базиса будет рассматриваться модель [2]. С учетом текущих изменений законодательной базы РФ в области защиты персональных данных [3] в данной априорной модели [2] необходимо:

- определить принадлежность рассматриваемых угроз к определенным типам;
- произвести определение уровня защищенности обрабатываемых персональных данных;
- выбрать компенсирующие меры защиты.

Рассмотрим в качестве примера организацию, для которой являются актуальными угрозы 3 типа, а уровень защищенности обрабатываемых персональных данных – 3. Для рассматриваемой организации на законодательном уровне [4] закреплён базовый набор компенсирующих мер, однако данный набор не учитывает наличие уже построенной априорной модели угроз, а также действующую в организации ИТ инфраструктуру. Таким образом, базовый набор компенсирующих мер может не в полной мере перекрывать рассматриваемые угрозы. В таблице 1 приведена обобщенная априорная модель угроз безопасности персональных данных для рассматриваемой организации.

Таблица 1 - Общая априорная модель угроз безопасности персональных данных [А]

№ п/п	Угроза	Актуальность угрозы
1.	Угроза, реализуемая в ходе загрузки операционной системы	Не актуальна
2.	Угроза, реализуемая после загрузки операционной системы независимо от того, какая прикладная программа запускается пользователем	Не актуальна
3.	Угроза, реализация которой определяется тем, какая из прикладных программ запускается пользователем, или фактом запуска любой из любой из прикладных программ	Не актуальна
4.	Угроза анализа сетевого трафика	Актуальна
5.	Угроза сканирования сети	Актуальна
6.	Угроза выявления пароля	Актуальна
7.	Угроза подмены доверенного объекта сети и передачи по каналам связи сообщений от его имени с присвоением его прав доступа	Актуальна
8.	Угроза навязывания ложного маршрута сети	Актуальна
9.	Угроза внедрения ложного объекта сети	Актуальна
10.	Угроза отказа в обслуживании	Актуальна
11.	Угроза распространения файлов, содержащих несанкционированный исполняемый код	Актуальна
12.	Угроза удалённого запуска приложения путём переполнения буфера приложений-серверов	Актуальна
13.	Угроза удалённого запуска приложения путём использования возможностей удалённого управления системой, предоставляемых скрытыми программными и аппаратными закладками, либо используемыми штатными средствами	Актуальна
14.	Угроза создания нештатных режимов работы программных (программно-аппаратных) средств за счёт преднамеренных изменений служебных данных, игнорирования предусмотренных в штатных условиях ограничений на состав и характеристики обрабатываемой информации, искажения (модификации) самих данных и т.п.	Актуальна
15.	Угроза внедрения вредоносных программ (программно-математического воздействия)	Актуальна

Определим апостериорную модель угроз безопасности персональных данных с учетом базового набора компенсирующих мер защиты для 3-го уровня защищенности. Получившаяся апостериорная модель представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Апостериорная модель угроз безопасности персональных данных [Б] с учетом использования базового набора компенсирующих мер

№ п/п	Угроза	Актуальность угрозы
1.	Угроза, реализуемая в ходе загрузки операционной системы	Не актуальна
2.	Угроза, реализуемая после загрузки операционной системы независимо от того, какая прикладная программа запускается пользователем	Не актуальна
3.	Угроза, реализация которой определяется тем, какая из прикладных программ запускается пользователем, или фактом запуска любой из любой из прикладных программ	Не актуальна
4.	Угроза анализа сетевого трафика	Актуальна
5.	Угроза сканирования сети	Не актуальна
6.	Угроза выявления пароля	Не актуальна
7.	Угроза подмены доверенного объекта сети и передачи по каналам связи сообщений от его имени с присвоением его прав доступа	Актуальна
8.	Угроза навязывания ложного маршрута сети	Актуальна
9.	Угроза внедрения ложного объекта сети	Не актуальна
10.	Угроза отказа в обслуживании	Актуальна
11.	Угроза распространения файлов, содержащих несанкционированный исполняемый код	Не актуальна

12.	Угроза удалённого запуска приложения путём переполнения буфера приложений-серверов	Не актуальна
13.	Угроза удалённого запуска приложения путём использования возможностей удалённого управления системой, предоставляемых скрытыми программными и аппаратными закладками, либо используемыми штатными средствами	Актуальна
14.	Угроза создания нештатных режимов работы программных (программно-аппаратных) средств за счёт преднамеренных изменений служебных данных, игнорирования предусмотренных в штатных условиях ограничений на состав и характеристики обрабатываемой информации, искажения (модификации) самих данных и т.п.	Актуальна
15.	Угроза внедрения вредоносных программ (программно-математического воздействия)	Не актуальна

При сравнении таблиц 1 и 2 становится очевидным, что несмотря на использование полного набора базовых компенсирующих мер, часть рассматриваемых угроз по-прежнему являются актуальными. Для их перекрытия в документе [4] приведены расширенные, дополнительные меры, выбор которых перекладывается на каждую конкретную организацию. В рассматриваемом случае возникает неопределенность выбора необходимых дополнительных мер защиты ввиду размытости ключевых параметров, влияющих на поведение как объекта защиты, так и самой системы защиты информации.

В ходе проведенного анализа нормативно-правовой документации РФ в области защиты информации в общем, и персональных данных в частности, были определены следующие ключевые параметры, влияющие на построение апостериорной модели угроз, к которым относятся:

1. Условие (совокупность условий) возникновения угрозы $A: \{0,1\}$.
2. Значение комбинаторного показателя полноты перекрытия угроз организационными и техническими мерами защиты B_n , где n – угроза безопасности информации.
3. Степень перекрытия угрозы выбранными организационными мерами защиты $C1: \{1 \dots 100\}$.
4. Степень перекрытия угрозы выбранными техническими мерами защиты $C2: \{1 \dots 100\}$.
5. Опасность реализации угрозы, исходя из показателя важности защищаемого актива организации, а также уровня опасности предполагаемого нарушителя $D1: \{0, 0.25, 0.5, 0.7, 1\}$.
6. Опасность предполагаемого нарушителя, исходя из присущих ему способов реализации угрозы $D2: \{0, 0.25, 0.5, 0.7, 1\}$.
7. Коэффициент реализуемости угрозы с учетом текущих мер защиты $K = (0 \dots 1)$.

Таким образом, в итоговой апостериорной модели угроз безопасности информации актуальность ($^{\circ}F_n$) каждой угрозы может быть получена исходя из априорного значения (F_n) путем умножения на коэффициент K , получаемый по следующей формуле с использованием определенных ключевых параметров:

$$K_n = A * (D1_n * D2_n) * (B_n - (C1_n + C2_n))$$

Список литературы

1. А.С. Исаев «Автоматизация процесса формирования модели угроз безопасности персональных данных, при их обработке в информационных системах персональных данных, на основе теории построения экспертных систем»: Научно-технический вестник Поволжья № 2, 2014, с – 130-133.
2. Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных (выписка), ФСТЭК России, 2008 г.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 1 ноября 2012 г. N 1119 г. Москва
4. Приказ ФСТЭК России N 21 от 18 февраля 2013 г. «Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» от 18 февраля 2013 г.

05.13.06

Ю.П. Кирин, В.В. Кирьянов

Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета (БФ ПНИПУ), г. Березники, kvas@bf.pstu.ru

УПРАВЛЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОМ АППАРАТА ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА С РЕГУЛИРУЕМЫМ МАНОМЕТРИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ РЕАКЦИОННОЙ МАССЫ

В статье рассмотрены результаты разработки алгоритмов управления тепловым режимом конденсатора, обеспечивающих получение плотного невозгораемого конденсата магния и хлорида магния.

Ключевые слова: вакуумная сепарация, губчатый титан, оборотный конденсат магния и хлорида магния, водяное и воздушное охлаждение конденсатора, тепловой режим конденсатора, алгоритмы управления охлаждением конденсатора.

Очистку губчатого титана от примесей магния и хлорида магния проводят в аппарате сепарации, состоящем из герметично состыкованных друг с другом реактора и конденсатора. В аппарате создают вакуум и нагревают реактор с реакционной массой (титановая губка, поры которой заполнены магнием и хлоридом магния) в шахтной электропечи. При этом примеси испаряются из реакционной массы, отгоняются из реактора в конденсатор и конденсируются на его внутренних стенках. В результате образуется конденсат, состоящий из магния и хлорида магния. Конденсат является оборотным и повторно используется в последующем цикле производства губчатого титана [1].

Взаимодействие получаемого в процессе вакуумной сепарации оборотного конденсата с воздухом приводит к его окислению и увлажнению, что снижает качество губчатого титана [2, 3].

Одним из основных факторов, определяющих условия конденсации и структуру получаемого конденсата, является тепловой режим конденсатора, зависящий от скорости отгонки примесей из реакционной массы и режима охлаждения поверхности конденсатора. При существующей технологии скорость отгонки летучих примесей не регулируется, испарение и удаление примесей из реакционной массы протекают неравномерно. Почти весь магний и около 95% хлорида магния отгоняются из губчатого титана в первые несколько часов процесса сепарации, протекающего в течение 70...80 часов. Это обстоятельство осложняет условия осаждения паров в конденсаторе.

В промышленном производстве применяют водяное и воздушное охлаждение конденсатора. Воду на охлаждение подают сразу после установки аппарата в шахтную печь и не изменяют интенсивность водяного охлаждения в ходе процесса сепарации. Через предварительно заданное время, определяемое на основании практического опыта, переходят с водяного на воздушное охлаждение и сохраняют воздушное охлаждение конденсатора до конца сепарации. Выбор режимов охлаждения конденсатора и переключение осуществляет технолог – лицо, принимающее решение (ЛПР).

Такой тепловой режим конденсатора способствует объемной конденсации паров и образованию рыхлого конденсата магния и хлорида магния, который часто увлажняется и самовозгорается в контакте с воздухом при демонтаже аппарата сепарации. Условия для объемной конденсации паров возникают в начальный период отгонки (так называемый период «бурной» отгонки) при сравнительно холодной стенке конденсатора, а также в конечный период, когда паров поступает мало, а охлаждение интенсивное. Авторы работ [2, 3] экспериментально определили на серии промышленных процессов сепарации оптимальный температурный режим конденсатора, обеспечивающий получение плотного

невозгораемого конденсата путем изменения интенсивности теплосъема с конденсатора на разных стадиях процесса. Для этого в начале отгонки снижали интенсивность теплосъема с поверхности конденсатора, подавая воду на охлаждение не сразу после установки аппарата в печь сепарации, а спустя некоторое время, необходимое для прогрева стенки конденсатора до температуры $400...550^{\circ}\text{C}$ (режим с задержкой подачи охлаждающей воды). В конце отгонки снижали интенсивность теплосъема переходом с водяного охлаждения конденсатора на воздушное при температуре наружной стенки $200...250^{\circ}\text{C}$, характеризующей момент отгонки в конденсатор основного количества магния и хлорида магния.

Таким образом, для улучшения условий конденсации магния и хлорида магния предложен тепловой режим, предусматривающий комбинированное охлаждение конденсатора: воздушное охлаждение в начальной стадии сепарации; водяное охлаждение в течение отгонки основного количества примесей; воздушное охлаждение по окончании отгонки основной части примесей. Однако в промышленных условиях не удалось реализовать такой режим из-за сложности измерения температуры наружной стенки конденсатора.

Предложенная в работе [4] технология вакуумной сепарации губчатого титана в аппарате с регулируемым манометрическим режимом реакционной массы открывает новые возможности управления охлаждением конденсатора. Особенность такой технологии состоит в том, что, с одной стороны, обеспечивается повышение скорости прогрева реакционной массы за счёт регулирования вакуума (остаточного давления) в аппарате сепарации программным регулятором (ПР). С другой стороны, программное регулирование остаточного давления позволяет разделить процесс сепарации на три периода (рис.1):

А – нагрев реакционной массы до максимальной температуры без испарения примесей;

Б – отгонка из реакционной массы в конденсатор основного количества примесей;

В – отгонка из реакционной массы незначительного количества оставшихся примесей.

В представленных на рис.1 графиках P_1 , P_0 – задания ПР остаточного давления. Остаточное давление в аппарате регулирует ПР в течение периодов А и Б в режимах без дегазации и с дегазацией реакционной массы. В последующем периоде В отгонка оставшихся примесей проводится при непрерывном вакуумировании аппарата в соответствии с действующей в металлургическом цехе технологической инструкцией.

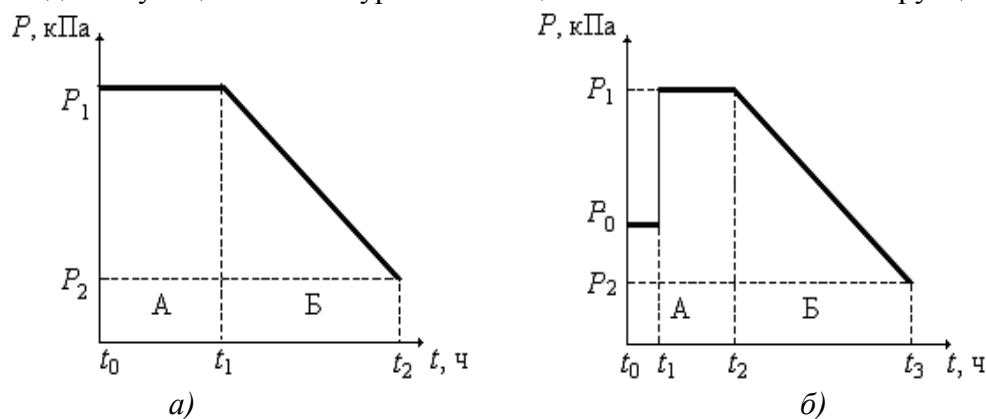


Рис.1 - программное управление остаточным давлением аппарата сепарации:

а – без дегазации реакционной массы; б – с дегазацией реакционной массы

Указанные периоды могут быть использованы для совершенствования режима охлаждения конденсатора.

В самом деле, в течение периода А (до начала испарения примесей) необходимо использовать воздушное охлаждение конденсатора, в течение периода Б (в процессе отгонки основной массы примесей) – водяное охлаждение, в течение периода В (по окончании отгонки основной массы примесей) – воздушное охлаждение.

Таблица 1

Режимы охлаждения конденсатора в процессе программного управления остаточным давлением в аппарате сепарации

Период сепарации	Задание ПР	Продолжительность участка программы	Режим охлаждения конденсатора
А	P_3^A	$t_0 < t < t_1$	Воздушное
Б	$P_3^B(t) = P_3^A - k \cdot t$	$t_1 < t \leq t_2$	Водяное
В	—	—	Воздушное

Таблица 2

Режимы охлаждения конденсатора с дегазацией реакционной массы в процессе программного управления остаточным давлением в аппарате сепарации

Период сепарации	Задание ПР	Продолжительность участка программы	Режим охлаждения конденсатора
А	$P_{3н}^A$	$t_0 < t < t_1$	Воздушное
А	$P_{3к}^A$	$t_1 < t < t_2$	Воздушное
Б	$P_3^B(t) = P_{3к}^A - k \cdot t$	$t_2 < t \leq t_3$	Водяное
В	—	—	Воздушное

Тогда программа изменения задания $P_3(t)$ ПР может использоваться для управления режимом охлаждения конденсатора (см.рис.1). При этом в течение периода А задание $P_3^A = P_1 = \text{const}$. В течение периода Б задание ПР снижается по линейному закону до остаточного давления P_2 в соответствии с алгоритмом $P_3^B(t) = P_3^A - k \cdot t$, где k – коэффициент пропорциональности. Для технологического режима с дегазацией реакционной массы задание ПР в начале периода А равно $P_{3н}^A = P_0 = \text{const}$. В конце периода А задание равно $P_{3к}^A = P_1 = \text{const}$. Изменение задания ПР в течение периода Б аналогично рассмотренному выше алгоритму, т.е. $P_3^B(t) = P_{3к}^A - k \cdot t$ (табл. 1, 2).

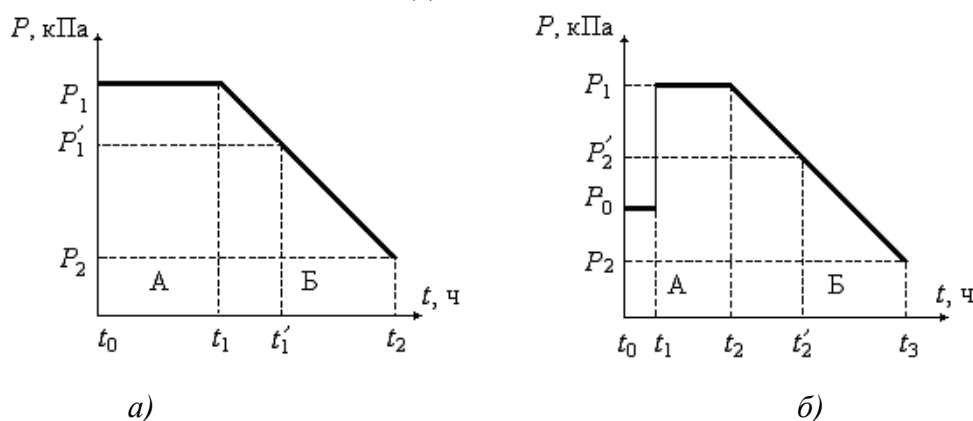


Рис.2 - Программное управление остаточным давлением аппарата сепарации с задержкой подачи воды на охлаждение конденсатора: а – без дегазации реакционной массы; б – с дегазацией реакционной массы

Таблица 3

Режимы охлаждения конденсатора с задержкой подачи охлаждающей воды в процессе программного управления остаточным давлением в аппарате сепарации

Период сепарации	Задание ПР	Продолжительность участка программы	Режим охлаждения конденсатора
А	P_3^A	$t_0 < t < t_1$	Воздушное
Б	$P_3^B(t) = P_3^A - k \cdot t$	$t_1 < t < t'_1$	Воздушное
Б	$P_3^B(t) = P_3^A - k \cdot t$	$t'_1 < t \leq t_2$	Водяное
В	—	—	Воздушное

Для управления режимом охлаждения конденсатора с задержкой подачи охлаждающей воды достаточно на участке программы периода Б задать значения остаточного давления P'_1 , P'_2 , при которых пары примесей нагревают стенку конденсатора до температуры 400...550°С (рис. 2). Интервалы времени $(t_1 - t'_1)$, $(t_2 - t'_2)$ при этом определяют задержку подачи охлаждающей воды (табл. 3, 4).

Таблица 4

Режимы охлаждения конденсатора с задержкой подачи охлаждающей воды и дегазацией реакционной массы в процессе программного управления остаточным давлением в аппарате сепарации

Период сепарации	Задание ПР	Продолжительность участка программы	Режим охлаждения конденсатора
А	$P_{3н}^A$	$t_0 < t < t_1$	Воздушное
А	$P_{3к}^A$	$t_1 < t < t_2$	Воздушное
Б	$P_3^B(t) = P_{3к}^A - k \cdot t$	$t_2 < t < t'_2$	Воздушное
Б	$P_3^B(t) = P_{3к}^A - k \cdot t$	$t'_2 < t \leq t_3$	Водяное
В	—	—	Воздушное

Информация о длительности и моментах смены участков программы может использоваться в АРМ оператора в виде сообщений для ЛПР о рекомендуемых режимах охлаждения конденсатора (см. табл. 1, 2, 3, 4).

Предложенные подходы позволяют оптимизировать тепловой режим конденсатора аппарата сепарации и улучшить за счёт этого структуру оборотного конденсата и качество получаемой титановой губки.

Список литературы

1. Тарасов А.В. Металлургия титана. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 328 с.
2. Мальшин В.М., Черепанова Е.А., Андреев А.Е. и др. О тепловом режиме при вакуумной сепарации магниетермической реакционной массы. // Цветные металлы. – 1981. – №7. – С.60-62.
3. Александровский С.В., Титаренко А.И., Черепанова Е.А. и др. Об условиях рациональной подготовки оборотного конденсата при магниетермическом получении титана. // Цветные металлы. – 1982. – №4. – С.59-61.
4. Кишин Ю.П., Кирьянов В.В. Вакуумная сепарация губчатого титана с регулируемым манометрическим режимом. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – №5. – С. 223-226.

05.02.11

А.В. Ключников, М.Д. Шагимуратов

Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина,
Снежинск, a.klyuchnikov@bk.ru

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ АСИММЕТРИЧНОСТИ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ МАСС ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В работе представлены результаты создания автоматизированной системы, предназначенной для определения параметров массо-инерционной асимметрии летательных аппаратов. Одним из основных узлов разработанной системы является динамический балансировочный стенд с газовыми опорами. Приведены конструкция стенда и структурная схема системы.

Ключевые слова: балансировочный стенд, тело вращения, геометрическая ось, центр масс, главная центральная ось инерции, дисбаланс, измерения.

Задача обеспечения точности движения высокоскоростного летательного аппарата (ЛА), например, выполненного в виде симметричного длинномерного тела вращения конической формы, снижения до минимума возможности реализации аномальных режимов полёта, требует для своего решения экспериментального определения и обеспечения после изготовления и сборки аппарата параметров, характеризующих асимметричность в распределении его масс и оказывающих значительное влияние на лётно-технические характеристики. К указанным характеристикам относятся, в частности, величина поперечного смещения центра масс и угол отклонения продольной ГЦОИ от его геометрической оси. Для их определения используют специализированное контрольно-технологическое оборудование (стенды), учитывающее конструктивные особенности ЛА [1, 2]. Однако эффективность использования стендового оборудования для контроля параметров массо-инерционной асимметрии (номинальные значения которых близки к нулю) существенно зависит от их динамической точности, которая определяется принятыми принципами построения механической и измерительных систем, используемого приборного и программного обеспечения. Анализ применяемых средств и методов контроля показал, что наиболее привлекательным для прецизионного определения параметров массо-инерционной асимметрии является использование диагностического комплекса, построенного на базе динамического балансировочного стенда [3].

На рисунке 1 представлена конструктивная схема низкочастотного динамического вертикального балансировочного стенда с жёсткими опорами, выполненными в виде двух соосных конических газостатических подшипников (ГСП). С верхним ГСП совмещён пневматический механизм раскрутки (пневмопривод вращения), а с нижним – пневматический механизм торможения (пневмотормоз).

Для определения искомых параметров ЛА устанавливается носком вниз и фиксируется (с помощью шпилек и крышки) внутри защитного технологического переходника, образуя при этом с переходником единую механическую систему – так называемый «сборный ротор». Применение переходника исключает возможность механического контакта контролируемого ЛА с балансировочным оборудованием в процессе выполнения измерений и обеспечивает материализацию второй (нижней) плоскости коррекции, используемой в процессе настройки измерительной системы стенда (при этом в качестве первой (верхней) плоскости коррекции используется штатная плоскость коррекции аппарата, обычно располагаемая вблизи торца аппарата) [4]. Вертикальное расположение оси вращения исключает прогибы корпуса под действием силы тяжести.

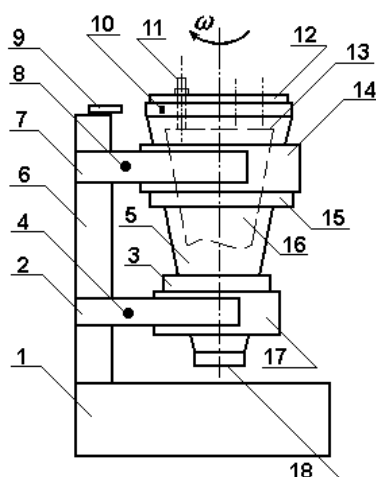


Рис. 1. Конструктивная схема балансировочного стенда:

- 1 – фундамент; 2 – верхняя колебательная подвеска; 3 – пневмотормоз; 4 – нижний датчик силы; 5 – технологический переходник; 6 – вертикальная стойка; 7 – нижняя колебательная подвеска; 8 – верхний датчик силы; 9 – световодный жгут фотодатчика; 10 – зеркальный светоотражатель фотодатчика; 11 – фиксирующая шпилька; 12 – крышка; 13 – верхняя плоскость коррекции; 14 – верхний ГСП; 15 – пневмопривод; 16 – контролируемый ЛА; 17 – нижний ГСП; 18 – нижняя плоскость коррекции

В качестве рабочего тела в процессе балансировки используется сжатый воздух, поступающий в ГСП, а также в механизмы раскрутки и торможения (через посредство пневмоэлектроклапанов) из заводской пневмосети низкого давления.

Искомые параметры массо-инерционной асимметрии рассчитывают по результатам определения значений и углов дисбалансов, действующих в плоскостях коррекции. Указанные параметры дисбалансов определяют по результатам измерений амплитуд и фаз вибраций ГСП, выполняемых с использованием пьезоэлектрических датчиков, установленных в упругих элементах колебательных подвесок ГСП, и оптоволоконного фотоэлектрического датчика-отметчика фазы [4]. Импедансное согласование пьезоэлектрических датчиков с входами устройства аналоговой обработки сигналов обеспечивают предварительные усилители напряжения, обладающие высоким входным сопротивлением, включённые в цепь каждого из двух измерительных каналов устройства. Также в состав устройства аналоговой обработки вибросигналов каждого измерительного канала входит фильтр низких частот (ФНЧ) и инструментальный усилитель, обеспечивающие расширение динамического диапазона входных сигналов аналого-цифрового преобразователя (АЦП) [5]. Измерительно-вычислительным и управляющим ядром системы является персональный компьютер (ПК). АЦП и устройства цифрового ввода-вывода, выполненные в виде электронных модулей, входят в состав ПК. Таймер-счётчик, тактовый генератор и двухканальное устройство аналоговой обработки сигналов реализованы в виде автономного прибора. Структурно-функциональная схема и логика функционирования системы приведены на рисунке 2.

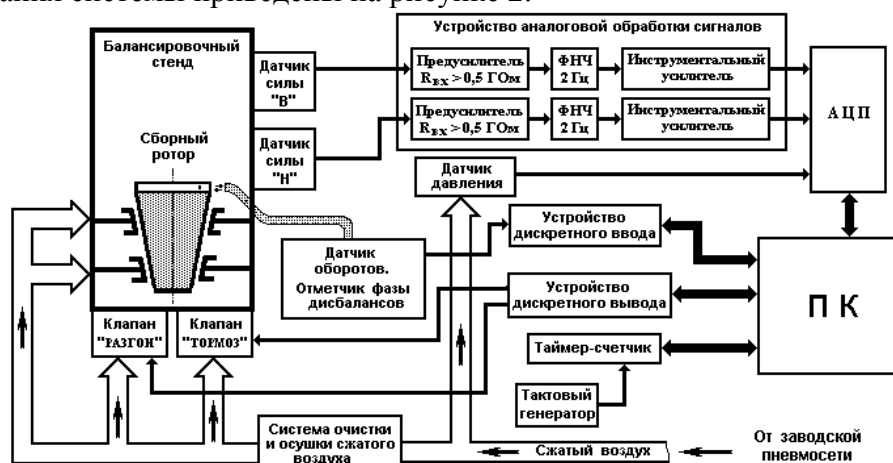


Рис. 2. Структурно-функциональная схема системы

ПК под управлением рабочей программы выполняет опрос датчиков стенда в режиме реального времени, контролирует частоту вращения ротора и давление сжатого воздуха на входе пневмораспределительной системы, формирует команды на включение (выключение) пневмоэлектроклапанов, при достижении сборным ротором заданной рабочей частоты вращения (на выбеге, после предварительной раскрутки до частоты, на 15% превышающей рабочую частоту вращения) формирует команду на запуск процесса оцифровки и регистрации в оперативной памяти (в течение ~2 секунд) вибросигналов, поступающих от датчиков силы. Далее ПК с применением процедуры Фурье-фильтрации выполняет математическую обработку зарегистрированных реализаций вибросигналов с целью выделения дискретных составляющих с частотой, равной рабочей частоте вращения сборного ротора, определяет их амплитуду и фазу [5], рассчитывает значения параметров массо-инерционной асимметрии ЛА и (при необходимости) рассчитывает параметры балансировочных грузов. Также ПК обеспечивает визуализацию балансировочного эксперимента и выдаёт на печать протокол балансировки. Математическая модель и методика модульной балансировки, а также расчётная схема сборного ротора рассмотрены в работах [4, 6, 7].

По результатам испытаний (с использованием эталонного ротора), рассмотренная система, построенная на базе вертикального динамического балансировочного стенда с коническими ГСП, при номинальной рабочей частоте вращения 2 Гц показала следующие характеристики точности измерений параметров массо-инерционной асимметрии. Погрешность определения величины поперечного смещения центра масс составила 0.01 мм в диапазоне измерений от 0.03 до 0.2 мм. Погрешность определения угла перекоса продольной ГЦОИ составила 1 угловую минуту в диапазоне измерений от 1 до 10 угловых минут. Результаты опытной эксплуатации подтвердили эффективность системы для прецизионного определения значений параметров массо-инерционной асимметрии и балансировки высокоскоростных ЛА с конической формой корпуса.

Список литературы

1. Матвеев Е.В., Крылов В.В., Кочкин Е.В. Оборудование для определения характеристик геометрии масс и массы космических летательных аппаратов // Научно-технические достижения. – 1992. – №5. – С. 40–44.
2. Матвеев Е.В., Кочкин Е.В., Виденкин Н.А. Новые автоматизированные стенды для контроля инерционных характеристик космических аппаратов // Материалы XXXII Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий. – Миасс: МСНТ, 2012. – С. 205.
3. Современные методы и средства балансировки машин и приборов / М.В. Баркан, Т.Т. Гаппоев, А.А. Геркус и др.; Под общ. ред. В.А. Щепетильникова. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
4. Ключников А.В., Михайлов Е.Ф., Чертков М.С. Диагностика характеристик асимметрии масс скоростных ЛА методом динамической балансировки // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №3. – С. 169–172.
5. Andreev S.V., Klyuchnikov A.V., Mikhailov E.F., Lysykh A.V. Peculiarities of measuring signals processing during detail's dynamic counterbalancing // Innovative Information Technologies: Materials of the International scientific-practical conference. Part 3 / Ed. Uvaisov S.U. – Moscow: HSE, 2014. – P. 238–242.
6. Ключников А.В. Методика планирования эксперимента по определению величины поперечного смещения центра масс корпусов деталей методом динамической балансировки в условиях влияния значительной паразитной массы // Материалы XXXI Всероссийской конференции «Наука и технологии». – Миасс: МСНТ, 2011. – С. 163–166.
7. Ключников А.В. Уточнённая математическая модель оценки и обеспечения параметров массо-инерционной асимметрии длиномерного роторного модуля // Труды международного симпозиума «Надёжность и качество 2012»: в 2-х томах / Под ред. проф. Н.К. Юркова. – Пенза: ПГУ, 2012. – Т. 1. – С. 224–227.

05.13.18

Е.Л. Кузнецова

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
аэрокосмический факультет, кафедра «Проектирование автоматических космических
комплексов», Москва, lareyna@mail.ru

ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС В НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧЕ С УЧЕТОМ РАЗЛОЖЕНИЯ СВЯЗУЮЩЕГО В АНИЗОТРОПНЫХ ТЕЛАХ

Математическое моделирование процессов тепломассопереноса в композиционных материалах представляет собой сложную комплексную проблему, которой уделяется значительное внимание не только теплофизиками, аэродинамиками, материаловедцами, но и математиками. В данной работе рассматривается плоская нестационарная задача теплопроводности с внутренней подвижной границей разложения связующего анизотропного композиционного материала. Данный класс задач представляет большой практический интерес для многих отраслей промышленности. В первую очередь это относится к проблемам теплозащиты обтекателей летательных аппаратов, разработке эффективной тепловой защиты сопловых блоков ракетных двигателей на твердом топливе, а также лопаток турбин энергетических установок.

Математическая модель процесса тепломассообмена строится на основе термодинамических соотношений в областях, ограниченных нестационарно подвижной внутренней границей, разделяющей области незатронутого материала и коксового остатка. Ее положение заранее неизвестно и должно быть определено в процессе решения задачи.

В качестве метода численного решения предложенной математической модели использован экономичный абсолютно устойчивый метод переменных направлений с экстраполяцией с применением интегралинтерполяционного метода Самарского А.А. Получены многочисленные результаты.

Ключевые слова: нестационарная задача, анизотропное тело, разложение связующего, тепломассообмен.

Введение

В работе, на основе идентифицированных законов разложения связующих и нелинейной фильтрации, предложена математическая модель двумерного нестационарного тепломассопереноса в анизотропных композиционных материалах в условиях фазовых превращений в подвижных областях разложения связующих композиционных материалов. Разработана модификация экономичного абсолютно устойчивого метода переменных направлений с экстраполяцией (МПНЭ) с использованием интегроинтерполяционного метода Самарского А.А., позволяющего сохранить второй порядок аппроксимации по пространственным переменным в нерегулярных узлах. На основе этого метода разработаны программный комплекс по расчету двумерных нестационарных температурных полей в незатронутой анизотропной среде и в пористой анизотропной области, поле давлений и компонентов вектора скорости фильтрации пиролизных газов в пористой области и учета массовой скорости фильтрации в соответствующих уравнениях теплопереноса. Решение этой задачи особенно актуально для исследования перспективных элементов ракетно-космической техники при гиперзвуковом обтекании.

Математическая модель. Для двумерной области, представленной на рис.1 с развитой границей фазовых превращений, рассматривается следующая математическая модель тепломассопереноса в анизотропных композиционных материалах.

Уравнения теплопереноса в областях I и II со следующими характеристиками переноса $c^{(k)}, \rho^{(k)}, \lambda_{11}^{(k)}, \lambda_{12}^{(k)}, \lambda_{22}^{(k)}$ (здесь и далее величины с индексом $k=1$ относятся к области исходного материала, а с $k=2$ - коксового остатка) имеют вид

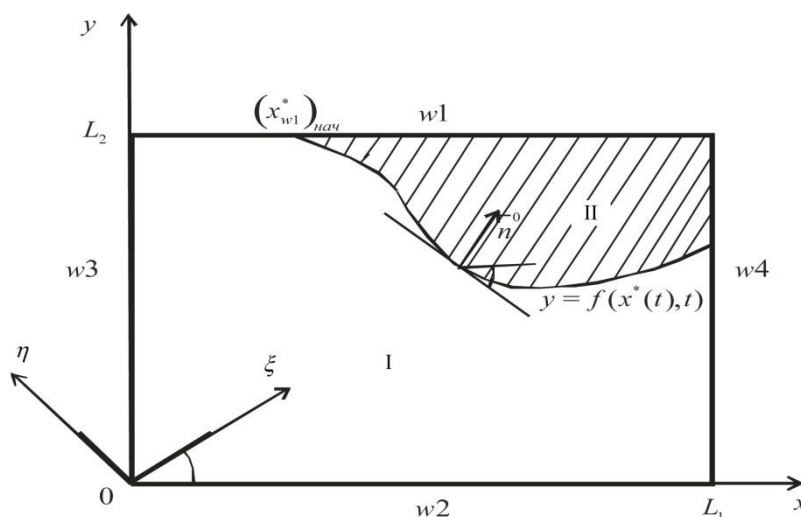


Рис. 1. Расчетная область

$$c^{(k)}(T) \rho^{(k)} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{11}^{(k)}(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{12}^{(k)}(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_{22}^{(k)}(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) -$$

$$- \begin{cases} 0, & \text{при } k=1 \\ \Pi \cdot \rho_{\Gamma} \cdot c_{p\Gamma}(V_{\Gamma}, \text{grad} T), & \text{при } k=2 \end{cases}, \quad (1)$$

$$x \in (0, L_1), \quad y \in \begin{cases} (0, f(x^*, t)), & \text{при } k=1 \\ (f(x^*, t), L_2), & \text{при } k=2 \end{cases}, \quad t > 0;$$

Здесь уравнение теплопереноса в области пористого остатка записано с учетом фильтрации пиролизных газов.

Краевые условия на границах $w1, w2, w3, w4$, с учетом того, что область разложения связующего выходит на эти границы, представляются в виде балансов конвективно-кондуктивных и лучистых тепловых потоков

$$\alpha_{wi}(T_{ei} - T_{wi}) - \left(\lambda_{21}^{(k)}(T) \frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{22}^{(k)}(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right)_{wi} - \varepsilon_{wi} \sigma T_{wi}^4 = 0, \quad x \in [0, L_1], \quad y = L_2, \quad (2)$$

$$t > 0, \quad i = 1, 2;$$

$$\alpha_{wj}(T_{ej} - T_{wj}) - \left(\lambda_{11}^{(k)}(T) \frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{12}^{(k)}(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right)_{wj} = 0, \quad j = 3, 4; \quad (3)$$

Краевые условия типа Стефана на подвижной границе, заменяющей область разложения связующего срединной кривой линией с температурой $T^{**} = (T_n^{**} + T_k^{**})/2$, равной среднему арифметическому температур начала T_n^{**} и окончания разложения связующего T_k^{**} имеют вид

$$\Lambda^{(2)} \text{grad} T \Big|_{y=f(x^*(t), t)+0} - \Lambda^{(1)} \text{grad} T \Big|_{y=f(x^*(t), t)-0} = \dot{m}^* Q^* m^0, \quad x \in (0, L_1);$$

$$T \Big|_{y=f(x^*(t), t)+0} = T \Big|_{y=f(x^*(t), t)-0} = T^*, \quad x \in (0, L_1), \quad y = f(x^*(t), t), \quad t > 0. \quad (4)$$

Здесь $x^* = (x_n^{**}(t) + x_k^{**}(t))/2$, где $x_n^{**}(t), x_k^{**}(t)$ - границы нестационарно подвижной области разложения связующего; m^0 - орт вектора скорости границы $y = f(x^*(t), t)$.

Начальные условия для температурного поля и подвижной границы

$$T(x, y, 0) = T_0(x, y), \quad x \in [0; L_1], \quad y \in [0; L_2], \quad t = 0; \quad (5)$$

$$f(x^*, 0) = L_2, \quad x^* \in [0; L_1], \quad t = 0. \quad (6)$$

Математическая модель, описывающая генерацию пиролизных газов в области разложения связующего и нелинейную неизотермическую фильтрацию в пористой области, включает в себя следующие соотношения:

уравнение неразрывности для пиролизных газов;

$$\frac{\partial(\rho_{\Gamma} u_{\Gamma})}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_{\Gamma} v_{\Gamma})}{\partial y} = 0, \quad x \in (0, L_1), \quad y \in (f(x^*(t), t), L_2), \quad t > 0; \quad (9)$$

уравнение состояния пиролизных газов;

$$\rho_{\Gamma}(x, y) = \frac{p_{\Gamma}(x, y) \bar{M}_{\Gamma}}{\bar{R}_{\Gamma} \cdot T(x)}, \quad x \in (0, L_1), \quad y \in (f(x^*(t), t), L_2), \quad t > 0, \quad (10)$$

где $\bar{M}_{\Gamma}$ и $\bar{R}_{\Gamma}$ - соответственно усредненные молярная масса и газовая постоянная пиролизных газов;

нелинейный закон фильтрации

$$V_{\Gamma} = \frac{K}{\mu_{\Gamma}(T)(1 + \Pi \cdot \text{Re}_L)} \cdot \text{grad} p_{\Gamma}, \quad x \in (0, L_1), \quad y \in (f(x^*(t), t), L_2), \quad t > 0, \quad (11)$$

где K - тензор проницаемости; Re_L - фильтрационное число Рейнольдса,

Давление на наружной границе тела, ограничивающей пористую область, давление $p_{0\Gamma}$ и плотность $\rho_{0\Gamma}$ торможения пиролизных газов в области разложения связующего определяются соотношениями [2]

$$p(x, L_2) = p_{w1}, \quad x \in [0; L_1], \quad y = L_2; \quad p_{0\Gamma}(x^*(t), y(x^*(t))) = \frac{\rho_{0\Gamma} \bar{R}_{\Gamma} T^*}{\bar{M}_{\Gamma}}. \quad (12)$$

Метод решения. Для численного решения задач, сформулированных в математической модели (1)-(12), выбран экономичный абсолютно устойчивый метод переменных направлений с экстраполяцией (МПНЭ). Экономичность в нем достигается использованием только скалярных прогонок по координатным направлениям, а устойчивость – использованием полностью неявных схем по координатным направлениям, включая неявную аппроксимацию смешанных дифференциальных операторов. При этом на каждом дробном шаге достигается полная аппроксимация.

Для достижения второго порядка при аппроксимации краевых условий, содержащих производные, метод МПНЭ модифицирован путем использования интегро-интерполяционного метода Самарского А.А.

На основе предложенной методики и алгоритмов создан программный комплекс для расчета задач данного класса, с помощью которого получены и проанализированы многочисленные результаты.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 12-01-33095, 14-01-00479 и Грантов президента РФ НШ-1387.2014.8, МД-4560.2015.8

Список литературы

1. Формалев В.Ф., Федотенков Г.В., Кузнецова Е.Л. Общий подход к моделированию теплового состояния композиционных материалов при высокотемпературном нагружении // Механика композиционных материалов и конструкций. 2006. Т. 12. № 1. С. 141-156.
2. Формалев В.Ф., Федотенков Г.В., Кузнецова Е.Л. Теплоперенос в условиях фазовых переходов в телах с анизотропией свойств // ТВТ. 2006. Т. 44. № 5. С. 1-8.
3. Кузнецова Е.Л., Колесник С.А. Моделирование сопряженного теплопереноса в условиях аэрогазодинамического нагрева анизотропных затупленных носовых частей гиперзвуковых летательных аппаратов // Известия вузов. Авиационная техника. №3. 2012г. С. 40-45
4. Формалев В.Ф., Кузнецова Е.Л. Исследование теплопереноса в нелинейном анизотропном пространстве в условиях импульсного нагрева. // Механика композиционных материалов и конструкций. №1. 2014г.
5. Формалев В.Ф., Кузнецова Е.Л. Тепломассоперенос в анизотропных телах при аэрогазодинамическом нагреве. – М.: МАИ-ПРИНТ. 2011. 300с.

05.12.14

И.В. Кулешов, О.Г. Москалёва

Филиал НОУ ВО Московский технологический институт в г. Оренбурге,
кафедра информатики и автоматизации, Оренбург, 1234@56.ru, mos_og25.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ТОМОГРАФИИ

В работе выполнена фазовая коррекция двумерного спектра в направлении координаты ошибки, в результате которой у всех спектральных компонент обеих функций фазовый сдвиг удваивался. Это привело к тому, что информация о пространственном положении точек, закодированная в фазе, стала нормальной по координате ошибки, но при этом исказилась по координате дальности вдоль траектории.

Ключевые слова: импульсная томография, интерференция, опорная передаточная функция, пространственный импульс.

В процессе импульсной томографии всегда имеют место дисперсионные явления, приводящие к неточности диагностирования и нежелательным ошибкам. Данные явления возникают вследствие того, что импульсное излучение имеет широкий спектр. Интерференционная картина часто затрудняет восприятие объекта. В идеале передаточная функция точки должна быть в виде дельта - импульса, тогда не будет проблем интерференции [1].

Необходимо осуществить преобразование передаточной функции точки таким образом, чтобы она имела вид короткого пространственного импульса. Воспользовавшись теоремой о сдвиге можно выделить чистый сдвиг.

1. Берётся двумерное преобразование Фурье от передаточной функции опорной точки $B_{norm,op}(x, y)$:

$$\hat{B}_{norm,op}(\omega_x, \omega_y) = \int_0^b \int_0^b B_{norm}(x, y) \exp(-j(\omega_x x + \omega_y y)) dx dy \quad (1)$$

где $b = 2\pi v / \lambda$ предел интегрирования, v - скорость движения апертуры.

В результате этой операции определяется двумерный опорный спектр. Расположение опорной точки удобно выбирать в начале декартовой системы координат. Относительно этой точки будет отсчитываться сдвиг всех точек томографируемого объекта.

Перед определением спектра отсчёты передаточной функции точки можно возвести в n -ю степень, $n - 1, 2, 3, \dots$. Эта операция позволит в дальнейшем манипулировать фазовым спектром [3]. На рисунке 1 представлены передаточная функция точки в первой степени

$B_{norm,op}(x, y)$ и её спектр $\hat{B}_{norm,op}(\omega_x, \omega_y)$, где $x = P_r$ - координата ошибки смещения, $y = D$ - координата дальности.

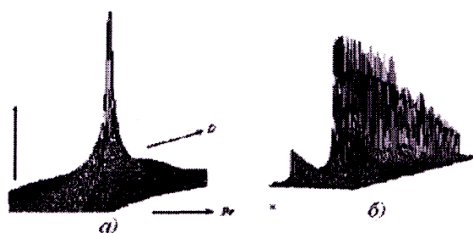


Рис. 1 - Передаточная функция точки (а), двумерный опорный спектр передаточной функции точки (б)

2. Далее определяется спектр $S(\omega_x, \omega_y)$ передаточной функции многоточечного

объекта $S(x, y) = a(x, y)B_{norm,op}(x, y)$. Для простоты изложения идеи метода преобразования передаточной функции точки в короткий импульс, оперируем с первой степенью передаточной функции.

$$S(\omega_x, \omega_y) = \int_0^b \int_0^b \sum_{i=1}^I a(x^*, y^*) B_{i,norm}(x^*, y^*) \exp(-j(\omega_x x^* + \omega_y y^*)) dx dy = 1/2\pi \times$$

$$\times \sum_{i=1}^I a_i(\omega_x, \omega_y) B_{i,norm}(\omega_x, \omega_y) \exp(-j(\omega_x \Delta x_i + \omega_y \Delta y_i))$$

где $x^* = x + \Delta x_i$, $y^* = y + \Delta y_i$

Определим отношение найденных двумерных спектров [2].

Для определённости возьмём тридцатиточечный объект, в котором точки расположены вдоль прямой с интервалом $\lambda/3$. Пусть эта прямая будет перпендикулярна ординате ошибки. Спектр передаточной функции тридцатиточечного объекта, приведён на рисунке 2. Как и ожидалось, он располагается на кольце и имеет сильную изрезанность.

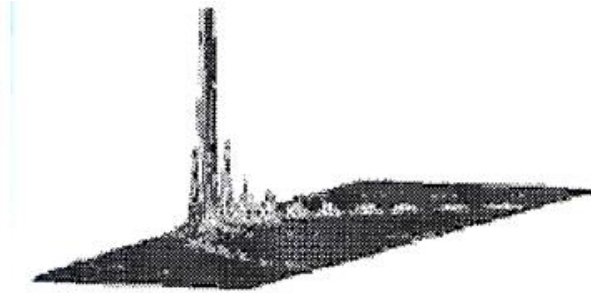


Рис. 2 - Спектр передаточной функции тридцатиточечного объекта

3. Определяется отношение найденных двумерных спектров

$$\frac{S(\omega_x, \omega_y)}{\hat{B}_{norm,op}(\omega_x, \omega_y)} = \frac{\sum_{i=1}^I a_i(\omega_x, \omega_y) B_{i,norm}(\omega_x, \omega_y) \exp(-j(\omega_x \Delta x + \omega_y \Delta y))}{\hat{B}_{norm,op}(\omega_x, \omega_y)} \quad (3)$$

4. Возьмем обратное преобразование Фурье (ОПФ) от этого отношения. При этом учтём, что $B_{norm,op}(\omega_x, \omega_y) = \hat{B}_{norm,op}(\omega_x, \omega_y)$

$$\int_0^b \int_0^b \sum_{i=1}^I a_i(\omega_x, \omega_y) \exp[-j(\omega_x \Delta x + \omega_y \Delta y)] \times \exp(j(\omega_x x + \omega_y y)) d\omega_x d\omega_y =$$

$$= 1/2\pi \sum_{i=1}^I \frac{a_i(x - \Delta x_i, y - \Delta y_i)}{j[(x - \Delta x_i) + (y - \Delta y_i)]} \{ \exp[j((x - \Delta x_i)\omega_{x,max} + (y - \Delta y_i)\omega_{y,max})] - 1 \} \quad (4)$$

где выражение в правой части - трансформированные в короткие пространственные импульсы передаточные функции отдельных точек.

Представленный алгоритм на языке математических операторов можно записать в следующем виде:

$$S_B(x, y) = F_2^{-1} \{ [F_2[s^n(x, y)]] / [F_2[s_{op}^n(x, y)]] \} \quad (5)$$

На рисунке 3 представлен результат действия этого оператора на функцию $S(x, y)$ при $n=1$. Функция $S(x, y)$ имеет такой же вид, как и функция $S_{op}(x, y)$, но сдвинута относительно функции $S_{op}(x, y)$ на $2,5\lambda$ по оси ошибки.

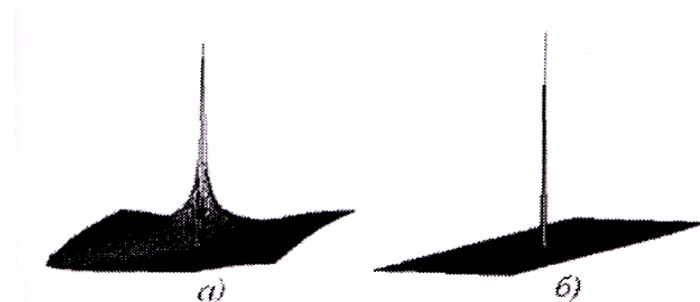


Рис. 3- (б) - Результат воздействия оператора (5) на функцию вида (а), которая является передаточной функцией точки

Таким образом, удалось преобразовать передаточную функцию точки в короткий импульс, указывающий положение сдвинутой передаточной функции точки относительно опорной точки на декартовой плоскости.

Рассмотрим воздействие оператора (5) на передаточную функцию многоточечного объекта, представленную на рисунке 4а. Этот объект состоит из тридцати точек. На рисунке 4 представлен результат воздействия оператора (5). Виден ряд из коротких импульсов.

Каждый импульс соответствует отдельной точке объекта. Если передаточная функция объекта получена из набора одномерных корреляционных функций, то предложенный оператор будет хорошо работать только тогда, когда ошибка расположения многоточечного объекта будет такой же, как и у опорного однотоочечного объекта (рисунок 4б).

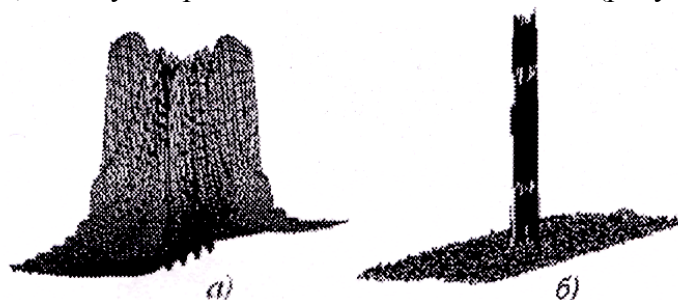


Рис. 4 - Передаточная функция 30-точечного объекта (а), результат воздействия на эту функцию математического оператора (5) (б)

Возьмем передаточную функцию однотоочечного объекта и приравняем к нулю одну из координат, например, координату дальности. Тогда одномерный опорный сигнал можно обозначить как $S_{op}(t)$, а его спектр в общем виде определится преобразованием Фурье:

$$S_{op}(\omega) = \int_a^b s_{op}(t) e^{-j\omega t} dt \quad (6)$$

где под t можно подразумевать координату ошибки P_r .

Пусть второй такой же сигнал сдвинут в пространстве на отрезок r , то есть $s(t-r)$. Спектр сдвинутого сигнала в этом случае, согласно теореме о сдвиге, можно записать следующим образом:

$$S(\omega) = S_{op}(\omega) e^{-j\omega r} \quad (7)$$

Так как имеет место чистый сдвиг при сохранении формы сигнала, то модули спектров обоих сигналов будут равны, а их отношение даст единицу. Останется экспонента, показатель которой несёт информацию о сдвиге

$$\frac{S(\omega)}{S_{op}(\omega)} = \frac{S_{op}(\omega) e^{-j\omega r}}{S_{op}(\omega)} = e^{-j\omega r} \quad (8)$$

Возьмём ОПФ от этого отношения.

$$S_{ex}(t) = \int_{\omega_1}^{\omega_2} 1 e^{-j\omega r} e^{-j\omega \tau} d\omega = \frac{1}{j(t-r)} (e^{j(t-r)\omega_2} - 1) \quad (9)$$

где $\omega_1 = 0$, ω_2 - верхняя граница интегрирования. Эта граница определяется вовсе не шириной спектра опорного сигнала. Она определяется потребностями разработчика, а именно тем, какой ширины импульс он желает получить. Если $\omega_2 = \infty$, то получается настоящий, бесконечно короткий δ - импульс.

Была предпринята фазовая коррекция двумерного спектра в направлении координаты ошибки. Для этого все отсчёты передаточной функции объекта и опорной передаточной функции точки возводились в квадрат. В результате этой операции у всех спектральных компонент обеих функций фазовый сдвиг удваивался. Это приводило к тому, что информация о пространственном положении точек, закодированная в фазе, стала нормальной по координате ошибки, но искажилась по координате дальности вдоль траектории.

Полноценная информация о сдвиге по обеим координатам могла бы быть получена при использовании двумерной взаимной корреляционной функции.

Список литературы

1. Григорян Д.С. Когерентная обработка данных в задачах спектрального анализа радиолокационных сигналов со сверхразрешением [Электронный ресурс]/Д.С. Григорян // Журнал радиоэлектроники. - 2012. - № 3. - Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/iso/mar12/1/text.html>. Дата обращения 25.10.2014.
2. Кулешов, И.В. Пути устранения интерференции при когерентной томографии [Текст] // Инновационное развитие современного вуза: сборник научных трудов / редколл. Белов И.П., Нефёдов В.В., Нефёдов Ю.В., Белова Т.Г.; отв. Ред. И.П. Белов. - Оренбург: ООО "Агентство "Пресса", 2012. - С. 185-189.

05.23.11

Н.Г. Митрофанов к.техн.н., И.Н. Зенкин, Д.А. Котёлкин

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет,
кафедра автомобильных дорог и аэродромов, Тюмень, mng-tgasu@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛАМОВ ХИМВОДООЧИСТКИ ТЭЦ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье приведены результаты исследования шламов химводоочистки на примере Тюменской ТЭЦ-2, их химического и гранулометрического составов, а так же исследования путей использования шламов ХВО в производстве строительных материалов.

Ключевые слова: *строительные материалы, шлам, пенобетон, асфальтобетон, кирпич, цементогрунт, химводоочистка.*

Работа предприятий теплоэнергетики-ТЭЦ, ГРЭС и др., практически во всех случаях сопровождается образованием значительного количества отходов подготовки - очистки, обезжелезивания и умягчения воды. Анализ литературных данных [2, 3] по наработке и утилизации шламов химводоочистки (ШХВО) предприятий энергетики показал, что:

1. Накопление шламов ХВО обуславливает большую технико-экономическую и экологическую проблему для предприятий энергетики и регионов России. В научном плане проблема утилизации ШХВО пока не имеет исчерпывающего решения. Имеется определенный опыт исследований и внедрения в области применения ШХВО в строительной индустрии.

2. Химический состав ШХВО весьма разнообразен и определяется составом исходной воды, применяемых реагентов и способами очистки и умягчения воды.

3. Наибольший интерес представляет использование шламотходов в составе цементных композиций-укрепленных грунтов для дорожного строительства, обоснованное анализом механизма их действия на процессы гидратации и твердения. Перспективными представляются так же исследования по получению силикатных изделий, керамзита, строительных растворов, асфальтобетонов и др. композиционных материалов. Предполагается высокий экономический эффект за счет повышения качества стройматериалов, снижения энергетических затрат и расхода вяжущих. Этим обусловлена актуальность работ, проводимых ТюмГАСУ по заказу ОАО «ФОРТУМ» и в инициативном порядке.

Цель исследования: изучить возможность утилизации шламов химводоочистки на примере Тюменской ТЭЦ-2 в производстве строительных материалов.

Задачи исследования на данном этапе:

1. Определить физические, физико-химические свойства, химический и гранулометрический состав ШХВО.

2. Изучить возможности утилизации ШХВО в производстве строительных материалов.

3. Исследовать возможность применения ШХВО в рекультивационных почвенных смесях для мелиорации земель.

Обзор научной литературы и патентный поиск [1-3] выявил ряд направлений и технических решений по утилизации ШХВО, которые представляют потенциальный интерес для исследований применения шламов Тюменской ТЭЦ-2 при условии простоты технологии и многотоннажной переработки отходов в строительные материалы.

Анализ составов ШХВО, номенклатура и количество применяемых реагентов свидетельствуют о наличии в отходах ряда химических соединений, которые будут влиять на процессы структурообразования при переработке шламов в строительные композиции.

Шлам-отходы образуются в процессе подготовки воды в осветлителях, в которых подаваемая вода обрабатывается коагулянтom. В качестве коагулянта используют сернокислое железо ($\text{Fe}_2[\text{SO}_4]_3$). За счет взаимодействия коагулянта с ионами OH^- образуется пористый желатинообразный осадок $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Этот осадок медленно осаждается, захватывая

с собой взвешенные в воде частицы, благодаря чему из нее удаляются практически все тонкоизмельченные вещества и бактерии.

Кроме того, в осветлители подаются известь ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) и кальцинированная сода (Na_2CO_3) для снижения жесткости воды. Эти вещества вызывают осаждение кальция в виде CaCO_3 и магния в виде $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Роль Na_2CO_3 заключается в повышении pH воды и, если необходимо, в обеспечении ее ионами CO_3^{2-} .

Для удаления ШХВО из осветлителей осуществляется промывка и продувка последних, а отходы направляют в шламостойник, амбар-накопитель.

Таким образом, в ШХВО присутствуют следующие основные соединения:



Для определения свойств ШХВО было исследовано большое количество проб, начиная с 2010г., в частности, произведено два новых отбора проб на Тюменской ТЭЦ-2 в 2013г.

Исследованиям подвергались частные пробы и объединенная проба. По внешнему виду шлам представляет собой взвесь, состоящую из твердой фазы и воды. После разделения фаз для шлама были определены следующие ниже показатели, приведённые в таблицах 1-3.

Таблица 1 - Гранулометрический состав шлама

Частные остатки на ситах, %	Содержание частиц размером, мм				
	1,0	0,5	0,25	0,1	ДНО
Проба №1	2,5	0,3	13,1	34,2	50,0
Проба №2	0	0	8,5	36,8	54,7
Объединенная проба	2,0	0,1	11,8	34,8	51,3

Таблица 2 - Физические свойства ШХВО Тюменской ТЭЦ-2

Показатели	Проба №1		Проба №2		Объединенная проба	
	в жидком виде	в загустевшем	в жидком виде	в загустевшем	в жидком виде	в загустевшем
Объем воды /осадка, мл	100/900	-	970/30	-	520/480	-
Влажность осадка, %	-	23,8	-	24,6	-	24,1
Насыпная плотность в сухом состоянии, кг/м ³		615		621		619
Оптимальная влажность, %	-	46,1	-	45,8	-	46,0
Максимальная плотность, г/см	-	1,62	-	1,63	-	1,62

В соответствии с протоколом КХА, выданным филиалом ФГУ «ЦЛАТИ по Уральскому ФО», химический состав ШХВО представлен следующими компонентами

Таблица 3 – Состав шламов

Компонент	Единица измерения	Содержание компонентов
Железо	г/кг	37,9
Алюминий	г/кг	3,8
Магний	г/кг	6,9
Кальций	г/кг	43,5
Натрий	г/кг г/кг	12,6
Органические соединения	г/кг	40,0
Влага	г/кг	740

На начальном этапе экспериментальных исследований рассматривались возможности использование ШХВО для производства пенобетона, в составе асфальтобетона, для производства силикатного бетона (кирпича), строительных растворов. Положительные результаты получены в ходе опытов по производству цементных растворов и силикатных изделий. [4]

Исследование составов композиционных материалов с использованием ШХВО.

Исследованиями кафедры автомобильных дорог и аэродромов ТюмГАСУ установлена возможность применения добавки ШХВО при укреплении грунтов. В частности, введение до 10-30% отходов химводоочистки ТЭЦ повышает прочность и водостойкость цементогрунта,

загрязняющие компоненты отходов при этом связываются в структуре консолидированной массы.

В опыте применялись мелкие пески (ГОСТ 25100-2011) из штабеля гидронамыва карьера «Андреевский», с естественной влажностью 4-6%; портландцемент М-400 Сухоложского завода (ГОСТ 10178-85) и ШХВО (интегральная проба) из накопителя Тюменской ТЭЦ-2.

На данном этапе экспериментов для подтверждения возможности и эффективности применения ШХВО испытывались 3 серии композиций:

I - контрольная серия цементогрунта по ГОСТ 23558-94, содержащая 12% цемента от веса песка;

II - композиция, содержащая грунт, 25% ШХВО (по сухому остатку) и тоже количество вяжущего.

III - композиция, содержащая грунт, 30% ШХВО (по сухому остатку) и 10 % вяжущего, а также добавку «Никофлок» в количестве 8% от массы цемента.

Из приготовленных при оптимальной влажности смесей формовались образцы-цилиндры 5х5 см с использованием малого прибора Союздорнии и гидравлического пресса. Затем часть свежеприготовленных образцов отправлялась на эколого-токсикологические исследования, основное количество (не менее 24 штук) - помещались в эксикатор для набора прочности в воздушно-влажных условиях.

Испытания образцов производились через 14 и 28 суток выдержки, и водонасыщения в течение 48 часов (первые 6 часов - погружения на 1/3, затем - полностью) по ГОСТ 23558-94 и ГОСТ 10180-90.

Взвешенные до и после водонасыщения образцы испытывались на прочность при сжатии на гидравлическом прессе. Основные результаты эксперимента приведены в таблице 4.

Таким образом, при одинаковом количестве вяжущего прочность композиции (14 суток) с ШХВО достоверно увеличивается на 28%. Водопоглощение снижается более чем в 2 раза.

Данные результаты подтверждают так же эффективность применения добавки «Никофлок» при утилизации ШХВО Тюменской ТЭЦ-2.

Испытания стандартных 28 суточных образцов позволили определить марку материала по ГОСТ 23558-94: I серия - М 20; II, III серия - М 40.

Таблица 4 - Результаты испытаний цементогрунта

№ серии	Кол-во образцов	14 суток			28 суток		
		В, %	R _{сж} , МПа	дов. интерв.	В, %	R _{сж} , МПа	дов. интерв.
I контроль	9+9	9,5	1,92	+/- 0,19	7,4	3,21	+/- 0,27
II композиция с ШХВО	9+9	4,5	2,45	+/- 0,24	3,3	4,03	+/- 0,34
III композиция с ШХВО и ПМК «Никофлок»	9+9	4,0	2,88	+/-0,21	2,9	4,62	+/-0,20

Примечание: В - водопоглощение по массе; R_{сж} - прочность при сжатии.

Эти данные свидетельствуют о возможности повышения технико-экономических показателей применения укрепленных грунтов в конструкциях дорожных одежд дорог и производственных площадок - повышение качества, прочности при снижении расхода вяжущего.

Анализ результатов эксперимента показывает так же, что важное значение для прочности и водостойкости имеет степень уплотнения материала: при увеличении плотности образцов композиции с 1,8 до 2,2 г/см (при уплотнении на прессе) прирост прочности составил до 50% от первоначальной, получаемой при стандартном уплотнении, при этом водонасыщение снизилось до 1-2%.

Выполненный на данном этапе работы поисковый эксперимент является первичным в серии запланированных опытов по подбору оптимальных составов композиций на основе грунтов, вяжущих, ШХВО ОАО «Фортум», которые в настоящее время продолжаются и

имеют целью:

- углубление исследований по применению ШХВО в композициях (укрепленных грунтах) для дорожного строительства, как основного пути утилизации, а также по другим направлениям;
- подбор составов материалов при минимизации расхода цемента и стоимости утилизации ШХВО, назначение марок укрепленных грунтов;
- выбор наиболее эффективных микродобавок («Никофлок» и др.) для повышения прочности, технико-экономических и экологических показателей;
- определение свойств композиций в длительных и сложных опытах (морозостойкость, водостойкость, коэффициент фильтрации, деформационные характеристики - модуль упругости, коэффициент Пуассона);

Получение грунтовых смесей. В соответствии с планом проводятся исследования по получению строительных грунтов без вяжущих, а так же рекультивационных почвенных смесей с ШХВО.

Вегетационные опыты по проращиванию овса и пшеницы в грунтовых смесях с ШХВО показали низкую фитотоксичность отходов ТЭЦ-2 ОАО «Фортум». Всходы на смесях с ШХВО не уступают растениям на чистых почвах и превосходят результаты для стандартных торфо-песчаных смесей. Анализ результатов исследования проращивания семян злаковых культур (овес, пшеница) на грунтовых смесях: № 1 Торф / песок (1:1); № 2 Растительный грунт / торф / песок (1:1:1); № 3 ШХВО / торф / песок (2:1:1) показал, что по проценту всхожести, приросту зеленой массы, высоте растений, сухой массе всходы овса и пшеницы в смеси № 3 имеют преимущества по сравнению со смесью №1, при равных условиях окружающей среды. При прекращении полива, т.е. моделировании условий засухи, всходы на смеси № 3 показали наилучшую устойчивость к недостатку влаги, что может быть следствием высокой влагоудерживающей способности ШХВО. Наблюдаемая особенность грунтовых смесей с ШХВО весьма актуальна при проведении рекультивационных и укрепительных работ в строительстве.

Заключение.

Проведенные исследования показали, что ШХВО Тюменской ТЭЦ-2 можно использовать для производства строительных материалов.

Установлено, что наибольший эффект на данном этапе исследования дает применение ШХВО в составе дорожно-строительных материалов – укрепленных грунтов.

Перспективными являются исследования по получению строительных растворов, силикатного кирпича, керамзита, рекультивационных почвенных смесей с добавкой ШХВО, а так же строительных грунтов на основе песка и ШХВО, такие исследования проводятся в ТюмГАСУ.

На основе результатов НИОКР составлена техническая документация - ТУ на новые материалы, получены согласования для опытного внедрения, сертификаты, заключения. Поданы заявки на изобретения, получены патенты на ряд новых стройматериалов. Исследования продолжаются.

Список литературы

1. Патент №2119465. Асфальтобетонная смесь./ Илиополов С.К., Андриадис Ю.Г., Мардирасова И.В., Углова Е.В., Пронин В.В., Кучеров В.А. - 3 с.
2. Тараканов О.В. Сухие строительные смеси с использованием местных сырьевых материалов. /«СтройПРОФиль», вып. 7(45).
3. Тараканов О.В. Применение техногенных продуктов и отходов промышленности в производстве строительных и отделочных материалов./ О.В. Тараканов, Т.В. Пронина, А.О. Тараканов. // Строительные материалы, №4, 2008 г. - с.68-70.
4. Митрофанов Н.Г., Шабанова Т.Н., Свинтицких Л.Е. Утилизация шламотходов Тюменской ТЭЦ-2. В кн. Молодежь и наука: Реальность и будущее. Материалы IV научно-практической конференции, 2011г. с.370-372

05.13.10

А.С. Некрасова

Ивановский государственный университет, экономический факультет,
кафедра информационных технологий в организации производства,
Иваново, anekrasova2013@yandex.ru

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ КОМПАНИИ-ПОСРЕДНИКА ПОСРЕДСТВОМ МОДЕРНИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

В работе рассматривается рынок предприятий-посредников между заводами изготовителями и потребителями. Рассматриваются сложности, с которыми сталкиваются данные предприятия. Представлены четкие рекомендации по совершенствованию логистики для увеличения конкурентных преимуществ.

Ключевые слова: логистика, распределительная сеть, бизнес-процесс, конкурентная способность.

На сегодняшний день, в условиях углубления и развития рыночных отношений, глобализации и усиления конкуренции на товарных рынках происходят значительные изменения в каналах распределения товаров, представляющих собой сложные экономические системы, как правило, включающие в себя, значительное число участников. В настоящее время бизнес становится все более ориентированным на клиента. Удовлетворение интересов потребителя предстает главным принципом развития бизнеса и достижения его коммерческих результатов, что на практике обеспечивается отказом от стандартных решений в пользу индивидуальных. Особенностью современного бизнеса стал переход от удовлетворения разовых требований клиентов к работе в режиме аккумуляирования и исполнения заказов. В этих условиях своевременная и качественная реакция на потребности клиентов обеспечивается созданием систем комплексного обслуживания. В настоящее время общемировыми тенденциями являются: автоматизация логистических процессов, развитие сетевой розничной торговли, все более активное использование торговыми посредниками современных информационных технологий, изменение роли и места на рынке, занимаемое компанией-посредником в данный момент на рынке. Перед руководителями этих предприятий стоит четкий вопрос о своей значимости в каналах распределения продукции. Эти условия подталкивают компании, занимающие определенную нишу на рынке, развивать конкурентоспособные преимущества. Например: пересматривать и модернизировать логистическую цепь поставок и распределительную сеть [1].

Рассмотрим конкретное предприятие, работающее на сельскохозяйственном рынке региона в качестве посредника между заводами-изготовителями продукции и непосредственными потребителями сельскохозяйственных товаров. В число этих товаров входят: корма для крупного рогатого скота, техническая соль, мел, сода, удобрения, ядохимикаты. Главный офис компании расположен в областном центре, а так же существуют филиалы - складские базы, равноудаленные друг от друга и от областного центра. Базы сообщаются с федеральными автомобильными трассами (на балансе компании зарегистрированы несколько грузовых автомобилей) и РЖД (от главных железных дорог к базам подведены железнодорожные пути).

Руководитель компании выделяет некоторые сложности и проблемы, возникающие в процессе осуществления посреднической деятельности. В данной статье будут даны рекомендации и советы по оптимизации работы логистической сети, которые смогут повысить эффективность работы компании и повысить конкурентные преимущества.

Первой и самой важной проблемой является рост затрат на транспортировку продукции ввиду роста спроса и рынка сбыта. Поскольку одним из основных видов деятельности и источников дохода является перемещение, хранение и отгрузка товаров, рост затрат на это влечет за собой потерю прибыли.

Распределительная логистика решает задачи, связанные с выбором схемы распределения продукции на пути от производителя к потребителю и способа ее реализации эффективной организацией транспортных перевозок между участниками указанного процесса. Поэтому, в качестве выхода из данной ситуации следует применить принципы распределительной логистики, когда составляются оптимальные маршруты движения транспорта по точкам сбыта продукции. В первую очередь следует разделять заявки на срочные, которые требуют отгрузки непосредственно с ленты производства или из заводских запасов и на запланированные, поставка продукции по которым может производиться в течение какого-то времени, то есть используется склад компании-посредника для хранения, до момента отправления груза. Еще одним фактором, который сможет повлиять на усиление конкурентной способности и помочь решить проблему с нерациональными маршрутами – это территориальное распределение заявок от потребителей. Для компании, которая рассматривается в данной статье, оптимизировать это направление работы просто. Поскольку обе складские базы (филиалы) находятся в разных концах области, следует распределить клиентов по территориальному расположению ближе к одной или другой базе. Это поможет укоротить маршруты, уменьшить сроки поставок, снизить затраты на ГСМ, а так же взаимосвязь потребителя с предприятием посредником станет более гибкой, т.к. удобно сотрудничать на небольшом расстоянии друг от друга[2].

Второй сложностью является организация складских бизнес-процессов. Склад относится к средней степени сложности, то есть склад ответственного хранения, где располагается товар разных компаний, которые требуют разные условия хранения. И из-за нерационального использования площадей, нарушения условий хранения увеличиваются материальные потери и снижается доверие клиентов. Итак, что же может повысить эффективность работы склада?

Для ответа на это вопрос, необходимо различать два понятия материальный и информационный поток, с которыми непосредственно сталкиваются работники склада. Материальный поток – это движение всех материальных ценностей, то есть их отгрузка, хранение, перемещение. Информационный поток – это весь сопутствующий документооборот. Выходит, что управляя материальными и информационными потоками можно повысить эффективность работы склада. Если эти потоки четко не разграничены, не отрегулированы, все происходит само по себе, то этот контроль произвести будет невозможно. Модернизацию склада следует доверить специалисту, который выстроит логистику склада от начала и до конца, разграничит помещения, наладит документооборот и более тесную связь склада с главным офисом, а так же с таким же складом на другом конце области. После реорганизации системы работы склада, будет возможность автоматизации складских бизнес-процессов, посредством внедрения дополнительного модуля WMS в существующую информационную систему[3]. Это сделать будет достаточно несложно, т.к. используемая информационная система 1С:Предприятие 8 позволяет и дополнительному решению 1С:Предприятие 8. WMS Логистика. Управление складом объединиться[4].

Так же автоматизация работы склада и интеграция этой системы с работающей уже КИС позволит решить ряд других проблем, с которыми сталкиваются предприятия-посредники. Например: улучшение взаимосвязи с клиентами (телефонные звонки и факс сменяется онлайн почтой, что в разы ускоряет процесс переговоров и снижает стоимость связи); оформление заявок становится более организованным и совершается самим покупателем в удобное для него время и с визуализацией заказа, иными словами у клиента перед глазами весь склад имеющихся в наличии и требующих заказа товаров;

Таким образом, проанализировав все ситуации, в которых наиболее часто предприятие-посредник сталкивается с проблемами, можно сделать вывод о том, что каждый бизнес-

процесс нуждается в пересмотре и качественной доработке. Это может быть реорганизация распределительной сети, которая должна производиться специалистом в этой области. Либо это может быть автоматизация логистики, последующая после пересмотра распределительной сети.

Список литературы

1. http://www.lobanov-logist.ru/library/all_articles/55216/ (дата обращения 30.03.2015).
2. http://www.telenir.net/delovaja_literatura/logistika_konspekt_lekcii/p10.php (дата обращения 3.04.2015).
3. <http://finvuz.ru/logistika/lekcii/raspreditel'naya-logistika.html> (дата обращения 2.04.2015).
4. <http://1c.ru/news/info.jsp?id=15609> (дата обращения 2.04.2015).

05.13.01

¹Н.Н. Прокопьев, ²В.В. Бухтояров, ³Э.А. Петровский, ⁴Н.А.Бухтоярова¹Сибирский федеральный университет, glushkov.05@mail.ru²Сибирский федеральный университет, кафедра Технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса, Красноярск, vladber@list.ru³Сибирский федеральный университет, кафедра Технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса, Красноярск, petrovsky_quality@mail.ru⁴Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева, bukhtoyarova.n@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ТУРБОАГРЕГАТА

В статье рассматривается возможность применения методов интеллектуального анализа данных для распознавания и прогнозирования предаварийных и аварийных ситуаций на турбоагрегатах, применяемых в нефтегазовом комплексе. Аварийные ситуации, возникающие на промышленных объектах, таких как нефтеперерабатывающие и предприятия, могут нанести существенный ущерб окружающей среде, экономике, привести к человеческим жертвам и серьезным разрушениям. На примере данных, полученных с датчиков, установленных на турбоагрегате, рассмотрено применения в качестве технологий анализа методов нейронных сетей, опорных векторов, метода ближайших соседей и многомерных адаптивных сплайнов. Приводится сравнение результатов, рассматривается возможность применения методов в дальнейших исследованиях.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, нейронные сети, турбоагрегат, диагностика, методы регрессии, прогнозирование.

Введение

Проблема повышения надежности и безопасности эксплуатации турбоагрегатов может решаться путем использования средств и технологий диагностирования вибрационного состояния с определением опасных неисправностей [1]. Своевременный и качественный процесс диагностики и контроля параметров турбоагрегата позволяет осуществлять его эффективную эксплуатацию по состоянию. Несмотря на большое многообразие методов контроля и диагностики, среди них нет универсального, который мог бы заменить остальные в полной мере. Причиной является нелинейность протекающих в нем процессов, многопараметричность, многосвязность и многорежимность его функционирования. Все это предполагает необходимость применения комплексных методов и методик для решения задач контроля и диагностики параметров [2,3].

Для оценки состояния турбоагрегата контролируется множество по своей физической природе параметров, поэтому оценка их состояния требует комплексного применения методов и средств диагностирования, обобщения информации для принятия своевременного и правильного решения.

Вибрационная диагностика турбоагрегатов

Наибольшее негативное влияние на надежность турбоагрегата оказывает повышенная вибрация. При достижении определенной величины вибрация может вызвать нарушение технологических процессов, привести к неадекватной генерации управляющих воздействий системами управления и регулирования, искажению показаний приборов, усиленному износу кинематических пар, поломкам деталей и авариям машин. Статистика показывает, что в большинстве случаев поломки и аварии машин происходящего причине вибрации, возникающей при отклонении показателей режима работы машин от допустимых значений,

изменений формы и взаимного положения деталей, ослаблении креплений и посадок деталей, появлении значительной неуравновешанности движущихся частей. Качество изготовления материалов, сборки оборудования, износ основных узлов и деталей, технологический режим эксплуатации, своевременный контроль и диагностика оборудования – все это влияет, в конечном счете, на вибрационные характеристики, которые можно использовать, для оптимизации режима работы, оценки технического состояния механизмов и прогнозировании их ресурса.

Вибрацию можно рассматривать с точки зрения потока информации, так как она является следствием действия динамических сил. Сложность интерпретации данной информации заключается в потере ее части в процессе преобразования сил в вибрацию и совершаемой ими работы в тепловую энергию. На долю отказов по причинам, которые вызвали ухудшение вибрационного состояния турбоагрегата, приходится 35-45% всех отказов а вибродиагностика является одним из наиболее перспективных направлений контроля состояния турбоагрегата [4]. Содержание вибродиагностики – в изучении и обосновании способов косвенных измерений скрытых неисправностей механизмов по параметрам и характеру их функционального поведения во время эксплуатации.

Основными причинами возникновения неисправностей в турбоагрегате являются недостаточный контроль за работоспособностью оборудования, недостаточно быстрое реагирование, недостаточный контроль за процедурами, несвоевременное определение дефекта. Устранить эти причины можно обнаружив изменение в состоянии турбоагрегата задолго до наступления аварийной ситуации. Преимущество вибродиагностики в устранении первой причины состоит в том, что можно получить достоверную информацию о состоянии узлов турбоагрегата без нарушения производственного цикла. Переход от концепции «ремонт по отказу» на ремонтные работы по фактическому состоянию возможен при использовании современных технологий интеллектуального анализа данных (data mining). Преимущества данного подхода заключаются в сокращении времени и объема ремонтных работ; уменьшения числа отказов; закупки только необходимых запасных частей; сокращения убытков из-за простоев турбоагрегата.

Исследование методов анализа вибродиагностической информации

Для исследования методов интеллектуального анализа данных использовался программный продукт Statistica, разработанный компанией StatSoft. Были рассмотрены методы опорных векторов, к-ближайших соседей, многомерные адаптивные сплайны и нейронные сети. Для метода опорных векторов и нейронных сетей используется разбиение данных на обучающую – 80% и тестовую – 20% подвыборки, для остальных методов задается объем портативных данных – 80% и оцениваются ошибки прогнозирования на остальном множестве. В таблице 1 приведены результаты экспериментов - значения относительной ошибки прогнозирования для каждого метода. Параметры настройки нейронных сетей выбирались на основе предварительных экспериментов, направленных на определение оптимальных значений соответствующих параметров. Наилучшие результаты были получены при использовании ансамбля сетей в количестве 5 штук, архитектура сети – многослойный персептрон. Наименьшая ошибка при использовании метода к-ближайших соседей была достигнута при рассмотрении 2 ближайших значений параметра. Каждый из методов содержит значительное количество вариаций, поэтому подробное их описание в данной статье не рассматривается. Данные полученные с турбоагрегата представляют собой 11 входных параметров и 7 выходных, количество строк записей 1200.

Таблица 1 – Результаты численного исследования эффективности методов

Метод/ входной параметр	Отн. ошибка на обучающей выборке, % / Отн. ошибка на тестовой выборке, %						
	Пар-тр 1	Пар-тр 2	Пар-тр 3	Пар-тр 4	Пар-тр 5	Пар-тр 6	Пар-тр 7
Нейронная сеть	2,96/3,17	1,24/1,43	2,82/3,05	4,10/4,31	2,74/2,79	4,10/4,73	4,95/5,82
Метод опорных векторов	4,37/4,19	2,09/2,21	3,42/3,46	5,27/5,28	4,01/4,12	6,63/7,17	7,28/7,38
Относительная ошибка предсказания, %							
К-ближайших соседей	3,11	1,40	2,81	3,98	2,87	4,21	5,32
Многомерные адаптивные сплайны	3,82	1,82	3,26	4,59	3,53	5,48	6,21

Обсуждение результатов

По результатам экспериментов, приведенным в таблице, видно, что нейронные сети показали достаточно хороший результат наряду с остальными методами интеллектуального анализа данных. Так же видно, что неплохие результаты показал метод к-ближайших соседей. Однако стоит отметить ряд недостатков данного метода, заключающихся в необходимости полного перебора выборки, и как следствие – вычислительная трудоемкость для больших выборок, метод не создает никаких моделей или правил, обобщающих предыдущий опыт, а так же неустойчив к шумовым выборкам.

Основываясь на результатах исследования можно сделать вывод о целесообразности использования метода искусственных нейронных сетей для вибродиагностики турбоагрегатов и создание на его основе комплексной процедуры, включающей как нейронные сети, так и другие методы интеллектуального анализа данных, в качестве локально поддерживающих методов.

Список литературы

1. Кневец Н.Н. Показатели С.Т.Н.А. Влияние достоверного определения состояния турбоагрегата на показатели использования энергоблока //Труды Одесского политехнического университета. – 2007. – №.2(28).
2. Жернаков С.В., Иванова Н.С., Равилов Р.Ф. Контроль и диагностика технического состояния масляной системы ГТД с использованием технологии нейронных сетей //Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2012. – Т. 16. – №. 2 (47).
3. Бухтояров В.В., Глушков В.А. О коллективных интеллектуальных методах решения задачи моделирования состояния технологического оборудования для предупреждения инцидентов безопасности //Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2014. № 1. С. 20-26.
4. Куменко А.И. Влияние эксплуатационных факторов на статические и динамические характеристики валопроводов мощных паровых турбин // Вест. МЭИ. – 1994. - №3.

05.05.04

С.В. Прохоров

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых (ВлГУ),
Архитектурно-строительный факультет, кафедра Строительное производство,
Владимир, oc204@bk.ru

МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ ГРАФИКА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАШИННЫХ ПАРКОВ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

В представленной статье рассматривается современное состояние машинных парков региональных организаций. Предлагается методика формирования графика технического обслуживания техники с учетом вероятности безотказной работы. В качестве критерия оптимизации принят минимум затрат на проведение технического обслуживания и ремонта.

Ключевые слова: *машинные парки, техническое обслуживание, ремонт, экономические затраты.*

В последнее десятилетие строительный комплекс России переживает серьезные структурные изменения. Это вызвано резким инвестиционным спадом, не стабильностью экономической ситуации в целом, сокращением производства отечественных строительных машин, оборудования и материалов.

За редким исключением, крупных регионов с благоприятной инвестиционной политикой, инвестиции в строительную отрасль неуклонно сокращаются. В результате большинство строительных организаций не в состоянии обеспечить воспроизводство своих основных фондов, что в конечном итоге ведет к стагнации производства и деградации машинных парков.

Переориентация экономического потенциала страны с сырьевой базы на производство требует роста или, по крайней мере стабилизации объемов строительства, что, в свою очередь, требует опережающего роста парка специализированного оборудования, отвечающего условиям высокого качества в том числе надежности, производительности, снижения удельных затрат и повышения прибыльности производства.

Одним из резервов повышения качества использования машинных парков является совершенствование подхода к проведению ремонта и технического обслуживания. В ходе исследований было выявлено, что эксплуатационная производительность напрямую зависит от срока эксплуатации техники, природно-климатических условий и условий производства работ. В частности, у одной и той же марки в одинаковых условиях, но при различных сроках эксплуатации она может отличаться до 40%.

Кроме всего прочего следует отметить постепенное смещение доли импортной техники в общем объеме в сторону увеличения. Если в 2008-2009 годах, на отечественные машины приходилась доля в 61%, то к началу 2014 года она составила – 44%. [1] Это напрямую сказывается на подходе к техническому обслуживанию и ремонту техники. Зачастую в небольших организациях приобретают подержанную технику, которую крупные сервисные центры отказываются обслуживать и это приходится выполнять собственными силами организаций или привлекать мелкие компании.

Существующие системы обслуживания машинных парков, как правило, учитывают априорную вероятность отказа машин без рассмотрения основных факторов, влияющих на износ и отказы техники. Либо, наоборот, существуют теории прочности и надежности, позволяющие определять вероятности отказов для отдельных систем или даже деталей. К

сожалению, это делает расчет парка техники громоздким, даже если брать только основные системы и оборудование.[2]

Проведенные исследования направлены на разработку целостного подхода при решении вопросов технического обслуживания и ремонтов с позиции системного анализа всех факторов, влияющих на технические и экономические показатели машин, а также выявление их взаимосвязи.

Предлагаемая методика периодичности обслуживания сформирована на основе математических зависимостей появления отказов и изменений эксплуатационных свойств техники под воздействием различных факторов. В качестве факторов влияющих на наработку машины до отказа были выбраны срок эксплуатации (возраст) техники, условия производства работ (тип грунта, наличие грунтовых и поверхностных вод и т.д.) и температура окружающего воздуха. Для каждого показателя были определены математические ожидания и рассчитаны коэффициенты к приведенным затратам на использование машины.[3]

Для решения задачи оптимизации технического обслуживания и ремонта были введены следующие ограничения:

- График работы машин по объектам формируется на основе решения транспортной задачи исходя из критерия минимума приведенных затрат.
- Продолжительность проведения планового обслуживания одной машины, принимаем кратной единице планирования и равной нормативной продолжительности для обслуживания каждой конкретной единицы техники.
- Нарботка машины между ТО может отличаться от расчетной, но не выходить за верхний и нижний пределы которые определяются на основе вероятности безотказной работы.

Построение графика технического обслуживания и ремонтов осуществляется в следующей последовательности:

1. Сбор и подготовка исходной информации для планирования;
2. Определение предельных значений коэффициента технической готовности.
3. Расчет изменения коэффициента технической готовности машин в процессе выполнения объемов работ на объекте с учетом воздействия климатических, возрастных и других факторов, через вероятности безотказной работы.

$$P(b_i^j) \leq P(b_i^j)_{\text{доп}} \quad (1)$$

где $P(b_i^j)$ – вероятность без отказной работы i машины в j условиях при наработке b ; $P(b_i^j)_{\text{доп}}$ – допустимая вероятность без отказной работы i машины в j условиях при наработке b .

В частности, для формирования машинных парков и составления графиков ТО и Р в региональных организациях Владимирской области, были определены зависимости распределения отказов при эксплуатации землеройной техники при различных температурных условиях и сроках эксплуатации.

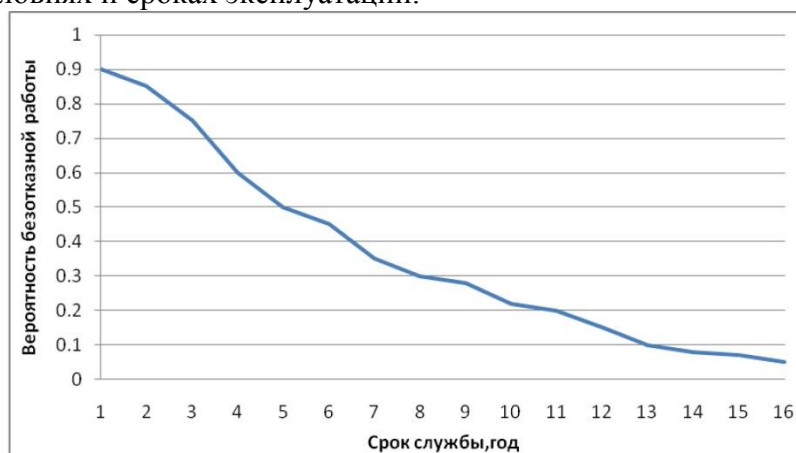


Рис.1- График изменения вероятности безотказной работы экскаватора ЭО-4124 в зависимости от возраста (при наработке 1500 моточасов в год).

Если условие выполняется, то машина рассчитывается как требующая только ТО, если нет – ставится в график как требующая ремонта. В качестве альтернативы при расчете может быть использована средняя наработка между отказами.

2. Составление приближенного графика проведения ТО:

- Определяем период времени, когда затраты на ремонт и техническое обслуживание машины будут минимальными:

$$C = C_{pi} * k_{ci} * k_{vi} \rightarrow \min \quad (2)$$

где $C_i(t)$ - затраты на ТО и Р i -й машины (ГСМ, запчасти, зарплата рабочих и т.д.), руб.; k_{ci} - коэффициент, учитывающий потери от простоя машины в ремонте; k_{vi} - коэффициент, учитывающий остаточный ресурс машины (в моточасах) до достижения предельной вероятности безотказной работы.

После определения расчетных показателей выбирается машина с минимальными удельными затратами. Машина ставится на обслуживание объекта и на период работы на нём исключается из расчета.

Далее производится анализ по следующему объекту. При этом в расчет берутся машины, которые свободны от выполнения работ.

- Вычисляются остаточные наработки для каждой машины, исключаются машины, у которых остаточная наработка на конец расчетного периода превышает 30% и производится повторный расчет. Для распределения машин во времени используется счетчик моточасов.

3. Составление окончательного графика проведения ТО:

- Производится проверка по периодам времени числа свободных бригад и количества машин, нуждающихся в обслуживании.

- Выдается результат расчета в виде графика распределения времени ТО и Р для каждой конкретной машины.

- В случае появления большого числа простоев бригад ремонтников, можно ограничить пределы проведения ТО для наиболее устаревших машин.

В результате применения результатов исследования на предприятиях Владимирской области удалось повысить наработку до отказа у возрастной техники, а также уменьшить доверительный интервал вероятности появления отказов на 25 %.

В настоящий момент ведутся работы по интеграции представленной методики в системы бизнес планирования, что должно ещё больше повысить эффективность реализации и при наличии справочной базы запасных частей производить своевременный заказ и доставку в эксплуатационную службу. Это способствует решению еще одной задачи - формированию склада запасных частей и вспомогательных материалов.

Список литературы

1. «Основные Средства» №02/2013
2. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем М.: Магистр. – 2005-535с.
3. Прохоров С.В. Анализ влияния эксплуатационных факторов на принципы формирования парков строительной техники // Журнал «Строительные и дорожные машины» - 2012 - №2 с.34-37

05.17.06

Д.А. Романов к.х.н.

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
кафедра «Иностранные языки в профессиональной коммуникации»,
Казань, dimromanov@rambler.ru

ЦЕНТР ПО РАЗРАБОТКЕ ПОЛИМЕРОВ ШЕФФИЛДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Центр по разработке полимеров Шеффилдского университета является крупнейшим в Великобритании специализированным научно-исследовательским комплексом на базе одного университета. Научными направлениями Центра являются электроника и фотоника, перспективные материалы и новые технологии производства, биоматериалы медицинского назначения.

Ключевые слова: *полимеры, перспективные материалы, научно-исследовательский центр.*

Современная российская наука ориентирована на коммерциализацию исследований и инновации. В этой связи опыт зарубежных исследовательских центров по разработке новых материалов и передовых технологий мог бы быть показательным. Данная статья является продолжением знакомства автора с достижениями зарубежной науки в области полимеров [1]. Цель данной работы – реферативный обзор научных направлений Центра по разработке полимеров Шеффилдского университета (the Polymer Centre at the University of Sheffield) [2].

Центр по разработке полимеров Шеффилдского университета считается крупнейшим в Великобритании, созданным на базе одного университета специализированным научно-исследовательским комплексом. Он объединяет 48 исследовательских групп в составе инженерного факультета, медицинского факультета и факультета фундаментальных наук, а исследования охватывают все области химии и технологии полимеров. Директором Центра является профессор кафедры «Химия» Шеффилдского университета Стивен П. Армс.

Партнёрами Центра по разработке полимеров являются: Междисциплинарный центр исследования полимеров Polymer IRC, Ассоциация по исследованию каучуков и пластиков RAPRA Ltd, научно-производственная сервисная компания при Шеффилдском университете FaraPack Polymers Ltd, Центр по внедрению университетских исследований в промышленность METRC. Центр по разработке полимеров также сотрудничает по вопросам коммерциализации исследований, оказывает помощь в решении технических задач, управлении проектами и привлечении дополнительного финансирования.

Научными направлениями Центра по разработке полимеров являются: электроника и фотоника, перспективные материалы и новые технологии производства, биоматериалы медицинского назначения.

Электроника и фотоника

Разработками в области электроники и фотоники занимается группа молекулярных материалов для электроники и фотоники (Electronic and Photonic Molecular Materials Group) на базе кафедры «Физика и Астрономия» Шеффилдского университета. Руководит группой профессор Д. Лидзи; наряду с ведущими специалистами кафедры, докторами наук А. Бакли и М. Греллом он также координирует научную работу учёных группы.

Исследования группы базируются на изучении принципов взаимодействия электронов и фотонов с полимерами с целью создания дисплеев и детекторов, разработки вычислительных процессов и процессов выработки электроэнергии, а также новых устройств, использующих эти процессы. Группа давно занимается вопросами физики и технологии органических полупроводниковых и оптоэлектронных устройств. Текущие программы исследований

ориентированы на органические фотоэлектрические устройства (фотоэлементы), органические сенсорные устройства и органические фотонные устройства.

Органические фотоэлементы создают на основе тонкоплёночных смесей сопряжённых полимеров и фуллеренов, при этом интересны новые полимеры-доноры и фуллерены-акцепторы. Направление развивает проф. Д. Лидзи [3].

Разработка органических сенсоров ориентирована на создание электронных преобразователей для контроля содержания пищевых токсинов, атмосферных загрязнителей, взрывчатых веществ по запаху. К таким преобразователям относятся хемисторы на основе наноплёнок, способных набухать под действием запахов и менять своё электрическое сопротивление, и органические полевые транзисторы на основе органических и органо-неорганических гибридных материалов, способных к молекулярному распознаванию запахов. Разработкой датчиков загрязняющих веществ на основе органических полупроводников занимается д-р М. Грелл [4].

Органические фотонные устройства создают на основе новых фотонных структур, способных изменять эмиссионные процессы, например, оптических нанопор. Разработкой фотонных структур и устройств на основе органических флуоресцентных материалов занимается проф. Д. Лидзи [5]; разработкой оптоэлектроники на основе органических функциональных материалов – д-р А. Бакли [6]. Вопросами фотоники также занимается д-р Дж. Кларк [7].

Новые материалы изучают спектроскопическими и микроскопическими методами, включая сверхбыструю лазерную спектроскопию и сканирующую зондовую микроскопию. Для биофизических исследований (изучения взаимодействий фермент-субстрат; белков, аккумулирующих световую энергию) применяют новые методы визуализации высокого разрешения: сканирующую ближнепольную оптическую микроскопию, микроскопию стохастической оптической реконструкции, лазерную сканирующую микроскопию совместно с атомно-силовой микроскопией. На применении методов визуализации высокого разрешения (например, для изучения переноса энергии между сопряжёнными полимерами) специализируется д-р Э. Кэббл.

Новые устройства разрабатывают и тестируют в чистых помещениях, а микро- и наноразмерные устройства – в чистых помещениях нанокласса. Открытой испытательной площадкой является солнечная станция Шеффилдского университета (the Sheffield Solar Farm), где в реальных условиях апробируют фотоэлементы, созданные в лаборатории. В одном из междисциплинарных проектов – «Солнечная энергия для будущих поколений» (Solar Energy for Future Societies) принимает участие д-р Х. Холмс.

Перспективные материалы и новые технологии производства

Разработками перспективных материалов и новых технологий производства занимается Институт передовых методов производства (Advanced Manufacturing Institute), образованный в 2011 г. на базе одноимённого исследовательского центра (Advanced Manufacturing Research Centre with Boeing) Шеффилдского университета. Изначально тесные связи этого центра с компанией Боинг и различными отраслями промышленности обусловили продвижение в производство новых полимерных материалов и композитов. Основная задача проводимых здесь исследований – разработка новых «умных» материалов и композитов для промышленных изделий, например, для серийного изготовления деталей для авиалайнеров, а также разработка новых технологий их получения.

Большая доля разработок перспективных материалов приходится на кластер «Полимеры, Материалы, Покрытия» (Polymers, Materials, and Surfaces Cluster) кафедры «Химия» Шеффилдского университета. Здесь разрабатывают новые полимерные материалы для медицинских изделий, функциональных покрытий и устройств, использующих солнечную энергию, по следующим направлениям:

Синтез полимеров «живой» радикальной полимеризацией, например, радикальной полимеризацией с переносом атома (ATRP) и полимеризацией с обратимым переносом цепи

по механизму присоединение-фрагментация (RAFT): синтез «умных» полимеров с регулируемой структурой на основе гидрофильных метакриловых мономеров (проф. С. Армс) [8];

Синтез коллоидных полимерных систем: новых латексов, микрогелей, коллоидных нанокомпозитов, эмульгаторов Пикеринга (проф. С. Армс) [9];

Синтез новых полимерных биоматериалов: самосборка биосовместимых блок-сополимеров в мицеллы, пузырьки, гели (проф. С. Армс, проф. Э. Райан) [10];

Синтез разветвлённых и привитых полимеров (д-р С. Риммер) [11];

Синтез целлюлозных биополимеров и полиуретанов (проф. Э. Райан) [12];

Синтез новых сопряжённых полимеров для органических светодиодов (используемых в дисплеях) и солнечных фотоэлементов (д-р А. Ираки) [13].

Междисциплинарная программа в области химии поверхности объединяет следующие проблемы: структурирование поверхности на наноуровне (проф. Г. Леджетт) [14], создание биосовместимых полимерных щёток (проф. С. Армс) [15], развитие нанотрибологии и микроскопии сил трения.

Производственными партнёрами кластера являются ведущие промышленные компании Akzo Nobel, British Petroleum, Reckitt Benckiser, Unilever.

Разработкой новых технологий также занимаются на других кафедрах Шеффилдского университета. Например, кафедра «Машиностроение» стала пионером в разработке аддитивных технологий (использующих процессы послойного создания детали на основе цифровой 3D-модели). Такие технологии используют в полиграфии (послойная печать) или для быстрого создания опытной физической модели (прототипирование). Направление развивают д-р К. Мумтаз, проф. Н. Хопкинсон [16].

Биоматериалы медицинского назначения

Медицинскими биоматериалами занимается Центр биоматериалов и тканевой инженерии (Centre for Biomaterials and Tissue Engineering) на базе кафедр «Химия», «Биомедицина», «Материаловедение и Инжиниринг» Шеффилдского университета совместно со специалистами Школы клинической стоматологии (The School of Clinical Dentistry) и клиническими специалистами. Руководит Центром профессор Дж. Хэйкок. Научными направлениями центра являются: новые биоматериалы и изделия медицинского назначения, тканевая и генная инженерия, методы визуализации и методы вычислительной биологии.

Новые биоматериалы включают каркасы для искусственных органов, матрицы для высвобождения лекарственных средств, биоматериалы для протезирования, трансфекции, улучшения биосовместимости имплантатов. Биоматериалами для протезирования занимаются д-р И. ур Рэхман, проф. Р. ван Ноорт. Полимерные каркасы и поверхности используют для культивирования клеток и выращивания тканей; для изучения искусственных тканей и биоматериалов применяют методы визуализации и анализа. Полимерами для тканевой инженерии также занимается д-р С. Риммер [17].

Изделия медицинского назначения разрабатывают для терапии, хирургии и диагностики (имплантаты, протезы, стенты, сердечные клапаны, биореакторы, компьютерные томографы и т.д.).

Тканевая инженерия решает задачи выращивания органов: хрящей, нервов, кожи, костей, роговых оболочек глаза, слизистых оболочек рта. Направление развивают д-р Г. Рэйли, д-р А. Кроуфорд, проф. П. Хэттон, проф. Дж. Хэйкок, проф. Ш. МакНил. Проф. Дж. Хэйкок также специализируется на 3D-культивировании клеток [18]. Стволовые клетки исследует д-р И. Беллантуоно с целью их потенциального применения на уровне генной и клеточной терапии.

Вычислительными и математическими методами изучения принципов функционирования биологических систем занимается группа вычислительной биологии (Computational Biology Group). Здесь создаются математические и компьютерные модели биологических процессов, как на молекулярном уровне, так и на уровне клеток, тканей и организма, с целью понять,

как передаются сигналы внутри клеток и между ними, как развиваются ткани, и какие ткани лучше подходят для клинического применения. Научными направлениями группы являются: агентное моделирование; моделирование, управляемое данными; вычислительная нейробиология; вычислительная физиология; теория биотехнологической оптимизации; поведенческая и эволюционная теория.

Список литературы

1. Романов Д.А., Rodríguez J.F. Обзор работ, проведённых в университете Кастилии–Ла-Манчи (Испания) по оптимизации процесса гликолиза эластичного пенополиуретана с расслоением жидкой фазы // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 1. С. 59–62.
2. The Polymer Centre at the University of Sheffield. URL: <http://www.polymercentre.org.uk> (дата обращения: 01.04.2015).
3. Pearson A.J., Wang T., Lidzey D.G. Correlating molecular morphology with optoelectronic function in solar cells based on low band-gap copolymer:fullerene blends // J. Mater. Chem. C. 2013. Vol. 1. P. 7266–7293.
4. Al Qahtani H., Puzzovio D., Dragoneas A., Richardson T., Grell M. A swelling-based chemiresistor for a biogenic odour // Talanta. 2012. Vol. 99. P. 50–54.
5. Lidzey D.G. Strong optical coupling in organic semiconductor microcavities // Thin films and Nanostructures. 2003. Vol. 31. P. 355–402.
6. Buckley A.R. The technology and manufacturing of polymer OLED on complementary metal oxide semiconductor (CMOS) microdisplays // Organic Light-Emitting Diodes (OLEDs). Materials, Devices and Applications. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2013. P. 459–511.
7. Clark J., Lanzani G. Organic Photonics for Communications // Nature Photonics. 2010. Vol. 4. P. 438–446.
8. Semsarilar M., Jones E.R., Armes S.P. Comparison of pseudo-living character of RAFT polymerizations conducted under homogeneous and heterogeneous conditions // Polym. Chem. 2014. Vol. 5 (1). P. 195–203.
9. Thompson K.L., Williams M., Armes S.P. Colloidosomes: Synthesis, properties and applications // J. Colloid Interface Sci. 2015. Vol. 447. P. 217–228.
10. Blanz A., Armes S.P., Ryan A.J. Self-Assembled Block Copolymer Aggregates: From Micelles to Vesicles and their Biological Applications // Macromol. Rapid Commun. 2009. Vol. 30 (4–5). P. 267–277.
11. England R.M., Rimmer S. Hyper/highly-branched polymers by radical polymerisations // Polymer Chemistry-UK. 2010. Vol. 1 (10). P. 1533–1544.
12. Li W., Ryan A.J., Meier I.K. Effect of chain extenders on the morphology development in flexible polyurethane foam // Macromolecules. 2002. Vol. 35 (16). P. 6306–6312.
13. Alsalmeh A.M., Alghamdi A.A.B., Al-Baradi A.M., Iraqi A. Synthesis and physical properties of a “double-cable” polymer for photovoltaic applications // Int. J. Electrochem. Sci. 2013. Vol. 8. P. 5575–5593.
14. Leggett G.J. Photolithography beyond the diffraction limit // Nanolithography and patterning techniques in microelectronics. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2005. P. 238–266.
15. Tairy O., Kampf N., Driver M.J., Armes S.P., Klein J. Dense, highly hydrated polymer brushes via modified atom-transfer-radical polymerization: Structure, surface interactions, and frictional dissipation // Macromolecules. 2015. Vol. 48. P. 140–151.
16. Mumtaz K.A., Hopkinson N.J. Selective Laser Melting of thin wall parts using pulse shaping // Mater. Process Tech. 2010. Vol. 210 (2). P. 279–287.
17. Rimmer S. Biomaterials: Tissue engineering and polymers // Emerging themes in polymer science. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2001. P. 89–99.
18. Haycock J.W. 3D-cell culture: A review of current approaches and techniques // 3D-cell culture: Methods and protocols. Series: Methods in molecular biology. 2011. Vol. 695. P. 1–15.

05.02.08

**П.М. Салов, Т.Г. Виноградова, С.С. Сайкин,
А.В. Гартфельдер, А.А. Алексеев, Н.В. Пегов**

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова – Московский проспект,
машиностроительный факультет, кафедра технология машиностроения,
Чебоксары, tavin2008@mail.ru

ОЦЕНКА РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПЛАСТИН

В работе представлены результаты стойкостных испытаний твердосплавных пластин и износ резцов

Ключевые слова: *стойкость, твердосплавные пластины, износ.*

Современная наука о резании металлов накопила богатый материал о физической природе резания, трения и изнашивания инструмента. На этой основе возникли предпосылки для поиска общих закономерностей их изнашивания. Вначале общие закономерности дополнялись поправочными коэффициентами, которые учитывали специфические особенности процесса при одинаковых аргументах. Затем были выдвинуты некоторые гипотезы поиска закономерностей. Однако и они связаны с трудоемкими исследованиями. В первую очередь, при появлении новых инструментальных и обрабатываемых материалов. Установки, моделирующие процесс изнашивания в лабораторных условиях, позволили сократить время испытаний, найти обобщенные закономерности изнашивания.

Широкое распространение получили ускоренные стойкостные испытания в реальных условиях с экстраполяцией полученных данных по предлагаемому характеру изнашивания. Однако результаты ускоренных испытаний справедливы лишь в конкретной области режимов резания. Сопоставление силовых и линейных стойкостных зависимостей от скорости резания показывают обратную корреляцию экстремальных значений - возрастание стойкости в области снижения силы и наоборот. Данная закономерность справедлива для различных инструментальных материалов. Однако по мере повышения их механических характеристик экстремальные значения смещаются в зону более высоких скоростей.

Определению оптимальной скорости резания предшествует выбор инструментального материала и назначение подачи при известной глубине резания. Рекомендации по выбору инструментального материала наряду с требованиями высоких прочностных характеристик сводится к обеспечению химической (диффузионной, адгезионной) инертности по отношению к обрабатываемому материалу.

Назначение величины подачи по высшему уровню, ограничиваемому технологическими условиями жесткости и виброустойчивости технологической системы, прочностью инструмента, шероховатостью обработанной поверхности. При этом необходимо учитывать технические свойства инструментальных материалов, допускающих большую подачу при малой скорости резания и большую силу резания и наоборот - при больших скоростях резания малую подачу и малую силу резания.

Выбор оптимальной скорости резания предполагает определение минимальной силы резания в целесообразном для конкретной пары инструмент - деталь диапазоне скоростей. Скорость соответствующая минимальной силе резания принимается оптимальной. Способ прост в реализации и основан на измерении ваттметром мощности главного движения или универсальным динамометром сил резания. Это облегчает применение способа в производстве, но тем не менее широкого распространения в реальном производстве этот метод не нашел.

Представляет интерес способ сравнительной оценки стойкости твердых сплавов, предложенный в работе [1]. Его суть в том, что электрохимической обработкой материала

получают на его поверхности вещества, являющиеся индикаторами механических свойств этого материала.

Метод проверялся при анализе твердосплавных пластин и композита 01. Например, группа пластин из твёрдого сплава Т15К6 после извлечения их из электролита на воздух, или иную среду, будучи в первые секунды внешне одинакового серого цвета, быстро окрашиваются в синий тон различной насыщенности и светлоты. Различную окраску пластинам придают продукты их электрохимической обработки, которые представлены порошкообразным налётом. Он образуется на поверхности пластин, обращенной к катоду, тогда как сами пластины крепятся на аноде. Прочная связь налёта с основой пластины отсутствует, и он легко удаляется с поверхности ватным тампоном. Толщина налёта зависит от условий электрохимической обработки и может достигать от долей до нескольких микрон, что, как правило, не сказывается на последующей эксплуатации пластин.

Цвет налета при подсыхании пластин (дегидратации) несколько изменяется. При повторных гидратации и дегидратации индикаторный эффект может ослабеть и, чтобы его выявить, необходимо воздействовать на налёт, например, раствором кислоты.

В ряде случаев индикаторный эффект проявлялся в электрохимической ячейке, т.е. без дегидратации. Данное обстоятельство свойственно условиям, когда катод и анод сближались до возможно допустимого расстояния.

В отдельных случаях цвет порошкообразного налёта сохранялся после полной дегидратации пластин и в дальнейшем не изменялся. Например, при электрохимической обработке пластин из твердого сплава ВК8 имели место случаи, когда пластина покрывалась темно-бурым цветом, а кромки её ещё дополнительно – зеленым. После дегидратации пластины несколько посерели, но имевшие место цветовые тона сохранились.

Результаты испытаний твердосплавных пластин из Т15К6 на стойкость в зависимости от их окраски даны в табл. 1. Условия обработки: 1) геометрия резца: $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $\gamma = 5^\circ$; $r = 0,2$ мм; 2) режим точения - скорость $V = 150$ м/мин, подача $S = 0,1$ мм/об, глубина $t = 0,1$ мм; 3) критерий износа - фаска износа по задней поверхности резца $h_3 = 0,4$ мм.

Таблица 1 - Стойкость пластин Т15К6 в зависимости от их окрашивающей способности при точении стали 38Х2МЮА

№ группы	Распределение пластин по стойкости	Визуальная характеристика поверхности пластин	Стойкость пластин, мин.
I	1	Белый порошкообразный налёт	159
	2		153
II	3	Белый порошкообразный налёт с голубизной	120
III	4	Отдельная синева на светло-голубом фоне	90
IV	5	Различное сочетание синего и голубого цветов	78
	6		69
	7		63
	8		54
V	9	Явное преобладание синего цвета над голубым	39
	10		36
VI	11	Тёмно-синий цвет	15

Пластины из твердого сплава ВК8 после электрохимической обработки и дегидратации чаще всего приобретали цветовые тона от светло-серого до темно-синего. Возможно появление коричневого, бурого и темно-бурого тона.

На некоторых марках твердого сплава присутствовали розовые тона. Отдельные партии пластин окрашивались в одинаковый светло-серый или белый матовый тон. К таким пластинам относятся, как правило, неперетачиваемые, среди которых выделяются своим однообразием шведские фирмы Сандвик Коромант, которые имели белый матовый тон. Стойкость равноокрашенных светлых пластин была высокой и практически одинаковой.

Данный метод оценки стойкости был использован для отбора пластин из композита 01 (эльбор-Р). После электрохимической обработки пластины были разбиты на две группы. К первой группе были отнесены пластины, у которых налет на поверхности был светлый и светло-серый по сравнению с тёмным налетом на пластинах второй группы. Так же, как и на пластинах твёрдого сплава, аморфный налет не имеет прочной связи с основой эльбора-Р и легко удаляется ватным тампоном.

Визуальное распределение не вызвало затруднений.

Стойкостные испытания проводились при симметричном однозубом фрезеровании заготовки $B \times L = 36 \times 200$ из закаленной стали ХВГ (58...61 HRC). Скорость резания - $V = 150$ м/мин, подача $S_z = 0,043$ мм/зуб, глубина фрезерования - $t = 0,3$ мм, геометрия резцов выбрана оптимальной для закаленных сталей ($\varphi = 30^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\alpha = 13^\circ$, $\alpha_1 = 10^\circ$, $\gamma = -15^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, фаска при вершине $f = 0,3$ мм).

В табл. 2 приведены результаты испытаний пластин на стойкость, при этом первая группа испытывалась в течение 15 мин, а вторая - до фаски износа по задней поверхности - $h_3 = 0,25 \div 0,30$ мм.

Визуальное распределение пластин по группам происходит безошибочно. Пластины с высокой стойкостью (I группа) обеспечивают незначительный разброс стойкости в пределах своей группы.

Пластины низкой стойкости (II группа) имеют существенно больший разброс по стойкости не только между пластинами, но и между отдельными режущими кромками одной пластины, что подтвердилось при резании другой гранью пластины, имеющей место 8(10).

Таблица 2 - Износ резцов из композита 01, визуально распределенных в порядке убывания стойкости по светлоте

Предполагаемое место резца по стойкости	Номер условной группы по стойкости	Износ резца по задней поверхности: h_3 , мм.	Время работы резца: τ , мин.	Фактическое место резца по стойкости
1 (1) 2 (2) 3 (3) 4 (4) 5 (6)	I	0,05 0,12 0,10 0,10 0,12	15	1 4-5 2-3 2-3 4-5
6 (7) 7 (9) 8 (10) 9 (11) 10 (12) 11 (16) 12 (21)	II	0,30 0,30 0,25 0,30 0,30 0,30 0,30	5 7 15 6 5 7 5	10÷12 7-8 6 9 10÷12 7-8 10÷12

Примечание: место в скобках указывает на предполагаемую стойкость во всей партии из 21 пластины, а без скобок - место в выборке из 12 пластин.

Неоднородность физических свойств прослеживается по рисунку, создаваемому индикаторным эффектом: грань пластины, окрашивающаяся в более тёмный цвет по сравнению с другой гранью, изнашивается более интенсивно.

Список литературы

1. Иванов Ю.И., Салов П.М. Способ сравнительной оценки стойкости режущих инструментов. 1992. - 18 с. - Деп. в ВНИИТЭМР, № 64.

05.11.13

Е.В. Сафонова к.т.н.

Бугульминский филиал Казанского национального исследовательского технического университета (КНИИТУ-КАИ) им. А.Н. Туполева, кафедра Естественных Научных Дисциплин, Бугульма; КНИИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, кафедра Систем Информационной Безопасности, Казань, ksafonova@yandex.ru

АВТОГЕНЕРАТОРЫ: ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И РАБОТЫ, СТАБИЛЬНОСТЬ ЧАСТОТЫ

В данной статье освещены вопросы построения АГ, а также уделено серьезное внимание таким непростым моментам, как эффект затягивания частоты и стабильность частоты автогенератора.

Ключевые слова: автогенераторы, ГУН - генератор, управляемый напряжением, эффект "затягивания частоты", стабильность частоты автогенератора.

Введение

Автогенератором (АГ) называют устройство, преобразующее питающее напряжение в высокочастотное без внесения внешнего возбуждения. Частота и амплитуда этого напряжения являются функциями параметров схемы автогенератора.

В радиопередатчиках автогенераторы входят в состав первичных возбудителей колебаний, обеспечивая частоту связи, а в радиоприемниках - в состав гетеродинов.

Главными факторами генерируемого колебания являются свойства его частоты, а именно, соответствие номиналу и временная стабильность. Большинство радиопередатчиков являются диапазонными, в которых совмещение стабильности частоты с перестройкой по диапазону затруднительно. Поэтому, возбудитель колебания (синтезатор частот) содержит два автогенератора. Один из них - высокостабильный (кварцевый), другой - перестраиваемый (так называемый ГУН - генератор, управляемый напряжением).

Мощность для автогенератора является второстепенным фактором, в большинстве случаев, она имеет порядок единиц мВт.

Активные элементы автогенератора умеренно-частотного диапазона строятся на основе транзисторов - одного или нескольких (из числа очень многих, входящих в интегральную схему).

Структура и принцип работы триодного автогенератора.

Триодный (трехэлектродный транзисторный) автогенератор состоит из трех основных узлов: активного элемента (АЭ), колебательной цепи (КЦ) и цепи обратной связи (ОС), включённых в кольцевую цепь (Рис. 1(а)).



Рис. 1 Структурная схема триодного автогенератора (а), эквивалентная схема колебательной цепи с обратной связью (б).

Колебательные цепи совместно с обратной связью в умеренно-высокочастотном диапазоне образованы тремя реактивными сопротивлениями $X_{1,2,3}$ (рис. 1(б)), каждое из которых реализуется одним или несколькими элементами с сосредоточенными параметрами.

В своей совокупности и на частоте генерации, сопротивления этих элементов равно указанным $X_{1,2,3}$ и носит индуктивный или емкостной характер (Рис.2).

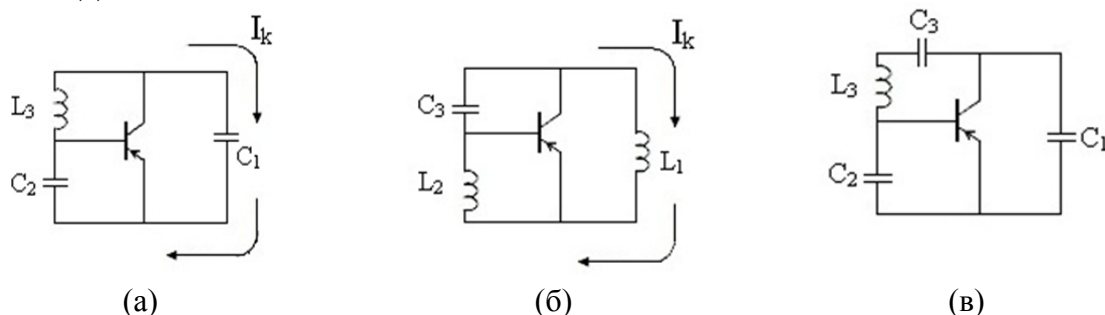


Рис.2 Трехточечные схемы включения триодного автогенератора.

При этом $X_{1,2}$ имеет одинаковый знак, что обеспечивает положительную обратную связь и, как следствие, работоспособность схемы.

Напряжения на электродах активного элемента, обуславливающие его рабочий режим, формируются реактивным контурным током I_k и пропорциональны номиналам $X_{1,2,3}$. При этом сумма трех сопротивлений равна нулю, то есть имеет место резонанс.

Активный элемент, он показан условным знаком в центре рисунков (Рис. 2 (а, б)), включает в себя транзистор VT (Рис. 3), источник питания E с фильтром $L_\phi C_\phi$ (показан вариант), а также резисторы $R_{1,2,Б}$, обеспечивающие самовозбуждение автогенератора и режим транзистора по постоянному току.

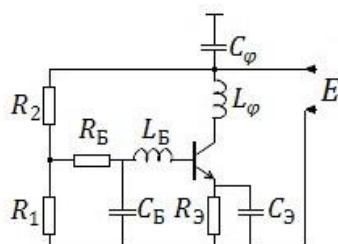


Рис.3 Эквивалентная схема транзисторного АГ

Как видно, в совокупности с цепью термостабилизации $R_3 C_3$ (но без резистора R_B) схема активного элемента (АЭ) автогенератора идентична схеме АЭ усилителя. В некоторых случаях, дополнительный фильтр (аналогичный $L_\phi C_\phi$) ставят в цепь базы, препятствуя прохождению переменного тока в делитель $R_1 R_2$. Точки подключения колебательной цепи и обратной связи ясны из сопоставления с Рис.2.

Делитель напряжения $R_1 R_2$ в отсутствие колебания обеспечивает небольшое отпирающее смещение на базе. Этим достигается надежное, так называемое, мягкое самовозбуждение автогенератора при включения питания. С ростом амплитуды и благодаря отсечке тока, транзистор переходит в нелинейный режим. Возросшая при этом постоянная составляющая тока базы изменяет напряжение на R_B и подзапирает эмиттерный переход. Устанавливается стационарный режим колебаний с небольшим током базы и с отсечкой коллекторного тока, причем угол отсечки обычно меньше 90° . Отметим, что транзисторный автогенератор одно из самых "некапризных" устройств в радиотехнике, и описанный динамический режим устанавливается даже при больших ошибках в оценке параметров транзистора и в выборе резисторов $R_{1,2,Э,Б}$.

Во многих случаях включение коллектора биполярных транзисторов в колебательную цепь неполное (рис. 2(в)), что связано с большой (в сравнении с лампами и полевыми транзисторами) крутизной проходной характеристики и стремлением избежать сильно нелинейного режима.

Двухконтурные автогенераторы и эффект "затягивания частоты"

Обратимся к автогенераторам, которым присущи некоторые схемотехнические особенности и свойства, усложняющие их эквивалентные схемы и режим работы.

Эти особенности чаще имеют место в автогенераторах на верхней границе умеренно-высокочастотного диапазона, в кварцевых автогенераторах и особенно в управляемых по частоте автогенераторах дециметрового диапазона. Все эти моменты усложняют структуру сопротивлений $X_{1,2,3}$, превращая их в колебательные контуры. Примеры эквивалентных схем таких АГ даны на рис.4, их называют двухконтурными. Это название не вполне точное, поскольку в своей совокупности, схемы могут быть сведены по начертанию к одному из вариантов, приведенных на рис.2, то есть к одному из примеров (по отношению к исходным схемам), а именно, к третьему контуру.

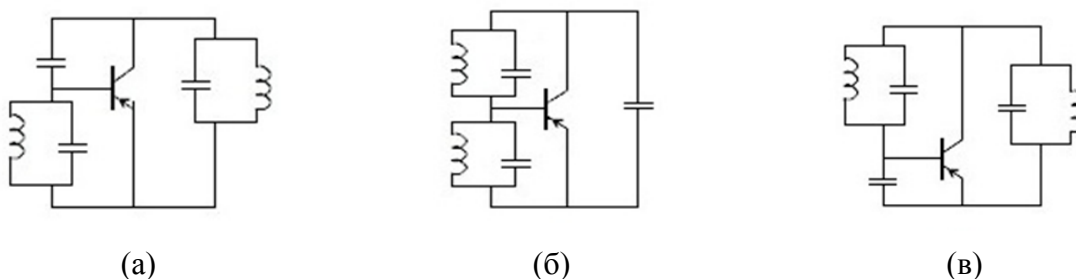


Рис.4 Примеры эквивалентных схем двухконтурных автогенераторов

Существуют и другие варианты автогенераторов в однокаскадных передатчиках, также называемых двухконтурными (Рис.5), хотя сейчас эти варианты сравнительно редки, благодаря применению (для связи с последующими цепями передатчика) в буферных каскадах.

Термин "затягивание частоты" введенный еще в 30-е годы 20 века так и не стал общепринятым и не отражает сути явления.

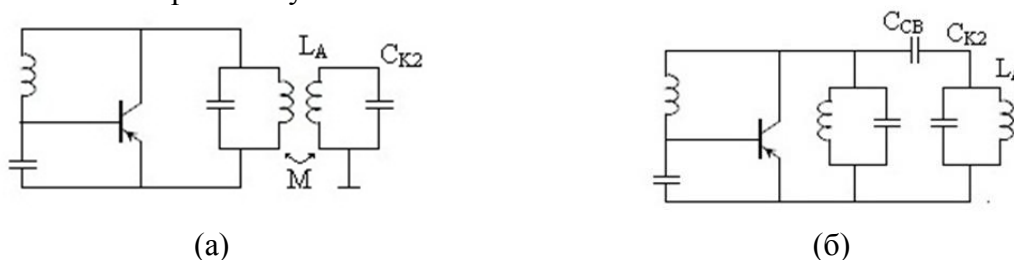


Рис.5 Варианты эквивалентных схем двухконтурных АГ в однокаскадных передатчиках

Это явление присуще всем двухконтурным автогенераторам. В настоящее время интерес в этом плане представляет схема на рис.4(в), к которой приводится схема генератора, управляемого напряжением (ГУН), дециметрового и сантиметрового диапазонов (то есть реализующаяся в любой абонентской или базовой станциях мобильной связи - освоенных и перспективных частотных диапазонов).

Явление затягивания состоит в существенно нелинейной (в том числе в виде скачков) и даже неоднозначной зависимости амплитуды и частоты генерации от настройки одного из контуров (в классике рассмотрен случай перестройки вторичного контура (рис.5) $L_a C_a$ - эквивалента антенны).

Характер изменения генерируемого частоты зависит от коэффициента связи K_c . Критической связь соответствует $K_{c_{кр}} = \frac{1}{Q_2 \delta_2}$, где Q_2, δ_2 - добротность и затухание во вторичном контуре. Изменение коэффициента связи достигается регулировкой взаимной индукции M (рис. 5а) или емкости $C_{св}$ (Рис. 5(б)).

Стабильность частоты автогенератора

Стабильность частоты связи - один из главнейших параметров радиосистемы, который обеспечивается задающим генератором. В современных радио системах роль задающего генератора выполняют синтезаторы частот, содержащие в своем составе автогенераторы в качестве первичных возбудителей. Численным параметром является нестабильность частоты.

Нестабильность порождается флуктуациями параметров схемы автогенератора, которые в свою очередь зависят от внешних условий и других факторов, подробно описанных в литературе (1,2,3).

Для получения малой нестабильности важно не только снижение уровня флуктуаций элементов схемы автогенератора (например, путем защиты радиопередатчика от внешних неблагоприятных воздействий), важна и структура самой схемы, а также номиналы (то есть средние значения) элементов.

В частности доказано, что влияние всех элементов, кроме индуктивности и емкости контура, ослабляется с ростом добротности контура. Последнее осуществляется слабой связью с нагрузкой (путем введения буферного каскада) и малым коэффициентом обратной связи. В этом отношении биполярные транзисторы предпочтительнее, поскольку они обладают высокой крутизной проходной характеристики.

Другой аспект, связанный с выбором транзистора, обусловлен влиянием емкости переходов $C_{ЭБ}$ и $C_{КБ}$ на величину полной емкости контура. Это влияние не зависит от добротности, но зато эффективно ослабляется по мере увеличения силы неравенств $C_1 \gg C_{КБ}$ и $C_2 \gg C_{ЭБ}$. Обе емкости зависят от питающего напряжения.

Выводы

Таким образом, для высокостабильных автогенераторов следует применять более высокочастотные (и даже сверхвысокочастотные) транзисторы, имеющие большую крутизну, а также стабилизировать источник питания.

Список литературы

1. Робинсон Ф.Н.Х. Шумы и флуктуации в электронных схемах и цепях, пер. с англ., М., 1980
2. Малахов А.Н. Флуктуации в автоколебательных системах, М., 1968
3. Благовещенский М.В., Уткин Г.М. (под ред.), Белов Л.А., Богачев В.М. и др. Радиопередающие устройства 1982

05.23.02

А.И. Субботин

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, строительный факультет, г. Новочеркасск, subbotin_ai@mail.ru

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В УПРУГОЙ ПОЛУПЛОСКОСТИ ОГРАНИЧЕННОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ

Статья посвящена рассмотрению условий моделирования работы оснований протяженных в плане фундаментов в испытательном лотке. Приводятся данные для модели фундаментной плиты и условий её использования при экспериментальных исследованиях в определенном интервале нагрузок. По результатам моделирования определена область моделирования для принятых размеров модели фундаментной плиты и параметров основания.

Ключевые слова: напряжения и деформации грунтов, грунты, экспериментальные исследования, моделирование, модель фундамента, интервал нагружения.

Разработка новых расчетных моделей, а, следовательно, математического описания наблюдаемых в ней процессов, учитывающих дискретность грунтов, дилатансионные характеристики, анизотропию и другие особенности грунтовой среды, приводит к схематизации рассматриваемых в ней явлений и свойств грунтов. При этом поставленные задачи выделяют приоритетные факторы, а все другие не учитывают. В результате чего создается расчетная модель, частично отражающая действительную природу рассматриваемых процессов в грунте.

Многих исследователей интересовал вопрос учета различной распределительной способности грунта в расчетных моделях. Однако эти модели, в основном, относятся к типу контактных, не позволяющих найти распределение напряжений и деформаций в грунтовой массиве.

Известно, что грунты обладают большей распределительной способностью, чем предполагает гипотеза местных упругих деформаций, но меньшей, чем предполагает гипотеза общих упругих деформаций.

Большинство упругопластических решений при малых нагрузках дают распределение напряжений, совпадающие с решением линейной теории упругости, что для дискретной среды мало приемлемо.

Модель, представляющая собой дискретную среду, состоящую из отдельных частиц, и описывающая взаимодействие отдельных частиц с учетом связей между ними, является достаточно близкой к действительности. В общем виде такая модель настолько сложна, что практически не может быть реализована и поэтому прибегают к различным упрощениям. Простейшим примером дискретной среды может быть система взаимодействующих шаров или цилиндров.

Принимая данную схему работы основания как дискретной среды, Дыбой В.П. [2] была решена задача о действии сосредоточенной силы на упругую полуплоскость, где «воспринимающая» зона ограничена некоторым углом $\beta = \frac{1}{2} \left[\arcsin \left(\sin \varphi + \frac{2c \cos \varphi}{\gamma z + p} \right) + \varphi \right]$.

С теоретической точки зрения предположение заключается в допущении линий слабых разрывов в упругом решении для основания, нагруженного распределенной нагрузкой, и линий сильных разрывов для основания, нагруженного сосредоточенной нагрузкой. При этом, очевидно, поле перемещений остается непрерывным.

С практической точки зрения предлагается модель упругого основания, имеющего "промежуточную" распределительную способность.

Развивая данное решение, была решена задача о действии на полуплоскость полубесконечной нагрузки с пригрузкой [1].

Как известно, напряженное состояние упругой полуплоскости при действии полубесконечных нагрузок описывается известными формулами теории упругости:

$$\left. \begin{matrix} \sigma_r \\ \sigma_\theta \end{matrix} \right\} = p - \frac{p-q}{2\pi} (\pi - 2\theta \pm \sin 2\theta); \quad (1)$$

$$\tau_{r\theta} = -\frac{p-q}{2\pi} (1 + \cos 2\theta),$$

где p и q - соответственно нагрузка и пригрузка, θ - полярный угол, отсчитываемый от вертикальной оси z (рис. 1).

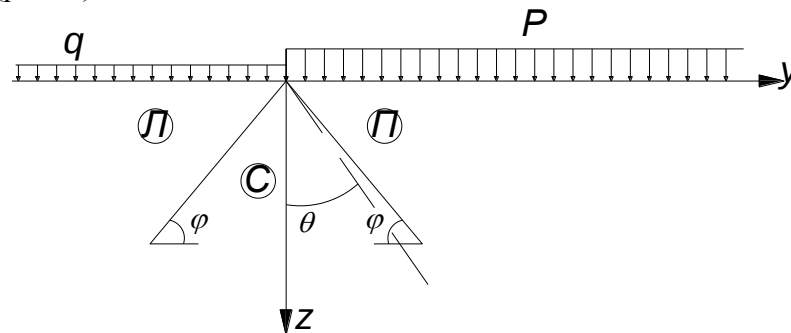


Рис. 1 - Схема действия полубесконечной нагрузки с пригрузкой на упругую полуплоскость ограниченной распределительной способности

Рассматривая упругую полуплоскость ограниченной распределительной способности при действии полубесконечной нагрузки с пригрузкой, можно отметить, что крайние зоны полуплоскости находятся в условиях простого напряженного состояния и поэтому выражения для напряжений в характерных зона полуплоскости запишется в виде:

- зона "Л"

$$\left. \begin{matrix} \sigma_r \\ \sigma_\theta \end{matrix} \right\} = \frac{q(\pi - 2\varphi \pm \sin 2\varphi \cos 2\theta)}{\pi - 2\varphi + \sin 2\varphi}; \quad (2)$$

$$\tau_{r\theta} = -\frac{q \sin 2\varphi \sin 2\theta}{\pi - 2\varphi + \sin 2\varphi};$$

- зона "С"

$$\left. \begin{matrix} \sigma_r \\ \sigma_\theta \end{matrix} \right\} = \frac{(p+q)(\pi - 2\varphi \pm \sin 2\varphi \cos 2\theta) + (p-q)(2\theta \mp \cos 2\varphi \sin 2\theta)}{2(\pi - 2\varphi + \sin 2\varphi)} \quad (3)$$

$$\tau_{r\theta} = -\frac{(p+q) \sin 2\varphi \sin 2\theta + (p-q)(1 + \cos 2\varphi \cos \theta)}{2(\pi - 2\varphi + \sin 2\varphi)};$$

- зона "П"

$$\left. \begin{matrix} \sigma_r \\ \sigma_\theta \end{matrix} \right\} = \frac{p(\pi - 2\varphi \pm \sin 2\varphi \cos 2\theta)}{\pi - 2\varphi + \sin 2\varphi}; \quad (4)$$

$$\tau_{r\theta} = -\frac{p \sin 2\varphi \sin 2\theta}{\pi - 2\varphi + \sin 2\varphi}.$$

Для идеально-связной среды ($\varphi=0$), выражение (3) строго переходит в уравнение для упругой полуплоскости при полубесконечной нагрузке с пригрузкой, а выражения (2) и (4) соответствуют значениям напряжений при предельных значениях угла θ .

Непрерывность параметров напряженного состояния ($\sigma_r, \sigma_\theta, \tau_{r\theta}$) легко доказывается тождественностью выражений (2) и (3), (3) и (4) на соответствующих границах характерных зон полуплоскости.

Сравнивая выражения (1) и (2) - (4) видно, что в предлагаемом ограничении распределительной способности основания, в отличие от модели теории упругости, значения напряжений зависят не только от нагрузки и пригрузки, но и от угла внутреннего трения φ . Так как данная величина относится к прочностным характеристикам основания, то модель основания ограниченной распределительной способности имеет преимущество перед методом теории упругости расчетов параметров напряженного состояния, где зависимость между напряжениями и прочностными параметрами основания отсутствуют. В этом главное и основное преимущество упругого основания ограниченной распределительной способности в сравнении с упругим решением.

Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния основания модели сплошного плитного фундамента, проведенные в лаборатории «оснований и фундаментов» кафедры ПГСГиФ на испытательной машине МФ-1 конструкции Ю.Н. Мурзенко, позволили выполнить сравнение результатов экспериментальных исследований с теоретическими решениями [1].

Экспериментальные данные развития радиальных σ_r , тангенциальных σ_θ и касательных напряжений $\tau_{r\theta}$ представлены на рис. 2-4.

Графическое сопоставление по напряжениям для решения упругого основания ограниченной способности и решения теории упругости с экспериментальными данными выполнено для одной из ступеней нагружения $p=0,32$ МПа. Расчетные параметры соответствовали условиям эксперимента и имели значения: $q=0,33$ кПа, $\varphi=40^\circ$. Причем, сопоставление результатов теоретического (численного) и физического (экспериментального) моделирования сложных процессов деформирования грунтовой среды является не простой задачей. Речь идет не о сопоставлении каких-то численных значений изучаемых параметров, а о том, имеют ли место тождественные процессы развития НДС среды в теории и эксперименте.

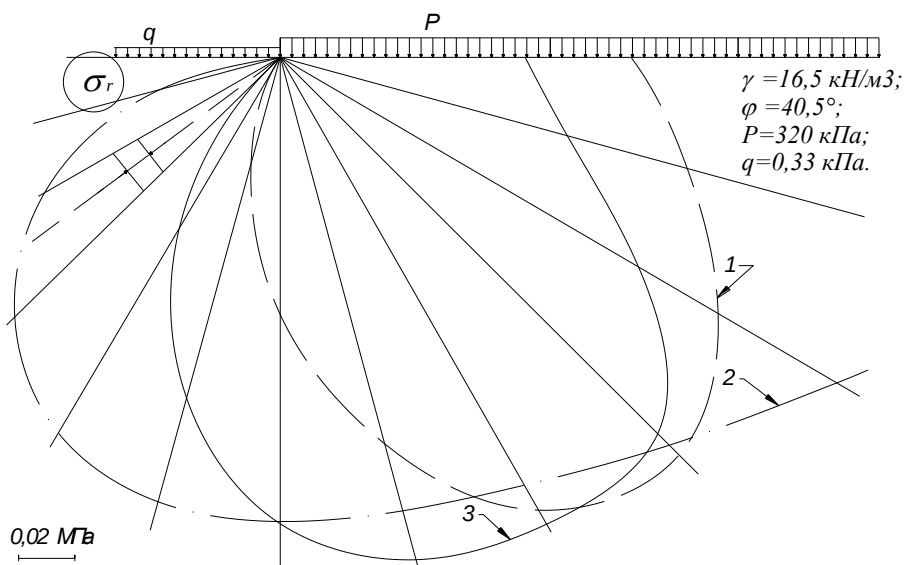


Рис. 2. Радиальные напряжения σ_r в краевой зоне основания фундаментной плиты:
1 – эксперимент; 2 – теория упругости; 3 – основание ограниченной распределительной способности.

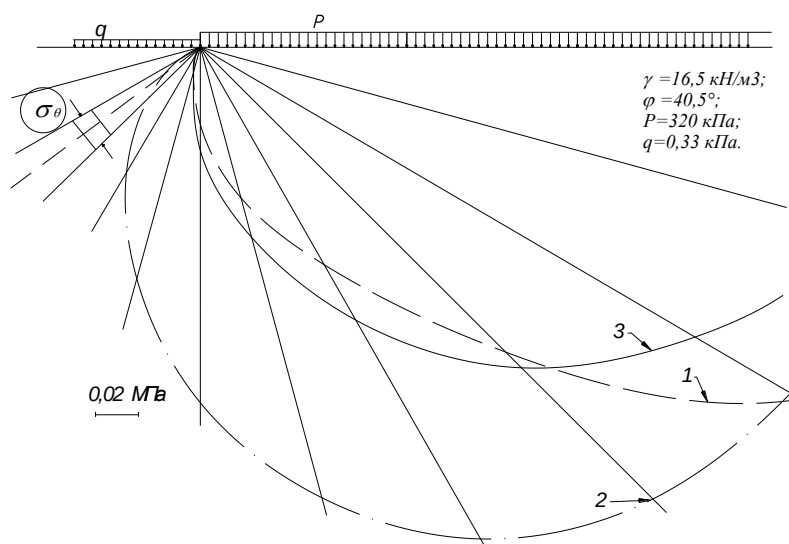


Рис. 3 - Радиальные напряжения σ_θ в краевой зоне основания фундаментной плиты:
1 – эксперимент; 2 – теория упругости; 3 – основание ограниченной распределительной способности.

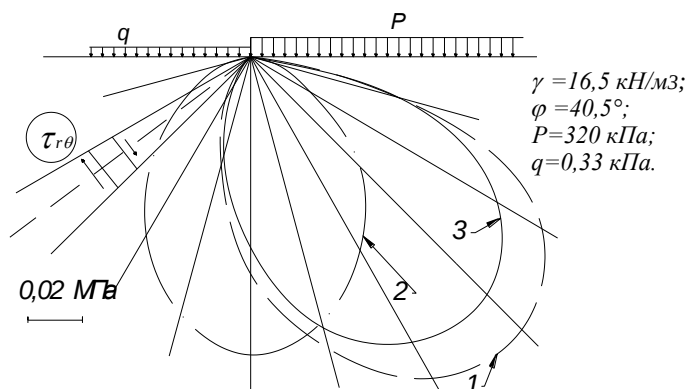


Рис. 4 - Радиальные напряжения $\tau_{r\theta}$ в краевой зоне основания фундаментной плиты:
1 – эксперимент; 2 – теория упругости; 3 – основание ограниченной распределительной способности.

Список литературы

1. Субботин А.И. Работа оснований ограниченной распределительной способности. Дис. ...канд. техн. наук.- Ростов-н/Д, 1995.- 221с.
2. Шматков В.В., Субботин А.И., Дыба В.П. Модель основания ограниченной распределительной способности/Нелинейная механика грунтов: Тр. 4-й Рос. конф. с иностранным участием. Спб, 1993. Т. 1. С. 110-114.

05.23.02

А.И. Субботин

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, строительный факультет, г. Новочеркасск, subbotin_ai@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА МОДЕЛЯХ

В статье рассмотрены условия моделирования работы оснований фундаментных плит в испытательном лотке. Приводятся данные для модели фундаментной плиты и условий её использования при экспериментальных исследованиях в определенном интервале нагрузок. По результатам моделирования определена область моделирования для принятых размеров модели фундаментной плиты и параметров основания.

Ключевые слова: напряжения и деформации грунтов, грунты, экспериментальные исследования, моделирование, модель фундамента, интервал нагружения.

Экспериментальные исследования напряжений и деформаций в краевой зоне протяженных в плане фундаментов [1] при действии полубесконечных нагрузок проводились на модели фундаментной плиты в научно-исследовательской лаборатории кафедры «Промышленное, гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение» ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова на испытательной машине МФ-1 конструкции Ю.Н. Мурзенко.

В качестве модели фундаментной плиты использована плита из гетинакса, размерами 1,5х0,8х0,1 (толщина) м.

Пространственный лоток машины МФ-1, заполненный среднезернистым воздушно-сухим кварцевым песком средней плотности, являлся моделью работы основания сплошной фундаментной плиты.

Лоток был заполнен песком с удельным весом 16,5 кН/м³ до уровня 1,8 м.

При планировании и проведении экспериментальных исследований на моделях особенно важным является соблюдение условий моделирования и последующее планирование эксперимента. Поэтому перед началом исследований были проведены условия моделирования принятой додели фундаментной плиты к размерам натуральных строительных конструкций.

Многочисленные работы по исследованию условий моделирования совместной работы оснований и фундаментов принадлежат В.А. Флорину, П.Д. Евдокимову, Ю.Н. Мурзенко и др.

В.А. Флориным [2] для плоского предельного равновесия упругопластического основания, а также допредельного напряженного состояния получены следующие зависимости:

$$\frac{k_b k_\gamma}{k_\sigma} = 1, \frac{k_c}{k_\sigma} = 1, \varphi = \text{const}, \quad (1)$$

где $k_b, k_\sigma, k_\gamma, k_c$ - коэффициенты или масштабы моделирования соответственно линейных размеров, напряжений, объемных сил и сил сцепления.

При введении понятия о числе моделирования N [3] для несвязного грунта при $c = 0$ и $\varphi = \text{const}$, получим:

$$N = \frac{\sigma}{b\gamma}, N_M = N_H = \text{const}, \quad (2)$$

где σ - среднее давление под подошвой фундамента; N_M, N_H - числа моделирования соответственно для модели и натурального фундамента.

Аналогичные условия получены Ю.Н. Мурзенко [4] для осесимметричной задачи теории предельного равновесия. Учитывая сходную форму уплотненного ядра под круглым и квадратным штампами, Ю.Н. Мурзенко обосновал возможность приближенного применения условий (1) для квадратных в плане фундаментов.

Ввиду протяженности моделируемых плитных фундаментов, приближенно используем условия (1) для моделирования напряженного состояния в краевой зоне основания фундаментной плиты.

Рассмотрим условия моделирования, включающее в себя параметры конструкции и основания, необходимые для исследования совместной работы гибких фундаментов и сжимаемого основания [4].

В качестве исходного уравнения связи используем известную формулу М.И. Горбунова-Посадова для показателя гибкости

$$r_n = \frac{1,5\pi a^2 b E_\Gamma (1 - \mu_\Gamma^2)}{h_\Pi^3 E_\Pi (1 - \mu_\Pi^2)}, \quad (3)$$

где a , b , h_Π - длина, ширина и высота фундаментной плиты; E_Γ, μ_Γ - модуль деформации и коэффициент бокового расширения грунта; E_Π, μ_Π - модуль деформации и коэффициент бокового расширения материала плиты.

Выражение (3) в интервале малых нагрузок является достаточно точным, в упругопластической стадии работы основания данная формула становится приближенной.

$$\text{Обозначив } C_\Gamma = \frac{E_\Gamma}{1 - \mu_\Gamma^2} \text{ и } C_\Pi = \frac{E_\Pi}{1 - \mu_\Pi^2}, \quad (4)$$

$$\text{перепишем (3) в виде } r_n = \frac{1,5\pi a^2 b C_\Gamma}{h_\Pi^3 C_\Pi}. \quad (5)$$

Рассмотрим критерий подобия, исходя из равенства показателей гибкости r_n для модели и натурального фундамента.

При условии $k_\Gamma = 1$,

$$\frac{k_a^2 k_b k_{C_\Gamma}}{k_{ch} k_{cn}} = 1. \quad (6)$$

С учетом $k_{C_\Gamma} = 1$ и $k_a = k_b$, получим

$$\frac{k_b^3}{k_{hn}^3 k_{cn}} = 1. \quad (7)$$

Цилиндрический модуль деформации модели, определенный экспериментально, составил $C_{\Pi M} = 9386,0$ МПа. (8)

При значениях для железобетона $E_\Pi = 3 \cdot 10^4$ МПа и $\mu_\Pi = 0,2$,

$$k_{C_\Pi} = \frac{C_{\Pi H}}{C_{\Pi M}} = \frac{3 \cdot 10^4}{(1 - 0,2^2) 0,9386 \cdot 10^4} = 3,3. \quad (9)$$

Таким образом, при принятых значениях $C_{\Pi M}$ и $C_{\Pi H}$

$$\frac{k_b^3}{k_{hn}^3} = 12. \quad (10)$$

При условии расположения колонн каркаса натурального сооружения на фундаментной плите по сетке 6×6 м

$$k_b = \frac{6,0}{0,14} = 42,857, \quad (11)$$

где $0,14 \times 0,14$ - сетка расположения податливых связей на модели фундаментной плиты.

$$\text{Учитывая (11), } k_{\text{hП}} = \sqrt[3]{\frac{42,857^3}{3,3}} = 28,796. \quad (12)$$

Таким образом, при коэффициенте линейных размеров $k_b=42,857$ искомое значение равно $k_{\text{hП}}=28,786$.

Согласно принятым условиям, модель $1,5 \times 0,8 \times 0,1$ (толщина) м соответствует натурной плите размерами $64,3 \times 34,3 \times 0,3$ (толщина) м при сетке колонн каркаса натурного здания 6×6 м. Для сетки 3×3 м размеры натурной плиты составят $42,9 \times 22,9 \times 0,26$ м.

При моделировании осадки за исходное уравнение связи примем уравнение, отражающее основные закономерности деформаций оснований сплошных плитных фундаментов

$$S = \frac{\varepsilon_{\text{max}}}{m\gamma} \left(1 - e^{-mP}\right) \left(1 - e^{-mP_{\sigma}}\right) \quad (13)$$

При условии (2) $k_b = k_{\sigma}$, тогда

$$k_s S = \frac{k_{\varepsilon} \varepsilon_{\text{max}}}{k_m m k_{\gamma} \gamma} \left(1 - e^{-k_m m k_{\sigma} P}\right) \left(1 - e^{-k_m k_{\gamma} k_{\text{мгн}}}\right), \quad (14)$$

где $k_{\varepsilon}, k_m, k_{\gamma}, k_{\text{н}}$ - коэффициенты моделирования соответственно параметров сжимаемости, удельного веса, сжимаемого слоя основания Н.

При условии идентичности свойств оснований модели и натуре $k_{\varepsilon} = k_m = k_{\gamma} = 1$. В этом случае условие (14) примет вид

$$k_s S = \frac{\varepsilon_{\text{max}}}{m\gamma} \left(1 - e^{-k_{\sigma} m P}\right) \left(1 - e^{-k_{\text{н}} m \gamma_{\text{н}}}\right). \quad (15)$$

Приняв $k_{\sigma} = k_{\text{н}}$, выразим коэффициент k_s :

$$k_s = \frac{\left(1 - e^{-k_{\sigma} m P}\right) \left(1 - e^{-k_{\sigma} m P_{\sigma}}\right)}{\left(1 - e^{-m P}\right) \left(1 - e^{-m P_{\sigma}}\right)}, \text{ где } P_{\sigma} - \text{бытовое давление на глубине Н.}$$

Таким образом, коэффициент моделирования осадки k_s является функцией переменного давления p на основание. С изменением масштаба моделирования $k_{\sigma} = k_b$ от 1 до ∞ k_s изменяется от 1 до предельного значения

$$k_s \rightarrow \infty = \frac{1}{\left(1 - e^{-m P}\right) \left(1 - e^{-m P_{\sigma}}\right)}.$$

Условие (14) выполнимо при стабилизированном характере общих осадок S , что означает ограничение области моделирования точкой перегиба графика $S=S(P)$, соответствующей в опытах (рис. 1) нагрузке $P \approx 0,3$ МПа. При нагрузке $P > 0,3$ МПа график общих осадок соответствует характеру штамповых испытаний. Осадки в этом случае не могут быть описаны выражением (15), что означает нарушение условий моделирования работы оснований сплошных плитных фундаментов.

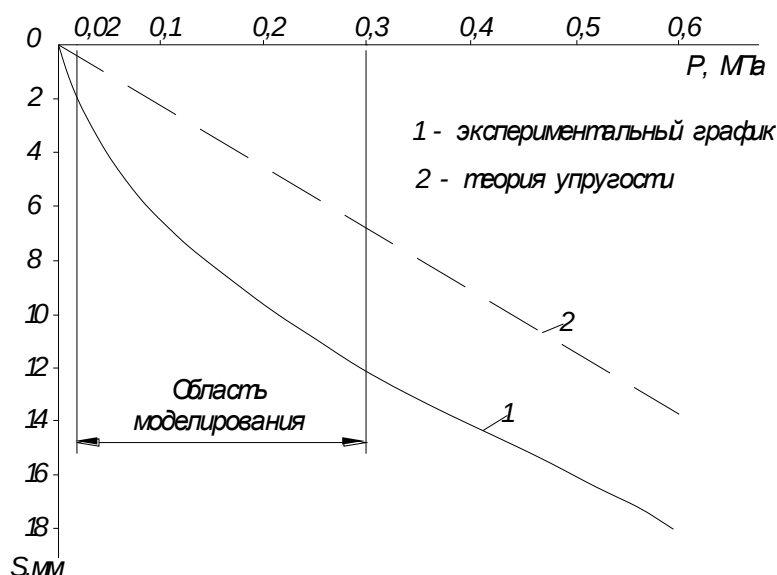


Рис. 1 - Общие осадки модели фундаментной плиты.

В связи с этим, область моделирования для принятых размеров модели фундаментной плиты и параметров основания в опытах ограничивается нагрузкой $0 < P < 0,3$ МПа, что позволит, в дальнейшем, рассматривать полученные результаты, как действительные, протекающие в основании реальных фундаментов.

Список литературы

1. Евдокимов П.Д. Прочность оснований и устойчивость гидротехнических сооружений на мягких грунтах. - М. : Госэнергоиздат, 1956.
2. Мурзенко Ю.Н. Экспериментально-теоретические исследования силового взаимодействия фундаментов и песчаного основания: Дисс. ... докт. техн наук. - Новочеркасск, 1972.- 576 с.
3. Субботин А.И. Работа оснований ограниченной распределительной способности: Дис. ... канд. техн. наук/Новочерк. политехн. ин-т. Новочеркасск, 1995. 221 с.
4. Флорин В.А. Расчеты оснований гидротехнических сооружений. М.: Госстройиздат, 1948.- 188 с.

05.13.05

¹М.В. Таланов, ¹А.В. Карасев, ²В.М. Таланов

¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, факультет электронной техники, кафедра электроники и электротехники, Саранск, mvtal@mail.ru

²Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, факультет электронной техники, кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления, Саранск

СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНКИ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

В работе представлены результаты сравнения точности восстановления скорости вращения ротора в цифровой системе векторного управления асинхронным электродвигателем с использованием фильтра Калмана классической и модифицированной структуры в качестве датчика скорости. Модификация структуры фильтра Калмана заключается в использовании дополнительного наблюдателя потокосцепления ротора для расчета матрицы усиления фильтра. Использование модифицированной структуры фильтра позволило увеличить точность оценки скорости вращения ротора, особенно для низких скоростей – 2% ÷ 20% от номинальной.

Ключевые слова: векторное управление, фильтр Калмана, наблюдатель потокосцепления ротора, бездатчиковая система управления.

Качество управления электродвигателем в тяжелых условиях эксплуатации (по уровню загрязнения, уровню электромагнитных помех, температуры, вибрации) зависит от корректной работы датчика скорости, которая в таких условиях не гарантируется. В связи с этим встает вопрос разработки бездатчиковых систем управления асинхронным двигателем. Система управления называется бездатчиковой в том смысле, что в приводе датчики скорости или положения вала двигателя заменены на специальные цифровые наблюдатели, основанные на математической модели электродвигателя.

Один из возможных вариантов структуры цифровой системы управления асинхронным электроприводом с определением угловой скорости ротора при помощи модифицированного фильтра Калмана показан на рисунке 1.

Установлено, что модифицированный наблюдатель потокосцепления ротора [1] может использоваться не только для выполнения стандартной функции обеспечения координатных преобразований в системе векторного управления, но также может использоваться для повышения точности оценки угловой скорости вращения ротора, получаемой с помощью фильтра Калмана.

Модификация расширенного фильтра Калмана состоит в том, что в его структуру дополнительно к обратной связи по току статора введена обратная связь по потокосцеплению ротора. Фильтр Калмана называется расширенным, если в вектор состояния введена дополнительная переменная. В предлагаемой структуре фильтра в качестве дополнительной переменной используется ω_r – угловая скорость вращения ротора, которая оценивается в системе управления.

Структура модифицированного фильтра Калмана показана на рисунке 2, где $\hat{\Psi}_r^{Fe}$ – вектор оценки $\bar{\Psi}_r^{\alpha,\beta}$, полученный с помощью наблюдателя потокосцепления ротора, $\hat{\Psi}_r^{\alpha,\beta}$ – вектор

оценки $\hat{\bar{\psi}}_r^{\alpha,\beta}$, полученный с помощью модифицированного фильтра Калмана, $\hat{\omega}_r$ – оценка угловой скорости вращения ротора.

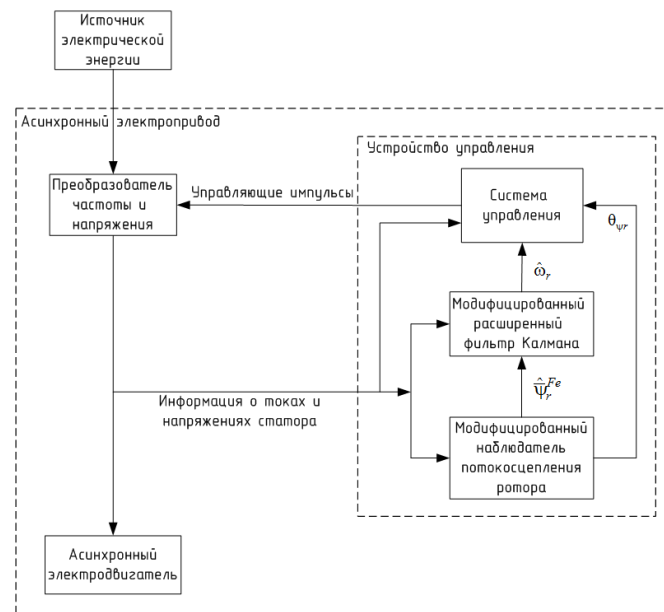


Рис. 1 – Предлагаемая структура цифровой системы управления асинхронным электроприводом

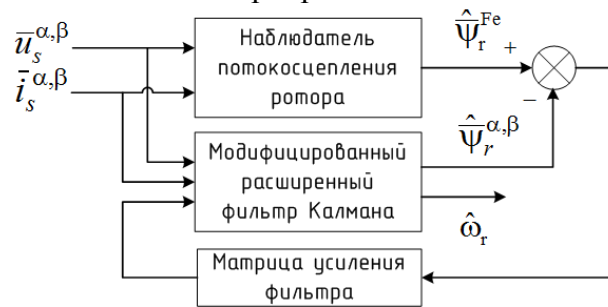


Рис. 2 – Структура модифицированного фильтра Калмана

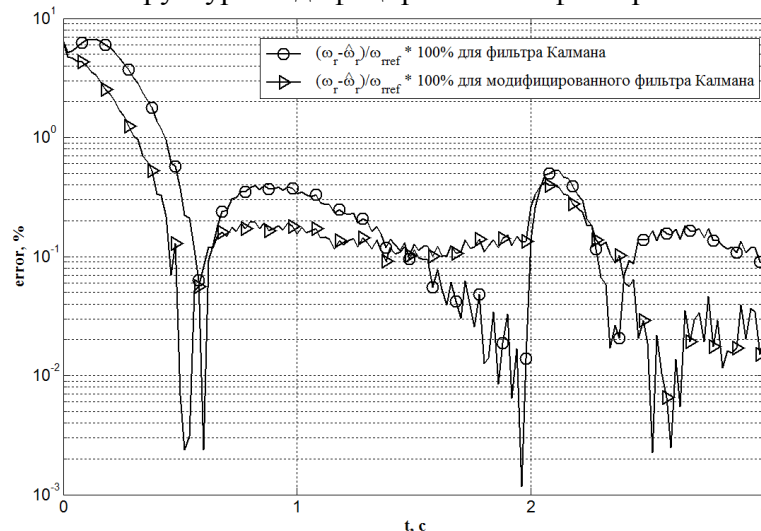


Рис. 3 – Сравнение погрешностей оценки угловой скорости вращения ротора для различных наблюдателей при $\omega_{ref} = 10$ рад/с

В работах [2, 3] приведены результаты сравнения характеристик блоков оценки скорости вращения ротора, выполненных на базе фильтра Калмана и модифицированного фильтра Калмана, полученные на цифровых моделях систем управления асинхронным электроприводом в среде Matlab.

На рисунке 3 показана погрешность оценки угловой скорости вращения ротора в динамическом и установившемся режиме. На рисунке 3 показан режим пуска электродвигателя до установившегося значения скорости $\omega_{ref} = 10$ рад/с, в момент времени $t = 2$ с производится наброс нагрузки величиной в 10 Нм.

Из рисунка 3 видно, При использовании фильтра Калмана погрешность оценки составляет не более 7% в динамическом режиме и $\sim 0,08\%$ в установившемся режиме. При использовании модифицированного фильтра Калмана погрешность оценки составляет не более 6% в динамическом режиме и $\sim 0,02\%$ в установившемся режиме.

На рисунке 4 показана погрешность оценки угловой скорости вращения ротора в динамическом и установившемся режиме. На рисунке 4 показан режим пуска электродвигателя до установившегося значения скорости $\omega_{ref} = 20$ рад/с, в момент времени $t = 2$ с производится наброс нагрузки величиной в 20 Нм.

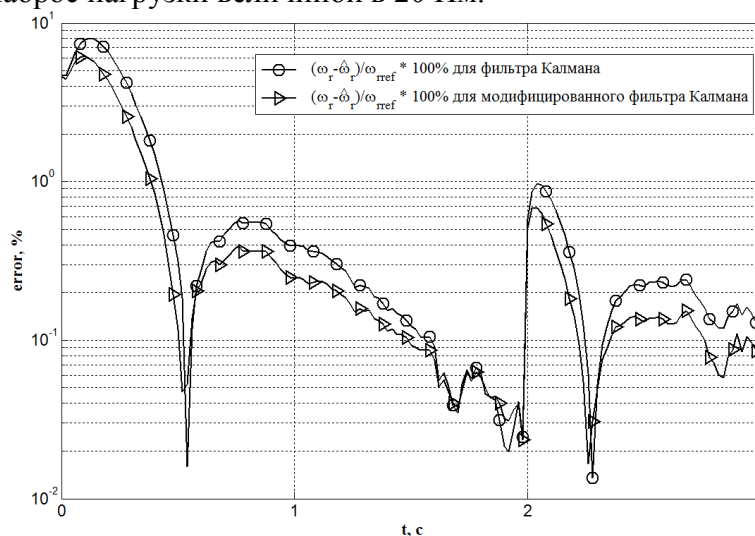


Рис. 4 – Сравнение погрешностей оценки угловой скорости вращения ротора для различных наблюдателей при $\omega_{ref} = 20$ рад/с

Из рисунка 4 видно, что при использовании фильтра Калмана погрешность оценки составляет не более 8% в динамическом режиме и $\sim 0,08\%$ в установившемся режиме. При использовании модифицированного фильтра Калмана погрешность оценки составляет не более 6% в динамическом режиме и $\sim 0,05\%$ в установившемся режиме.

Из приведенных результатов можно сделать вывод, что использование модифицированного фильтра Калмана (рисунок 2) позволяет повысить точность оценки угловой скорости вращения ротора асинхронного электродвигателя и обеспечить нижний предел диапазона регулирования частоты вращения электродвигателя до нескольких радиан в секунду.

Список литературы

1. Таланов М.В., Карасев А.В., Таланов В.М. Численная реализация наблюдателя потокосцепления ротора асинхронного двигателя в среде MATLAB для микропроцессорной системы векторного управления // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. № 1. – С. 34-37.
2. Таланов М.В., Карасев А.В., Таланов В.М. Применение расширенного фильтра Калмана для оценки угловой скорости вращения ротора асинхронного электродвигателя // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия технические науки. – 2013. №3 (39). – С. 185-191.
3. Таланов М.В., Карасев А.В., Таланов В.М. Реализация расширенного фильтра Калмана в среде MATLAB для восстановления угловой скорости вращения ротора асинхронного электродвигателя // Журнал Средневолжского математического общества. – 2013. № 3, т. 15. – С. 140-147.

05.22.10

А.С. Терехов д.т.н., В.А. Тюлькин к.т.н., И.М. Титла к.т.н., И.И. Кучеренко

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

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА ВОДИТЕЛЯ НА ВРЕМЯ РЕАГИРОВАНИЯ НА ДВИЖУЩИЙСЯ ОБЪЕКТ

В работе рассматривается вопрос влияния возраста водителей на профессионально важные психофизиологические качества. Представлены методика оценки времени реакции водителей, результаты экспериментальных исследований и их анализ.

Ключевые слова: *психофизиологические свойства, возраст водителя, время реакции, реагирование на движущийся объект.*

Стремление человека к быстрому перемещению в пространстве прослеживается на протяжении всей истории развития человеческого общества, начиная с момента изобретения колеса до создания современных видов транспорта. Увеличение скорости передвижения и развитие транспортной системы породило проблему обеспечения безопасности движения. На определенном этапе общественного развития в решении проблемы обеспечения безопасности движения особое внимание стало уделяться психофизиологическим характеристикам операторов (водителей), под чьим управлением находится транспортное средство. Основой для этого послужило то обстоятельство, что в современных условиях безопасное движение автомобиля в составе транспортного потока определяется способностью водителя быстро воспринимать дорожную информацию, анализировать, осмысливать ее, принимать решения и своевременно выполнять действия по управлению автомобилем. В этой связи, основную роль в обеспечении безопасного и эффективного управления автомобилем приобретают восприятие, мышление и принимаемые водителем управляющие воздействия, которые, по мнению Ф.П. Касаткина [1] и других авторов [2, 3, 4, 5], непосредственным образом зависят от состояния физического здоровья, а также психических и личностных качеств водителя. Среди факторов, значимо влияющих на психофизиологические свойства водителей, выделяются [2, 3, 4]:

- возраст, который определяет состояния физического и психического здоровья;
- стаж профессиональной деятельности, сказывающийся на багаже знаний, навыков и умений;
- половая принадлежность, которая определяет механизм и скорость протекания психофизиологических реакций;
- факторы, определяющие уровень социального развития человека.

Рассматривая перечисленные факторы в части их влияния на психофизиологические характеристики водителя, нельзя не отметить, что все они прямым или косвенным образом связаны с его возрастом, что выделяет последний среди прочих факторов.

Рассмотрению отмеченного обстоятельства были посвящены работы [2, 4], результаты которых в большинстве своем сводились к подтверждению факта влияния возраста водителей на показатели эффективности их деятельности и установлению на этой основе различий возрастных категорий. Вместе с тем, раскрытию механизма влияния возраста на показатели психофизиологических свойств не уделялось должного внимания, что говорит об актуальности исследований в данном вопросе.

Сложность в оценке психофизиологического состояния водителя состоит в практической неосуществимости учета всей совокупности качеств, а также отсутствием возможности их численной оценки, но одним из подходов, признанных на государственном уровне, является компьютерное психофизиологическое тестирование. Некоторые из методик, служащих для

тренировки, тестирования и развития психофизиологических качеств кандидатов в водители, представлены в универсальном психодиагностическом комплексе «УПДК-МК Автомобильный» [6]. Комплекс предназначен для повышения надежности деятельности оператора системы «человек-машина» (к ним относятся водители, машинисты, диспетчеры и т.п.) за счет тренировки отдельных профессионально важных психологических качеств, непосредственно влияющих на уровень безопасности в профессиональной деятельности.

Одна из методик комплекса [6] предназначена для оценки времени реакции человека на движущийся объект. В данном тесте реакция, как сложный пространственно-временной рефлекс, характеризует степень уравниваемости процессов возбуждения и торможения у испытуемого при реагировании на движущийся объект. Реакция на движущийся объект оценивается своевременностью остановки испытуемым движущегося по окружности на экране монитора светового пятна в верхней, неподвижной точке, являющейся «целью». Преждевременное реагирование на момент достижения контрольной точки круга характеризуется отрицательной величиной времени отклонения в реагировании, запаздывание в реагировании – положительным временем отклонения.

В экспериментальных исследованиях по оценке степени уравниваемости процессов возбуждения и торможения в реагировании на движущийся объект приняли участие водители разных возрастов (от 24 до 43 лет).

Минимальное необходимое число измерений n устанавливалось исходя из требования о не превышении среднеквадратического отклонения среднего S_n над допустимым значением S_0 , в качестве которого выступала систематическая ошибка метода $S_0 = 1$ мс [7, с. 46]. Тогда

$$n \geq \frac{S_n^2}{S_0^2} \quad (1)$$

Таблица - Статистические характеристики распределения времени отклонения в реагировании водителя на движущийся объект

Параметры закона распределения	Значения параметров распределения времени отклонения в реагировании на движущийся объект водителей возрастом, лет											
	24	25	26	27	28	29	30	31	32	34	40	43
Математическое ожидание, мс	10,9	19,8	15,3	-1,7	12,5	-3,7	0,9	43,9	20,5	9,6	50,0	30,2
Среднее квадратическое отклонение среднего, мс	4,2	3,5	3,6	5,0	4,7	4,5	4,9	8,3	5,0	6,8	8,18	8,3
Среднее квадратическое отклонение, мс	55,9	65,5	69,2	66,9	56,2	78,3	65,9	81,4	54,4	61,2	88,2	75,5
Объем выборки	178	348	376	179	145	308	175	96	116	80	116	83
Необходимое число измерений	18	12	13	25	22	20	24	69	25	46	115	69
Коэффициент вариации	5,12	3,31	4,5	39,8	4,47	21,1	68,3	1,85	2,65	6,37	1,76	2,5
Закон распределения	Нормальный											
Вероятность соответствия закону распределения	0,99	0,95	0,95	0,99	0,90	0,95	0,98	0,99	0,99	0,95	0,95	0,95

В результате обработки экспериментальных данных с использованием программного продукта REGRESS 2.5 [8] было установлено, что для описания времени реакции водителей на движущийся объект с большим уровнем доверительной вероятности может быть использован нормальный закон распределения. Выборочные статистические характеристики закона распределения, полученные для разных возрастных групп водителей, представлены в таблице и отображены на рис. 1 – 2.

На основе полученных результатов установлено, что характер изменения времени реакции водителей под влиянием их возраста (рис. 3) может быть описан квадратической моделью следующего вида

$$\Delta\tau = 8,6 + 0,15(T - 28)^2, \quad (2)$$

где $\Delta\tau$ – время отклонения в реагировании на движущийся объект, мс;

T – возраст водителя, лет.

Предложенная математическая модель характеризуется высокой теснотой корреляционной связи между возрастом водителя и временем отклонения в реагировании, но отсутствие наблюдений в средней (от 34 до 40 лет) и старшей (от 45 лет) возрастных группах водителей сказались на достаточно высокой величине средней ошибки аппроксимации (более 15 %), что требует продолжения исследований в данном направлении.

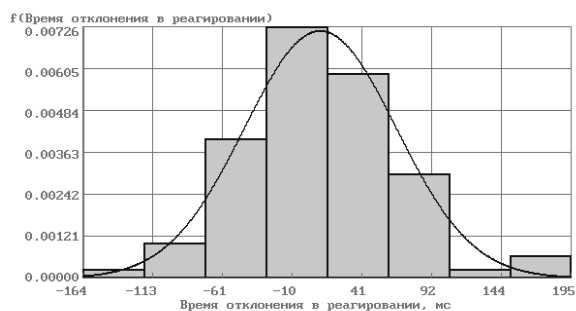


Рис. 1- Распределение времени отклонения в реагировании на движущийся объект водителей возрастом 24 года

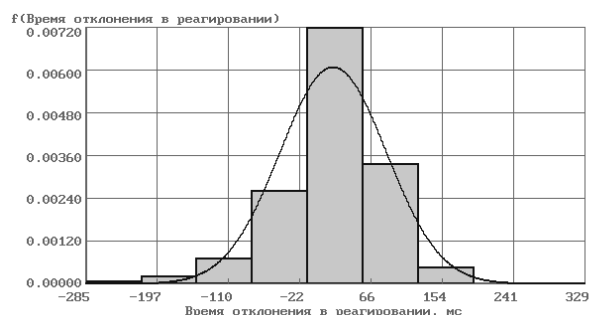


Рис. 2- Распределение времени отклонения в реагировании на движущийся объект водителей возрастом 25 лет

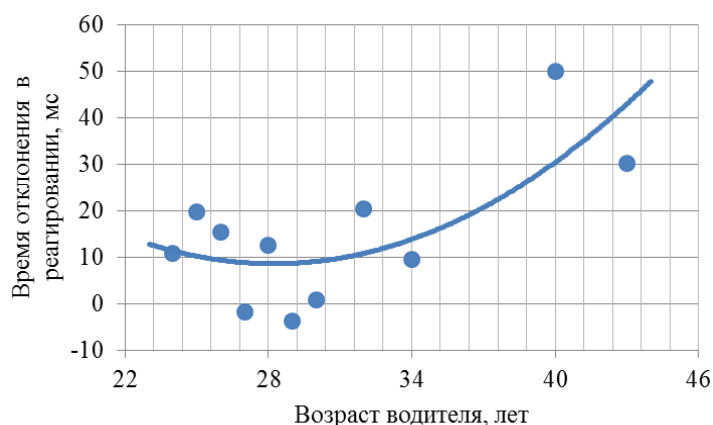


Рис. 3- Влияние возраста водителя на время реагирования на движущийся объект
По результатам работы могут быть сформулированы следующие выводы.

1. Скорость реакции является одной из основных составляющих успеха водителя в овладении мастерством управления автомобилем.

2. Раскрытие механизма изменения времени реакции водителя, как и других показателей профессионально важных психофизиологических свойств, под влиянием его возраста, позволяет более объективно подходить прогнозированию поведения водителя за рулем управляемого транспортного средства, а следовательно, и влиять на его надежность. Отмеченное позволяет говорить об актуальности и необходимости продолжения исследований в данном направлении.

Список литературы

1. Касаткин Ф.П., Баженов Ю.В. Безопасность перевозок на автомобильном транспорте: Учеб. пособие – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2000. – 224 с.
2. Лобанов Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя. – М.: Транспорт, 1980. – 311 с.
3. Романов А.Н. Автотранспортная психология: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Александр Николаевич Романов. – М.: Издательский центр «Академия», 2002. – 224 с.
4. Влияние возраста водителя на профессионально важные психофизиологические качества // URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2762> (дата обращения: 19.02.2015).
5. Захаров Н.С. Обоснование наиболее экономичного и быстро осуществимого пути улучшения экологических и эксплуатационных характеристик автопарка / Н.С. Захаров, Е.Р. Магарил, В.А. Тюлькин // Известия вузов. Нефть и газ. – 2005. – №4. – С. 105-110.
6. Аппаратно-программный комплекс (АПК) для тестирования и развития психофизиологических качеств водителей УПДК-МК Автомобильный // URL: http://www.neurocom.ru/ru2/auto/updk_mk_auto.html# (дата обращения 19.02.2015).
7. Романов В.Н., Комаров В.В. Теория измерений. Анализ и обработка экспериментальных данных: Учеб. пособие. – СПб.: СЗТУ, 2002. – 127 с.
8. Захаров Н.С. Программа «REGRESS». Руководство пользователя – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 52 с.

05.07.07

А.С. Титова

ОАО «НИИ ТП», Москва, atitova-niitp@yandex.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ НЕГЕРМЕТИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКЕ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КАМЕРАХ

В статье рассматриваются особенности математического и физического моделирования тепловых режимов бортовой аппаратуры негерметичных космических аппаратов при переводе отработочных испытаний из тепловакуумной в климатическую камеру.

Ключевые слова: бортовая радиоэлектронная аппаратура, негерметичный отсек, тепловой режим, тепловые испытания.

Введение. Существенным этапом разработки бортовой аппаратуры (БА) современных беспилотных космических аппаратов (КА) является этап тепловых испытаний. При испытаниях имитация тепловых процессов БА, размещаемой в негерметичном отсеке (НГО) КА в полном, характерном для космического пространства объеме, проводится в тепловакуумных камерах (ТВК) и представляется весьма дорогостоящим и трудоемким мероприятием. В опубликованных ранее работах [1,2,3] авторами была проведена оценка целесообразности и возможности перевода части испытаний из ТВК в климатические камеры (КК), а также выбраны критерии адекватности воспроизведения тепловых условий БА в КК тепловым условиям в НГО КА. Однако, физические процессы, протекающие в КК значительно сложнее, чем в ТВК и требуют дополнительного анализа и учета специфики конструкций БА, КК и ТВК. В работе рассматриваются особенности математического и физического моделирования тепловых режимов БА при испытаниях в ТВК и КК.

Особенности конструкции БА, условий ее функционирования и систем обеспечения теплового режима в составе КА. При штатной эксплуатации на орбите полета целевая БА размещается в НГО КА, в котором газовая среда отсутствует. Современные радиоэлектронные аппараты, устанавливаемые в НГО КА, имеют, как правило, кассетную компоновку негерметичного исполнения. За основу конструкции таких блоков принята алюминиевая плата-рамка на которой крепятся печатные платы с электро-радио изделиями (ЭРИ). Набор таких плат-рамок, скрепленный шпильками, составляет прибор. Общий вид блока БА кассетной конструкции и её функциональная схема представлены на рисунке 1.

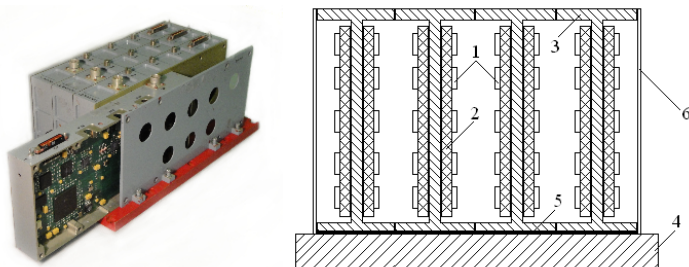


Рисунок 1. Общий вид и функциональная схема блока БА кассетной конструкции: 1 –ЭРИ, 2 –печатная плата, 3 – корпус кассеты БА, 4 – установочная поверхность, 5 – теплопроводная паста, 6 – крышка

Обычно для обеспечения работоспособности БА, внутри НГО системы обеспечения теплового режима (СОТР) КА поддерживают температуру на уровне $\pm 50^{\circ}\text{C}$, что для основной номенклатуры ЭРИ, особенно по холодоустойчивости, является недопустимым диапазоном температур. Тепловой режим БА стараются обеспечить пассивными средствами: специальными теплоотводами, тепловыми трубками, стоками теплоты на основную массу силовой конструкции приборов. Альтернативой локальным средствам служат

термостатируемые платы (ТСП), входящие в состав СОТР КА и обеспечивающие температуру от минус 10 до +40°C на поверхности установки БА. ТСП являются наиболее эффективными средствами обеспечения теплового режима БА и регулярно применяются в современной космической технике.

Особенности отработочных испытаний бортовой аппаратуры в тепловакуумных и климатических камерах. Рассмотрим особенности тепловой отработки БА в модернизированной ТВК, дооборудованной имитатором ТСП. При испытаниях в рассматриваемой ТВК наиболее полно моделируются эксплуатационные воздействия на БА, а влияние естественной конвекции исключается путем создания в камере глубокого вакуума. С целью создания на установочной поверхности БА поля температур, соответствующего условиям НГО, в ТВК устанавливается термopанель (имитатор штатной ТСП). Имитацию внешней тепловой нагрузки осуществляют излучатели. ТВК оснащена дополнительным съемным медным экраном, который играет роль теплового имитатора НГО, окружающего объект испытаний, и позволяет экранировать БА от непосредственного воздействия излучателей и криогенных экранов. Схема ТВК с установленной в ней термopанелью с БА, показана на рисунке 2 а).

Уравнение теплового баланса БА при математическом моделировании испытаний в ТВК можно в общем виде представить как:

$$cm \frac{dT_{\text{БА}}}{d\tau} = P + Q_{\text{тепл}} + Q_{\text{изл}}, \quad (1)$$

где c , m , $T_{\text{БА}}$ – теплоемкость, масса и средняя температура БА, P – внутреннее тепловыделение (мощность) испытываемой БА. $Q_{\text{тепл}}$ – тепловой поток от БА к термopлате через теплопроводную пасту: $Q_{\text{тепл}} = \frac{\lambda \cdot F_{\text{конт}}}{\delta} \cdot (T_{\text{тп}} - T_{\text{БА}})$, где λ , δ – теплопроводность и толщина термopасты, $F_{\text{конт}}$ – контактная площадь, $T_{\text{тп}}$ – температура имитатора термopлаты. $Q_{\text{изл}}$ – лучистый теплообмен БА с экраном ТВК: $Q_{\text{изл}} = \varepsilon_{\text{БА}} F_{\text{изл}} \cdot \sigma (T_{\text{э}}^4 - T_{\text{БА}}^4)$, где $\varepsilon_{\text{БА}}$, $F_{\text{изл}}$ – степень черноты и площадь поверхности БА, $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$, $T_{\text{э}}$ – температура съемного экрана.

Теперь рассмотрим особенности тепловой отработки БА в типовой КК, дооборудованной имитатором термopлаты. Испытания БА в КК проводятся при нормальном давлении и рабочих температурах воздуха, определяемых для каждой конкретной БА по алгоритмам разработанным в [1,2,3]. Для обеспечения необходимого теплового режима устройств при испытаниях применяются плиты с радиаторами (имитаторы ТСП). Имитаторы термopлат представляют собой алюминиевые плиты, на нижних поверхностях которых смонтированы нагреватели, радиаторы и вентиляторы. В рассматриваемой конфигурации имитатора ТСП не предусмотрена возможность охлаждения установочной поверхности ниже температуры воздуха в КК. Схема КК с установленной в ней БА представлена на рисунке 2 б).

Уравнение теплового баланса бортовой аппаратуры при математическом моделировании испытаний БА в КК можно в общем виде представить как:

$$cm \frac{dT_{\text{БА}}}{d\tau} = P + Q_{\text{тепл}} + Q_{\text{изл}} + Q_{\text{конвект}}, \quad (2)$$

где c , m , $T_{\text{БА}}$ – теплоемкость, масса и средняя температура БА, P – мощность испытываемой БА. $Q_{\text{тепл}}$ – тепловой поток от прибора к термopлате через теплопроводную пасту. $Q_{\text{изл}}$ – лучистый теплообмен прибора со стенками КК. $Q_{\text{конвект}}$ – конвективный теплообмен БА с воздухом в КК: $Q_{\text{конвект}} = \alpha F_{\text{тепл}} \cdot (T_{\text{в}} - T_{\text{БА}})$, где $F_{\text{тепл}}$ – площадь поверхности теплообмена, $T_{\text{в}}$ – средняя температура воздуха в КК, α – коэффициент теплоотдачи конвекцией.

Температура воздуха в КК $T_{\text{в}}$, обеспечивающая тепловые условия блока БА в КК наиболее близкие к условиям НГО определяется по минимаксному критерию равномерной линейной аппроксимации: требуется, чтобы максимальное отклонение температур соответствующих изотермических элементов в НГО и КК было минимальным:

$$\max_{i=1, \dots, n} |T_{i \text{ КК}}(T_{\text{в}}) - T_{i \text{ НГО}}| \rightarrow \min_{T_{\text{в}}} \quad (3)$$

где $T_{i \text{ КК}}$, $T_{i \text{ НГО}}$, $i=1, \dots, n$ – температуры соответствующих изотермических элементов в КК и ТВК полученные из уравнений (1) и (2); n – количество изотермических элементов.

Как было показано в работах [1] и [2], выполнение условия (3) позволяет выбрать такие параметры КК, которые обеспечивают поле температур $T_{KK}=(T_{KK1},...,T_{KKn})$ блока БА, функционирующего в КК, адекватное полю температур $T_{TBK}=(T_{TBK1},...,T_{TBKn})$ этого же блока БА, функционирующего в НГО КА, при одинаковых тепловыделениях элементов $P_i, i=1,...,n$.

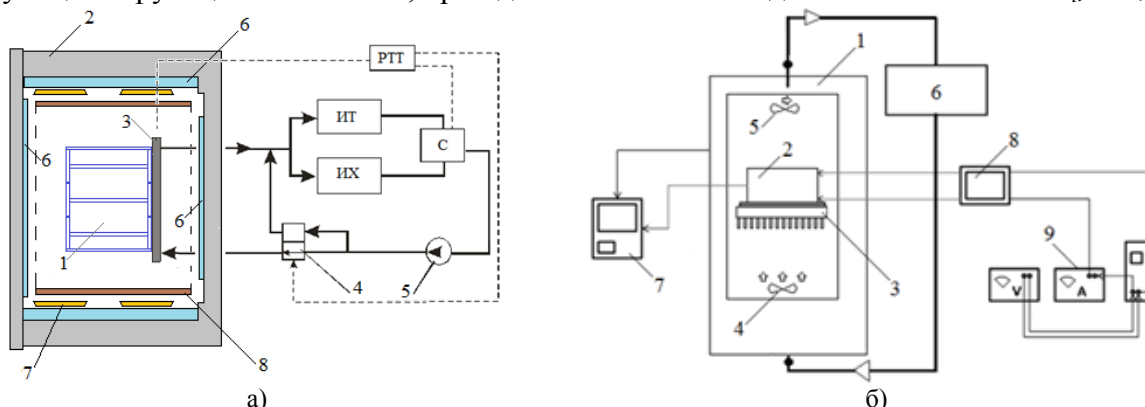


Рисунок 2

- а) Схема ТВК: 1 – блок БА, 2 – корпус ТВК, 3 – термopанель, 4 – регулятор расхода, 5 – насос, 6 – криозкраны, 7 – излучатели, 8 – съемный экран, ИТ и ИХ – источники тепла и холода, РТТ – регулятор температуры и теплового потока, С – смеситель
б) Схема КК: 1 – корпус КК, 2 – испытуемый блок БА, 3 – имитатор ТСП, 4 и 5 – вентиляторы, 6 – блок охлаждения и нагрева воздуха, 7 – регистратор, 8 – пульт управления, 9 – источники питания

Результаты моделирования. Для блока БА, представленного на рисунке 1 проводилось математическое и физическое моделирование тепловых режимов. При математическом моделировании блок разбивался на изотермические элементы, для которых составлялись уравнения теплового баланса (1) и (2). По критерию (3) были определены температуры воздуха в КК: $T_v=+45^{\circ}\text{C}$ на режиме перегрева и $T_v=-15^{\circ}\text{C}$ на режиме переохлаждения. Результаты физического моделирования при стационарных режимах перегрева и переохлаждения блока БА в ТВК и КК представлены в таблице. T_1-T_6 – температуры характерных элементов блока БА, по которым оценивалась точность моделирования тепловых режимов. Граничные условия определяются двумя температурами: для ТВК – заданными T_3 и $T_{\text{тп}}$, а для КК – варьируемыми T_v и $T_{\text{тп}}$. Как видно из таблицы, учет особенностей испытаний БА в рассматриваемых ТВК и КК позволяют добиться высокой точности совпадения температур БА в ТВК и КК, с погрешностью не превышающей 4.4°C .

Таблица - Температуры элементов блока БА при испытаниях

	Температуры элементов блока БА, $^{\circ}\text{C}$						Граничные температуры, $^{\circ}\text{C}$	
	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	$T_{\text{тп}}$	T_v или $T_{\text{тп}}$
Режим перегрева. $P=70$ Вт.								
ТВК	68.6	86.1	81.6	49.8	51.3	94.9	+40	+50
КК	73.0	84.5	82.4	53.9	53.6	94.0	+45	+45
$\Delta(\text{КК-ТВК})$	+4.4	-1.6	+0.8	+4.1	+2.3	-0.9	+5	-5
Режим переохлаждения. $P=0$ Вт.								
ТВК	-11.4	-10.7	-11.8	-11.1	-11.7	-12.3	-10	-50
КК	-11.3	-12.0	-11.5	-10.8	-12.3	-11.5	-10	-15
$\Delta(\text{КК-ТВК})$	+0.1	-1.3	+0.3	+0.3	-0.6	+0.8	0	+35

Список литературы

1. Алексеев В.А., Кудрявцева Н.С., Титова А.С. и др. Математическое моделирование тепловых процессов малогабаритной бортовой аппаратуры // Вестник МАИ, 2010. - т.17, - № 1. - с. 55-61.
2. Алексеев В.А., Кудрявцева Н.С., Титова А.С. Выбор параметров климатической камеры для испытаний малогабаритной бортовой аппаратуры // Труды МАИ, 2011. - №49. - с. 29.
3. Алексеев В.А., Кудрявцева Н.С., Титова А.С. Выбор параметров термокамеры для испытаний антенной решетки негерметичного спутника Земли // Вестник МАИ, 2014. - т.21, - №1. - с.154-162.

05.17.01

В.А. Тихонов, О.Р. Середкина, М.А. Куликов, С.Г. Козлов, Н.С. Шеманская

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, kulikov.74@list.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИНКРУСТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

На основании экспериментальных данных проведено математическое моделирование процесса инкрустации солей жёсткости на металлической поверхности. Предложены кинетические модели для процесса солеотложения, определены значения констант скорости процесса солеотложения.

Ключевые слова: *процесс солеотложения, математическое моделирование, константа скорости, регрессионный анализ.*

В большинстве отраслей промышленности используется различное теплообменное оборудование. При воздействии высоких температур на поверхности теплообмена происходит образование отложений различной природы (накипь), которые могут вызвать критический перегрев поверхности, снизить экономичность и эффективность работы установок и, как следствие, вывести их из рабочего состояния [1]. Накипеобразование на металлической поверхности происходит в результате воздействия воды и присутствующих в ней растворённых веществ. Чаще всего встречаются отложения накипи в виде кальциевых и магниевых производных: сульфаты, фосфаты и карбонат кальция и гидроксид и фосфаты магния. Причём карбонат и сульфат кальция встречаются в подавляющем большинстве случаев [2]. Источники этих солей могут быть разнообразны, например, горные породы, которые при контакте с природной водой переходят в растворённое состояние. На процесс солеотложения также оказывают влияние гидродинамика потока, щёлочность и газосодержание воды. При этом влияние температуры на процесс инкрустации различно для воды и промышленных растворов [3].

Скорость отложения солей жёсткости в значительной степени определяется величиной теплового потока через теплообменную поверхность и концентрацией соединений, которые образуют твёрдую фазу с отрицательным коэффициентом растворимости.

Цель представленной работы состоит в математической обработке экспериментальных данных [4]. Для построения математической модели процесса солеотложения были использованы представления, изложенные в [5-7]. В качестве модельной среды использована вода следующего состава: общая минерализация 365 ± 44 мг/дм³, $\text{Ca}^{2+} - 104,21$ мг/дм³, $\text{Mg}^{2+} - 63,18$ мг/дм³, $\text{Cl}^- - 16,9$ мг/дм³, pH – 7,8.

Чтобы предложить наиболее эффективные способы снижения нежелательных процессов инкрустации, необходимо изучить механизм и кинетику солеотложения. Проведём оценку влияния температуры на инкрустационные процессы в диапазоне от 70 °С до 90 °С. Выбор температурного интервала обусловлен режимом работы теплообменного оборудования. В качестве подложки для формирования солеотложений использовали металлическую пластинку, выполненную из оцинкованной стали. По результатам расчётов установлено, что при контакте с горячей водой указанного состава в год на 1 м² поверхности из оцинкованной стали образуется 3,72 кг солей жёсткости.

На рис. 1 представлены кинетические кривые, отражающие зависимость массы солеотложений от продолжительности эксперимента. Данные эксперимента могут быть аппроксимированы с достаточной степенью точности логарифмической зависимостью (табл. 1).

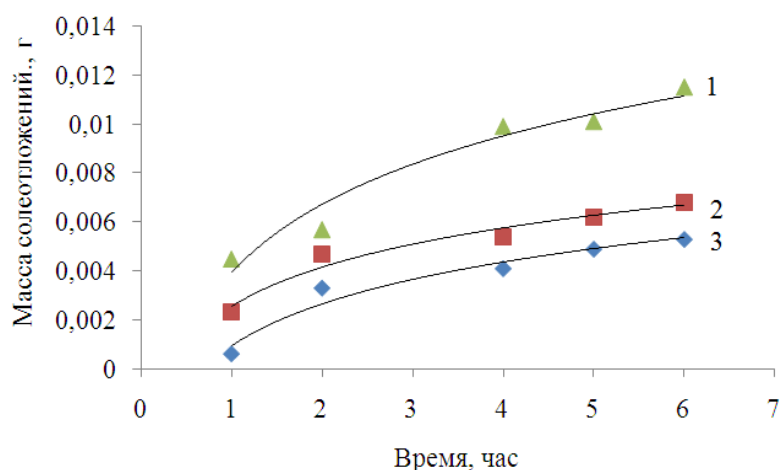


Рис. 1 – Кинетические кривые: 1 – температура 90 °С; 2 – температура 80 °С; 3 – температура 70 °С

Таблица 1 – Регрессионные уравнения

Температура, °С	Вид регрессионного уравнения	Коэффициент достоверности аппроксимации
70	$y = 0,0025\ln(x) + 0,0009$	$R^2 = 0,9562$
80	$y = 0,0023\ln(x) + 0,0026$	$R^2 = 0,9586$
90	$y = 0,004\ln(x) + 0,0039$	$R^2 = 0,9533$

Полученные результаты показывают прямую зависимость количества образующихся отложений от температуры системы.

После обработки кинетических кривых по упрощённому уравнению (1) [6]

$$\ln(\ln[1/(1-\alpha)]) = n \ln \tau \quad (1)$$

получены следующие зависимости (рис. 2, табл. 2). В этом случае данные эксперимента с высокой степенью точности можно аппроксимировать линейной зависимостью, что указывает на адекватность предложенных модельных уравнений.

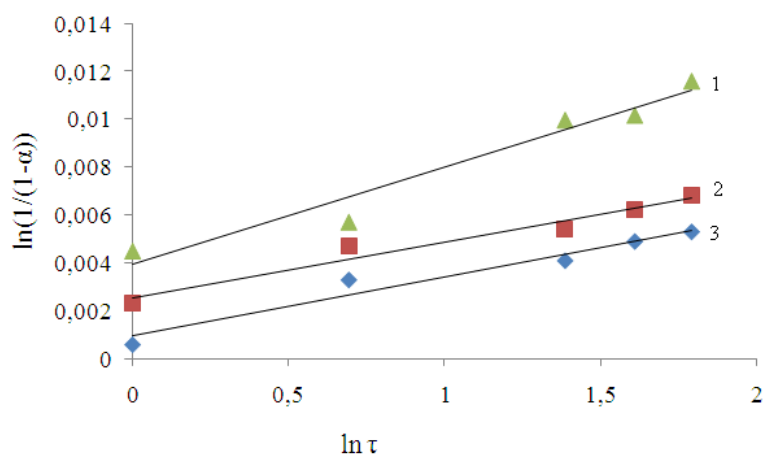
Рис. 2 – Кинетика объёмной кристаллизации:
1 – температура 90 °С; 2 – температура 80 °С; 3 – температура 70 °С

Таблица 2 – Регрессионные уравнения

Температура, °С	Вид регрессионного уравнения	Коэффициент достоверности аппроксимации
70	$y = 0,0041x + 0,0039$	$R^2 = 0,9531$
80	$y = 0,0023x + 0,0026$	$R^2 = 0,9587$
90	$y = 0,0025x + 0,0009$	$R^2 = 0,9564$

Используя «модель зародышеобразования», описываемую уравнением (2) [8]

$$\ln [1/(1-G)] = k\tau^m \quad (2)$$

проведён расчёт значения константы скорости процесса солеотложения, при $m = 1$, результаты расчёта представлены в табл. 3.

Таким образом, предложенные модели процесса солеотложения можно считать адекватными.

Таблица 3 – Значения константы скорости

Температура, °C	Значения k
70	0,000976
80	0,001286
90	0,002145

Список литературы

1. Макарова Е.В. Об энергетической эффективности водоподготовки на ТЭС // Современные методы водоподготовки и защиты оборудования от коррозии и накипеобразования: Сборник докладов IV конференции. – Москва, 2011. – С. 18.
2. Водоподготовка: Справочник / Под ред. С.Е. Беликова. – М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
3. Богорощ А.Т. Вопросы накипеобразования. – К.: Вища школа, 1990. – 179 с.
4. Шишигина А.В., Середкина О.Р., Лановецкий С.В. Исследование процесса инкрустации на металлической поверхности // Молодёжная наука в развитии регионов: Материалы IV Всероссийской конференции студентов и молодых учёных. – Березники, 2014. – С. 249.
5. Булатов М.А. Комплексная переработка многокомпонентных жидких систем. Теория и техника управления образованием осадков – М.: Мир, 2009. – 304 с.
6. Куликов М.А., Козлов С.Г., Булатов М.А., Зюков Е.А. Предотвращение образования солеотложения в водооборотных циклах // Известия МГТУ «МАМИ». – 2014. – № 4 (22). – Т. 3. – С. 50 – 62.
7. Куликов М.А., Козлов С.Г., Тихонов В.А., Шеманская Н.С., Морева Е.В. Кинетика процесса отложения солей на технологическом оборудовании производства хлорида калия // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 2. – С. 161-164.
8. Информатика для химиков-технологов: Учеб. пособие для вузов / Л.С. Гордеев и др.; Под ред. Л.С. Гордеева и В.Ф. Корнюшко. – М.: Высш. шк., 2006. – 286 с.

05.02.02

А.В. Толков к.т.н., И.В. Шинаков к.т.н., А.В. Жданов к.т.н.

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, zhdanov@vlsu.ru

СРАВНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ ВИНТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

В статье проводится анализ основных технических характеристик винтовых механизмов качения для привода поступательного перемещения. Представлены аналитические формулы и результаты расчетов грузоподъемности, жесткости, долговечности и момента инерции шариковинтовых и роликовинтовых механизмов различного исполнения для одного типоразмера привода.

Ключевые слова: *винтовой механизм (ВМ), шариковинтовая передача (ШВП), роликовинтовая передача (РВП), технические характеристики.*

В качестве силовых винтовых механизмов (ВМ) обычно используются шариковинтовые передачи (ШВП), роликовинтовые передачи (РВП) с короткими роликами (РВПК) и с длинными роликами (РВПД) [1, 4, 6]. Для привода поступательного перемещения рассматривались варианты различных ВМ: промежуточный редуктор (ПР) с ШВП (передаточная функция 10 мм/об), ПР с РВПК (10 мм/об), три варианта РВПД без редуктора (6 мм/об). Сравним технические характеристики этих силовых ВМ.

Сравнительный анализ статической грузоподъемности был проведен в соответствии с методикой [1-3]. Статическая грузоподъемность ШВП, аналогично статической грузоподъемности радиально-упорных шариковых подшипников [2, 3, 5, 7], Н:

$$C_0 = 49k_p k_{TO} i_{ш} n_{ш} D_0^2 \cos \alpha \cdot \cos \lambda, \quad (1)$$

где k_p - коэффициент распределения нагрузки по шарикам; k_{TO} - коэффициент, зависящий от твердости поверхности; $i_{ш}$ - число замкнутых групп витков; $n_{ш}$ - число шариков в одной группе; D_0 - диаметр тела качения, мм; d_0 - диаметр, проходящий через центры шариков, мм; $k_0 = d_0 / D_0$ - вспомогательная величина; $\alpha = \pi / 2 - \beta$ - угол профиля в точке контакта, β - угол контакта, равный углу между линией действия нагрузки на тело качения и плоскостью, перпендикулярной оси передачи; λ - угол подъема резьбы.

Статическая грузоподъемность РВПК и РВПД определяется резьбовым сопряжением ролика с винтом [1 - 3], Н:

$$C_{0k} = 98,1k_{p12} k_{TO} n_{p12} \frac{d_3}{k+2} l_{w12} \sqrt{\frac{k}{k+1}} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}, \quad (2)$$

$$C_{0Д} = 98,1k_{p3} k_{TO} n_{p23} \frac{d_3}{k+2} l_{w12} \sqrt{\frac{k+2}{k+1}} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}, \quad (3)$$

где k_{p12} - коэффициент распределения нагрузки в сопряжении ролика с винтом [8]; n_p - число роликов; i_{12} - число точек контактов ролика с винтом; d_3 - средний диаметр резьбы гайки, мм; $k = d_1 / d_2$, здесь d_1 , d_2 - средние диаметры резьбы винта и ролика соответственно, мм; l_{w12} - предельный размер пятна контакта поперек витка резьбы в сопряжении винт-ролик, мм; α - половина угла профиля резьбы.

Результаты сравнительного анализа статической грузоподъемности различных силовых винтовых механизмов приведены в табл. 1. Статическая грузоподъемность РВПД 66х6 в 1,15 раза больше статической грузоподъемности РВПК 39х10 и в 1,38 раза больше статической грузоподъемности ШВП 63х10.

Динамическая грузоподъемность передачи тем выше, чем больше диаметр тела качения и чем больше число точек контактов. В ШВП величина шага резьбы P связана с диаметром шарика d зависимостью $P = 1,6 d$. Поэтому в ШВП при сохранении габаритных размеров гайки увеличение диаметра шарика приводит к уменьшению числа точек контактов, а увеличение числа точек контактов – к уменьшению диаметра шарика. Отличительной особенностью РВПД и РВПК является то, что в них величина шага резьбы P и диаметр резьбы ролика d_2 могут задаваться независимо друг от друга. В этих передачах шаг резьбы можно уменьшать, что ведет к увеличению числа точек контактов при одновременном увеличении диаметра резьбы ролика. Приведенный диаметр ролика $D_w = d_2 / \sin \alpha$, α – половина угла профиля резьбы. Величина шага резьбы P должна соответствовать размеру пятна контакта. P выбирают таким образом, чтобы при номинальной нагрузке на передачу пятно контакта не выходило на кромку резьбы. По сравнению с ШВП РВП за счет большего числа точек контактов при большем диаметре тел качения имеют большую динамическую грузоподъемность и долговечность. Расчет динамической грузоподъемности выполняется по различным формулам в зависимости от D_w . В РВПД 66х6 $D_w = 31,1$ мм, т.е. $D_w > 25,4$ мм.

Динамическая грузоподъемность ШВП и РВП [2, 3], Н:

$$C_{ш} = 3,65 f_{Cu} (i_{ш} k_p \sin \alpha)^{0,7} k_T k_\alpha n_{ш}^{2/3} D_0^{1,4} \operatorname{ctg} \alpha \cdot \cos \lambda \quad (4)$$

$$C = 3,65 f_C (i_{12} k_{p12} \sin \alpha)^{0,7} k_{T1} k_\alpha n_p^{2/3} D_w^{1,4} \operatorname{ctg} \alpha, \quad (5)$$

где f_C – коэффициент, зависящий от геометрии резьб, точности их изготовления и материала.

Долговечность передачи, млн. об.

$$L = \left(\frac{C}{F_{\text{экв}}} \right)^3, \quad (6)$$

где $F_{\text{экв}}$ – эквивалентная нагрузка, рассчитываемая по нагрузочной диаграмме:

$$F_{\text{экв}} = 3 \sqrt{\frac{\sum F_i^3 n_i t_i}{\sum n_i t_i}}, \quad (7)$$

где F_i , n_i , t_i – величины осевой нагрузки, частоты и времени вращения винта или гайки на i -м режиме нагрузки передачи.

Результаты сравнительного анализа долговечности различных ВМ приведены в табл. 1. Долговечность РВПД 66х6 в 31 раз больше долговечности РВПК 39х10 и в 36 раз больше долговечности ШВП 63х10.

Жесткость передачи определяется контактной жесткостью резьбовых сопряжений и осевой жесткостью тел, составляющих передачу:

$$c = \frac{c_K \cdot c_T}{c_K + c_T}, \quad (8)$$

где c_K – контактная жесткость; c_T – жесткость тел.

Контактная и осевая жесткость ШВП определялась по методике [1 - 3]. Усредненная контактная жесткость РВП (Н/мм) [2]:

$$c_K = \frac{893 \cdot F^{1/3} n_p^{2/3} \left(\frac{d_3}{k+2} \right)^{1/3}}{\left(\frac{2K}{\pi u} \right)_1 \left(\frac{2k+1}{k} \right)^{1/3} (i_{12} k_{p12})^{-2/3} + \left(\frac{2K}{\pi u} \right)_3 \left(\frac{2k+3}{k+2} \right)^{1/3} (i_{23} k_{p23})^{-2/3}}, \quad (9)$$

где $\left(\frac{2K}{\pi u} \right)_1$, $\left(\frac{2K}{\pi u} \right)_3$, K – коэффициенты, зависящие от кривизн сопряженных резьбовых поверхностей [2, 3, 5, 7], $k = d_1 / d_2$.

Осевая жесткость тел (Н/мм), передающих осевую нагрузку с ходовой гайки на опору:

$$c_T = 165000 \cdot \frac{d_3^2}{l} \cdot k_s, \quad (10)$$

где l – длина винта, мм; k_s – отношение площади поперечного сечения тел, передающих осевую нагрузку, к площади поперечного сечения гайки.

Для РВПК: $k_{sk} = k^2 / (k+2)^2$. Для РВПД: $k_{sk} = (k^2 + n) / (k+2)^2$.

Результаты сравнительного анализа жесткости силовых ВМ приведены в табл. 1. Жесткость РВПД 66х6 за счет большей жесткости винта и роликов в 1,38 раза больше жесткости РВПК 39х10 и в 2,17 раза больше, чем ШВП 63х10.

Момент инерции передачи определяется при вращающемся винте и поступательно перемещающейся гайке [1, 2]. Момент инерции ШВП, РВПК и РВПД, приведенный к винту передачи (кг·м²):

$$J_{ш} = 7,66 \cdot 10^{-13} d_0^4 \left(1 - \frac{1}{2k_0}\right)^4 l_1, \quad (11)$$

$$J_k = 7,66 \cdot 10^{-13} d_3^4 \left(\frac{k_k}{k_k + 2}\right)^4 l_1, \quad (12)$$

$$J_D = 7,66 \cdot 10^{-13} d_3^4 \frac{k_D^2 (k_D^2 + 3n_p / 4)}{(k_D + 2)^4} l_1 \quad (13)$$

где l_1 – длина винта, мм, d_3 – диаметр гайки, мм.

Результаты сравнительного анализа моментов инерции ВМ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сравнительного анализа технических характеристик ВМ

Параметр	ШВП 63х10	РВПК 39х10	РВПД 54х6	РВПД 60х6	РВПД 66х6
Статическая грузо-подъемность, кН	100,0	120,0	113,0	125,5	138,0
Долговечность, млн. об.	125	145	1900	3000	4500
Момент инерции ВМ, кг·м ²	0,00400	0,00080	0,00010	0,00016	0,00023
Линейная жесткость, Н/мкм	260	409	445	505	565
КПД	0,9	0,75	0,8	0,8	0,8

В РВПД осевая нагрузка передается с ходовой гайки на опорную не только центральным винтом, но и длинными роликами. Поэтому винт может быть выполнен малого диаметра. Обычно средний диаметр резьбы винта РВПД равен 1/3 среднего диаметра резьбы гайки. Поскольку винт имеет наибольшую частоту вращения в передаче и определяет основную часть ее приведенного момента инерции, то при малом диаметре винта приведенный момент инерции передачи получается малым. При одинаковых средних диаметрах резьбы гаек приведенный к винту момент инерции РВПД 66х6 в 3,5 раза меньше момента инерции РВПК 39х10 и в 17,4 раза меньше момента инерции ШВП 63х10.

Проведенный сравнительный анализ характеристик различных ВМ показывает, что РВПД имеют большую статическую грузоподъемность, долговечность, жесткость в связи с большей площадью контакта роликов с гайками и винтом и меньший момент инерции из-за меньшего диаметра резьбы винта, чем другие типы передач винт-гайка качения при одинаковых средних диаметрах резьбы и длинах резьбовых участков гаек.

Список литературы

1. Козырев В.В. Сравнение шариковых и роликовых передач винт – гайка [Текст]// Вестник машиностроения, 1983, № 11. – С. 30 – 34.
2. Толков, А.В. Исследование характеристик передачи с длинными резьбовыми роликами как элемента специального следящего привода // Дисс. на соискание ученой степени к.т.н. – Владимир, ВлГУ, 2006, 136 стр.
3. Жданов, А.В. Повышение надежности и долговечности РВМ [Текст]// Дисс. на соискание ученой степени к.т.н.. – Владимир, ВлГУ, 1998. – 134 с.
4. Морозов, В.В. РВМ. Кинематические характеристики. Владимир: ВлГУ, 2005. 77 с. ISBN 5-89368-634-9
5. Ковалев, М.П., Народецкий М.З. Расчет высокоточных шарикоподшипников. – М.: Машиностроение, 1980. – 373 с.
6. Morozov, V.V. New aspects of the planetary RSM classification [Text] / V.V. Morozov, A.V. Zhdanov // WITTES (Mechanical and Electrical Engineering), 2014, Vol. 96, pp. 951-957 © 2014 WIT Press, ISSN 1743-3533 doi:10.2495/AMEE140351
7. Перель Л.Я. Подшипники качения: Справ. – М.: Машиностроение, 1983. – 543 с.
8. Жданов, А.В. Теоретическое исследование распределения нагрузки по виткам резьбы РВМ [Текст]/ А.В. Жданов, А.В. Степенькин, А.З. Шаламберидзе// НТВП. №2, 2011г. – Казань. С.87-90. ISSN 2079-5920.

05.13.01

М.С. Трофимова

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Институт промышленных технологий машиностроения, кафедра Машиностроительные
технологические комплексы, Нижний Новгород, maya47@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕДУРЫ «ПЕРСПЕКТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ» РОССИЙСКИМИ ПОСТАВЩИКАМИ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ

В работе проведен анализ автомобильного рынка и перспектив его развития по итогам 2014 года, описана методика проведения опроса в области применения процедуры APQP среди работников российских автомобилестроительных предприятий, а также сотрудников иностранных компаний, разместивших свои производства на территории Российской Федерации, представлены некоторые результаты реализации разработанной методики.

Ключевые слова: автомобилестроение, перспективное планирование качества продукции, методика, опрос.

Ситуация на отечественном рынке автомобилестроения и производства автокомпонентов «стабильна». Однако ее стабильность проявляется в постоянном уменьшении объемов производства. По итогам 2014 года автомобильный рынок Российской Федерации сократился на 11 процентов и занял третье место по величине среди авторынков Европы. Об этом сообщает аналитическое агентство «АВТОСТАТ» [1] со ссылкой на данные национальных ассоциаций автопроизводителей Европы.

Первое место по величине автомобильного рынка в 2014 году среди европейских стран занимает Германия, в которой было реализовано 3 миллиона 36 тысяч 773 средств передвижения (+3,2 процента по сравнению с 2013 годом). Вторую ступень по количеству проданных автомобилей, которая с 2011 года принадлежала исключительно России, в этом году заняла Великобритания, которая продемонстрировала рост продаж в 9,3 процентов – 2 миллиона 476 тысяч 435 проданных машин. Тройку лидеров замыкает автомобильный рынок Российской Федерации с объемом годовых продаж порядка 2 миллионов 300 тысяч машин (-11 процентов по сравнению с 2013 годом). Четвертую и пятую ступень в рейтинге заняли Франция и Италия [2].

Одной из главных угроз отечественной автомобильной промышленности является вытеснение с российского рынка наших автомобилей и автокомпонентов. Предложение российских легковых автомобилей настолько мало и однообразно, что даже при большом желании отдать свой выбор отечественному производству, с трудом можно это сделать. Что нам предлагают? – «Новые автомобили ВАЗ, покупайте LadaKalina, LadaGranta, LadaPriora». И это всё, что может предложить нам наша огромная страна и российские производители? На сегодняшний день уже 26 из 40 ведущих производителей автокомпонентов, таких как Bosh, Delphi и Magna, запустили свое производство в России. Если эта тенденция сохранится, то, по разным экспертным оценкам, к 2020 году из существующих российских производителей автокомпонентов на рынке сохранятся только 20% [3].

Отечественная промышленность имеет ряд проблем, в числе которых устаревшие технологические процессы, оборудование, а также формальное соблюдение требований, современных подходов к системе менеджмента качества, которые приняты зарубежными компаниями, мировым рынком автомобильной промышленности и постепенно внедряются в производственный процесс отечественных предприятий. Нельзя просто перенести западную

культуру в российское производство, необходимо учитывать особенности российского менталитета.

Для разработки программы по развитию отечественных предприятий - поставщиков автокомпонентов предлагается провести исследование, целью которого будет изучение текущего состояния и тенденции применения современных подходов в области менеджмента качества на российских предприятиях - поставщиках автомобилестроения.

Объект исследования – российское предприятие – поставщик автокомпонентов.

Предмет исследования - процедура «Advanced product quality planning» (APQP) – «Перспективное планирование качества продукции».

APQP – является основной процедурой международного автомобильного стандарта ISO/TS - 16949 [4] и самой трудной при внедрении, поэтому для проведения дальнейшего научного исследования разработаем опросник, основанный на пунктах национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р 51814.6 – 2005 [5]. Разработка этого стандарта ГОСТ Р 51814.6 – 2005 была вызвана необходимостью дальнейшего развития автомобильной промышленности России с помощью современной методологии и организации работ, признанных ведущими автомобильными компаниями мира [5].

В качестве метода исследования выбран один из методов системного анализа [6] – опрос – так как он является одним из самых простых, доступных и дешевых методов сбора первичной информации. Итак, приступим к формированию пунктов опросника:

1. Целью APQP-процесса является обеспечение на его выходе запланированного качества серийно производимых а/к, соответствующих требованиям и ожиданиям потребителей [п.4.1, 5].

Позволяет ли применение Вами APQP-процесса получать на его выходе продукцию запланированного качества?

2. Выполнение этапов APQP-процесса требуется для всех подразделений, участвующих в разработке, подготовке производства и изготовлении а/к [п.4.1, 5].

Какое количество подразделений Вашего предприятия участвуют в процессе APQP?

3. APQP-процесс распространяется на поставщиков трех типов [п.4.2, 5].

К какому типу поставщиков относится Ваше предприятие?

4. Применение APQP-процесса основано на следующих принципах [п.4.3, 5]:

- 1) приверженность высшего руководства компании достижению поставленных целей;
- 2) командная работа и взаимодействие с другими командами и лицами;
- 3) распределение ответственности и полномочий;
- 4) полная преемственность этапов APQP-процесса: результаты (выходы) предыдущего этапа являются входами последующего;
- 5) постоянный анализ результатов с принятием решений;
- 6) последовательно-параллельное выполнение этапов в соответствии с установленными плановыми сроками.

Какие из вышеуказанных принципов APQP соблюдаются на Вашем предприятии?

5. Основные ожидаемые положительные результаты выполнения APQP-процесса [п.4.4, 5]:

- 1) гарантированное обеспечение запланированного уровня качества а/к;
- 2) своевременное представление потребителю качественной продукции по возможно более низкой цене;
- 3) системность и результативность процедур планирования, разработки, подготовки производства и производства а/к;
- 4) общая отчетность для поставщиков;
- 5) адресное распределение ресурсов поставщика;
- 6) создание условий для определения требуемых изменений на самых ранних этапах, избежание запоздалых изменений.

Каких результатов Ваша компания уже смогла достигнуть после внедрения и соблюдения всех этапов процедуры APQP?

6. Для проведения APQR-процесса (для данного а/к) на предприятии должна быть создана межфункциональная APQR-команда [п.4.7, 5].

Создана ли на Вашем предприятии межфункциональная APQR-команда? В случае положительного ответа перечислите должности основных членов APQR-команды.

7. Первой задачей APQR-команды после организационных действий следует считать разработку календарного плана на основе типового временного графика APQR-процесса. В плане указывают все необходимые мероприятия, сроки и необходимые ресурсы [п.4.8, 5].

Какие пункты указываются в Вашем календарном плане APQR –команды?

8. APQR-процесс включает в себя 19 обязательных основных элементов [п.4.9, 5], например, FMEA-конструкции, план верификации конструкции и отчет, план управления для опытного образца, изготовление опытного образца, карту потока процесса и другие.

Перечислите, какие Вы знаете основные элементы APQR-процесса на Вашем предприятии?

9. Методология FMEA должна применяться на этапах II и III APQR-процесса при разработке конструкции (FMEA-конструкции) и технологии производства (FMEA-процесса). Эта методология описана в ГОСТ Р 51814.2 [6]; она позволяет избежать ошибок и потерь при проектировании конструкции и технологии производства а/к [п.4.9.1, 5].

На каких этапах применяется методология FMEA при производстве Вашей продукции?

10. План управления - документированное описание систем и процессов, необходимых для управления продукцией [п.4.9.2, 5].

На каких стадиях производства разрабатываются планы управления?

11. Большую помощь в понимании работы процесса изготовления а/к оказывает визуальное отображение этого процесса изготовления в виде карты потока процесса. Знаки, которые используют для карты потока процесса, выбирает сам поставщик, но они должны быть приведены с расшифровкой в нижней части карты. Поставщику рекомендуется выбрать не более 7 - 10 таких знаков-символов и стандартизировать их [п.4.9.2, 5].

Какое количество знаков-символов применяете Вы при построении карты потока процесса?

12. Каждый конкретный APQR-процесс (для данного а/к) рекомендуется оформлять как проект [п.4.10.1, 5].

Оформляете ли Вы каждый конкретный APQR-процесс (для данного а/к) как проект с конкретным руководителем проекта и командой с необходимыми функциями?

13. На начальных этапах работы следует четко сформулировать требования потребителей (конструкция, безотказность, долговечность, ремонтпригодность и др.) [п.4.10.2, 5];

Перечислите требования потребителей, которые Вы учитываете на начальных этапах работы APQR – команды?

14. Последовательно-параллельная работа - это процесс, при котором межфункциональные команды стремятся достичь общей поставленной цели в минимальные сроки. Она заменяет работу в виде последовательных фаз, когда результаты передаются на следующий этап для выполнения. Цель передач - ускорить процесс создания качественной продукции [п.4.10.2, 5].

Как выполняется работа Вашей межфункциональной команды в процессе APQR?

15. APQR-команде следует использовать все доступные источники информации для более полного понимания и формулирования потребностей/пожеланий потребителя [п.5.2.1, 5].

Перечислите, какую информацию Вы принимаете за входы этапа I процедуры?

16. Перечислите, какие выходы этапа I [п.5.3, 5] Вы получаете в результате выполнения этого этапа?

17. Один из ключевых факторов успеха APQR-команды - интерес, приверженность и поддержка высшего руководства [п.5.3.7,5].

Принимает ли участие во встречах APQR-команды высшее руководство и оказывает ли поддержку?

18. Выберите, какие из нижеперечисленных вопросов [п.6.4.2, 5] решаются Вами на этапе II процедуры?

Варианты: конструкция, концепция, функция и чувствительность к изменчивости при изготовлении; процесс изготовления и/или сборки; технические допуски на геометрические размеры; требования работоспособности; число компонентов; подналадка процесса; обработка материалов.

19. Проводите ли Вы подтверждение (валидацию) конструкции [п.6.4.3, 5]?

20. При проведении Вами анализа конструкции [п.6.4.3, 5] какую оценку он включает?

21. Проводите ли Вы детальный анализ и понимание контролируемых параметров [п.6.4.7, 5] выпускаемой продукции на этапе II?

22. Разрабатываете и рассматриваете ли Вы чертеж плана цеха [п.7.3.2, 5]?

23. Применяете ли Вы матрицу влияния [п.7.3.3, 5] для описания степени влияния технологических операций на параметры продукции?

24. Когда Вы проводите анализ видов и последствий отказов процесса (PFMEA) [п.7.3.4, 5]?

25. Производство установочной серии должно быть проведено в производственных условиях. Подтверждение эффективности производственного процесса начинается с изготовления установочной серии. Минимальный объем этой партии обычно устанавливает потребитель [п.8.3.1, 5].

Установочную серию какого объема обычно выпускаете Вы на этапе IV?

26. Проводите ли Вы оценку измерительных систем на этапе IV [п.8.3.3, 5]?

27. Выполняете ли Вы процедуру PPAP «Одобрение производства автомобильных компонентов» [п.8.3.7, 5]?

28. Перечислите основные методы, которые Вы применяете при проведении работ по снижению изменчивости процессов на этапе V процедуры APQP [п.9.3.1, 5]?

29. Согласны ли Вы с тем, что часто снижение или устранение обычных причин приводит к меньшим издержкам [п.9.3.1, 5]? Необходим ответ с обоснованием.

30. Оцениваете ли Вы удовлетворенность потребителя и предпринимаете ли меры по ее повышению на этапе V [п.9.3.2, 5]?

Разработанные 30 вышеперечисленных вопросов были оформлены в виде опросника в бумажной форме, при помощи которого были опрошены работники отечественных автомобилестроительных предприятий, а также сотрудников иностранных компаний, разместивших свои производства на территории Российской Федерации. Апробация данного опросника была проведена среди участников межотраслевой конференции в области автомобилестроения в г. Нижний Новгород.

По результатам проведенной работы были получены необходимые данные, также получены некоторые замечания и предложены рекомендации по улучшению опросника. Можно выделить три основных недостатка предложенной формы опроса:

1) Получилось большое количество вопросов, которые требуют достаточно много времени для ответов на них;

2) В опросе присутствовали вопросы, для ответа на которые необходимо был развернутый письменный ответ, что вызвало негативную реакцию участников;

3) Бумажная форма опроса не всегда обеспечивает получения заполненной формы обратно.

В связи с этим, были внесены коррективы в разработанный опросник, и составлена его электронная версия при помощи Survio [7] – программного обеспечения для исследования удовлетворенности пользователей, получения отзывов, маркетингового исследования и много другого. Фрагмент опросника представлен на рисунке 1.

Как выполняется работа Вашей межфункциональной команды в процессе APQP?

☐ последовательно

☐ параллельно

☐ последовательно-параллельно

Принимает ли участие во встречах APQP-команды высшее руководство и оказывает ли поддержку?

☐ участвует и оказывает поддержку

☐ участвует и не оказывает поддержку

☐ не участвует и не оказывает поддержку

Рис. 1 – Фрагмент опросника «Исследование состояния и применения современных подходов процедуры APQP на предприятиях – поставщиках автокомпонентов»

На основе полученных данных используемое программное обеспечение представляет результаты в виде диаграмм, так, например, на рисунке 2 показана диаграмма соблюдения принципов APQP. На рисунке 3 представлены комментарии к диаграмме (рис.2).

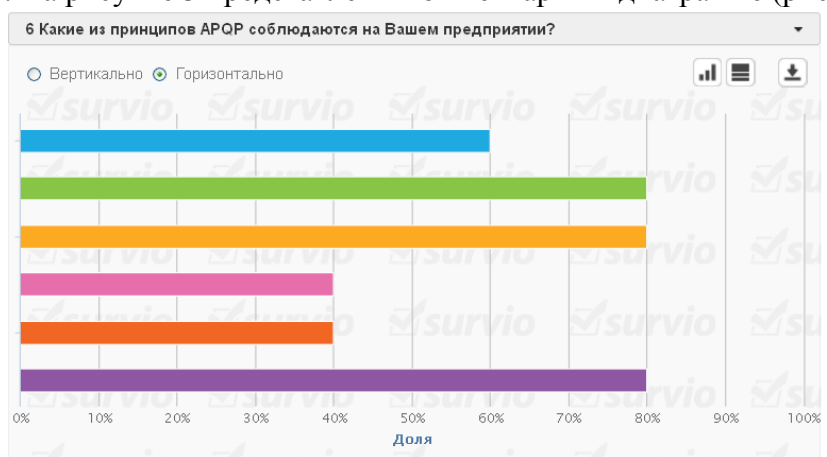


Рис.2 Линейная диаграмма «Соблюдение принципов APQP»

- приверженность высшего руководства компании достижению поставленных целей;
- командная работа и взаимодействие с другими командами и лицами;
- распределение ответственности и полномочий;
- полная преемственность этапов APQP-процесса: результаты (выходы) предыдущего этапа являются входами последующего;
- постоянный анализ результатов по каждому из этапов с принятием решений;
- последовательно-параллельное выполнение этапов в соответствии с установленными плановыми сроками.

Рис.3 Комментарии к линейной диаграмме «Соблюдение принципов APQP»

Таким образом, проводится опрос работников, входящих в APQP команды автомобилестроительных предприятий. По итогам, проводится статистический мониторинг и анализ полученных данных.

Данная работа и предложенное исследование позволяет выявить проблемы, которые возникают при внедрении одной из важнейших процедур – APQP процедуры на отечественных предприятиях, уровень понимания значимости этой процедуры при улучшении СМК автомобилестроительного предприятия. На основе полученной информации можно разработать план действий по развитию отечественных поставщиков

автокомпонентов, который будет основан не на голословных данных, а на конкретных документированных результатах опроса. В будущем планируется проводить такие опросы регулярно с целью определения динамики применения APQR и своевременного реагирования на возникающие проблемы отечественных производителей.

В результате мы получаем данные, показывающие нам степень применения процедуры APQR на исследуемых предприятиях, степень понимания сотрудником своей значимости в выполнении задач компании, степень вовлеченности персонала в работу межфункциональной APQR команды, кроме того, мы сможем сравнивать уровень применения APQR и получения результатов после этого применения отечественными и зарубежными компаниями.

Список литературы

1. Аналитическое агентство «АВТОСТАТ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.autostat.ru/news/3/>.
2. Unique Identification Number Car (UINCAR) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uincar.ru/news/events/5376-avtorynok-rossii-po-itogam-2014-goda-spustilsya-na-tretyu-stupen-v-evropeyskom-pervenstve.html>.
3. Официальный сайт компании Strategy Partners Group («Стратеджи Партнерс Групп», ЗАО «СПГ») [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.strategy.ru/UserFiles/File/Goverment/avto%20Samara.pdf>.
4. ГОСТ Р ИСО/ТУ 16949-2009 Система менеджмента качества. Особые требования по применению ИСО 9001:2008 в автомобильной промышленности и организациях, производящих соответствующие запасные части.
5. ГОСТ Р 51814.6 – 2005 – «Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Менеджмент качества при планировании, разработке и подготовке производства автомобильных компонентов».
6. ГОСТ Р 51814.2-2001 – «Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов».
7. Программное обеспечение Survio [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.survio.com/survey/v/Z6I9J4Y9E6Q1A9K8M>.

05.09.01

Г.М. Тутаев к.т.н., Е.Н. Белкина

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва, кафедра Электроники и наноэлектроники,
Саранск, tutaevgm@mail.ru, nkbelkins@mail.ru

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ С АСИНХРОНИЗИРОВАННЫМ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

В работе рассматриваются актуальные вопросы повышения энергоэффективности регулируемых электроприводов. Одним из вариантов подобных систем является электропривод на базе асинхронизированного вентильного двигателя. Рассматривается влияние алгоритмов управления на энергетические показатели машинно-вентильного комплекса.

Ключевые слова: *регулируемый электропривод, энергетические показатели, асинхронизированный вентильный двигатель, преобразователь частоты, алгоритм управления.*

Сегодня регулируемый электропривод (РЭП) переменного тока является самым надежным и экономически целесообразным способом преобразования электрической энергии в механическую. Развитие микроэлектроники, силовой преобразовательной техники, микроконтроллеров и применение теории векторного управления придали мощный импульс для более широкого внедрения РЭП во многих отраслях промышленности. Это создает предпосылки для разработок как частично, так и полностью управляемых электромеханических систем, функционирующих в соответствии с заданными законами.

К машине переменного тока в общем случае можно предъявить четыре основных требования [1]:

- 1) высокое значение КПД,
- 2) возможность регулирования реактивной мощности,
- 3) возможность регулирования скорости,
- 4) возможность регулирования характера переходного процесса.

Ни асинхронная, ни синхронная машина не отвечают полному комплексу этих требований.

Как было показано в [2] в максимальной степени основным требованиям удовлетворяет асинхронизированный вентильный двигатель (АВД), который можно отнести к управляемым машинам. Структурная схема АВД представлена на рис. 1.

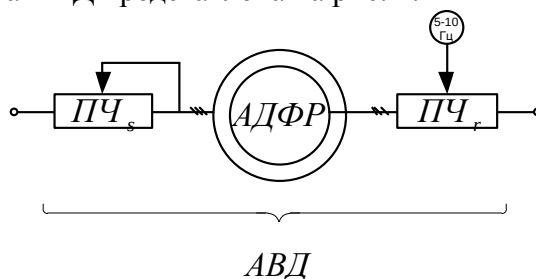


Рис. 1 – Структурная схема АВД

Наличие двух преобразователей частоты (ПЧ) открывает принципиально новые возможности построения РЭП, поскольку при питании обмоток синусоидальными напряжениями имеется шесть доступных для управления величин – две амплитуды, две частоты и две фазы питающих напряжений, посредством которых можно реализовать различные алгоритмы управления в зависимости от решаемых технологических задач [2, 3]. К числу наиболее применимых относятся минимум суммарных потерь, минимум токов,

$\cos \varphi = 1$.

Существенной особенностью электродвигателя является то, что режимы его работы характеризуются целым рядом показателей, таких как потребляемые от ПЧ активная и реактивная мощности, электромагнитный момент и угловая скорость ротора, КПД, коэффициент мощности. Каждый из них, в свою очередь, может выступать частным показателем при выборе критерия эффективности.

К числу важнейших энергетических показателей, оценка которых имеет практическое значение, относят суммарные потери в двигателе. Определение эффективности алгоритмов управления с точки зрения суммарных потерь необходимо для повышения КПД двигателей при регулировании угловой скорости вала и изменении нагрузки в широких пределах, а также для обеспечения минимума потерь с целью ограничения допустимых по нагреву двигателя нагрузок.

Важным вопросом при реализации энергоэффективных законов управления ЭП является их влияние на энергетические показатели ПЧ, которые составляют неотъемлемую часть системы РЭП. Основным фактором улучшения их энергетических показателей является применение полностью управляемых силовых ключей, что позволило оказаться от искусственной коммутации и снизить потери в элементах ПЧ, уменьшить их массогабаритные показатели. При этом применяется режим ШИМ выходного напряжения, что способствует улучшению гармонического состава фазных токов двигателя и снижению потерь в нем. Коммутационные потери в силовых ключах можно существенно уменьшить применением биполярных транзисторов с изолированным затвором *IGBT*, а также «мягкой» коммутацией с переключением силовых ключей в нуле тока или напряжения. Способствует повышению энергетической эффективности ПЧ и применение методов оптимальных векторных ШИМ. Указанные подходы к обеспечению энергоэффективных режимов работы современных ПЧ позволяют достичь уровня КПД в 96,5–98,5%. В работах [4, 5] было установлено, что сетевые характеристики ПЧ – токи i , активная p , реактивная q и полная s мощности принимают минимальные значения, а коэффициент сдвига χ – максимальное значение при управлении по минимуму потерь в двигателе. Это в полной мере относится и к потерям в элементах ПЧ, которые зависят от фазных токов и потребляемой двигателем активной мощности. Поскольку энергоэффективные алгоритмы управления АД определяют, в первую очередь, минимальные значения фазных токов при заданных значениях нагрузки и угловой скорости, то их реализация позволяет снизить и потери в элементах ПЧ.

Определим потери в АД, где в качестве базовой машины выбран АД с фазным ротором 4AK250SB4Y3 мощностью 55 кВт. Структура силовых ПЧ двухзвенная с промежуточным звеном постоянного тока. ПЧ якоря выполнен по схеме «активный выпрямитель тока – инвертор тока», ПЧ возбуждения – по схеме «активный выпрямитель напряжения – инвертор напряжения». Это обеспечивает двусторонний обмен энергией как по цепи якоря, так и по цепи возбуждения. В обоих ПЧ применяются полностью управляемые ключи на *IGBT*-транзисторах и ШИМ регулирование токов и напряжений с частотой модуляции 20 кГц. Расчет ПЧ осуществлен по типовым формулам проектирования. Мощность статических потерь в одном ключе [6]:

$$P_{ст} = (U_{кл} \cdot I_0 \cdot \tau_{выкл} + U_0 \cdot I_{кл} \cdot \tau_{вкл}) \cdot T_k^{-1},$$

где $U_{кл}$ – напряжение на выключенном ключе; $I_{кл}$ – ток через включенный ключ; I_0 , U_0 – ток утечки и напряжение на открытом ключе; T_k – период коммутации ключей; $\tau_{выкл}$, $\tau_{вкл}$ – суммарное время выключенного и включенного состояния ключа за период T_k .

Мощность динамических потерь в одном ключе [7]:

$$P_{дин} = \frac{1}{2} \cdot f_k \cdot E_{tot} + \frac{1}{2} \cdot C_{out} \cdot U_{кл}^2 \cdot f_k + Q_{rr} \cdot U_{кл} \cdot f_k,$$

где f_k – частота переключения ключей; E_{tot} – суммарная энергия переключения *IGBT*; C_{out} – выходная емкость; Q_{rr} – заряд обратного восстановления антипараллельного диода.

При расчете потерь в ПЧ коэффициент перегрузки по току принят $K_{II} = 1,5$, а влияние

высших гармоник учтено коэффициентом $K_{BG} = 1,15$.

Специальный подбор силовых ключей в ПЧ по минимуму коммутационных потерь не осуществлялся. Были выбраны транзисторы, удовлетворяющие требованиям по максимальным прямым токам и напряжениям в закрытом состоянии. Потерями в емкостях фильтров и в емкости звена постоянного тока ПЧ возбуждения пренебрегаем.

Значения потерь в элементах электропривода с АД при различных алгоритмах управления представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Потери в электроприводе с АД

Алгоритм управления	АДФР	АВД	$\min_{\omega_2} \Sigma \text{потерь}$ ($-\omega_2 = \omega_e / 2$)	$\varphi_1 = \text{const}$ ($-\omega_2 = \omega_e / 2$)	$\min_{\omega_2} \Sigma \text{потерь}$ $\omega_2 = 0$	$\varphi_1 = \text{const}$ $\omega_2 = 0$
Виды потерь, Вт						
<i>Потери в двигателе:</i>						
потери в обмотке статора (якоря)	1650	1650	775	775	775	775
потери в обмотке ротора (возбуждения)	3237,3	3237,3	1263,6	1306,2	1263,6	1306,2
потери в стали статора	519,1	519,1	201,5	201,5	519,1	519,1
потери в стали ротора	–	–	126,3	126,3	–	–
добавочные потери	308,6	308,6	308,6	308,6	308,6	308,6
потери на щетках	220	220	50,84	50,92	50,84	50,92
механические потери	159	159	159	159	159	159
потери на трение в щетках	13	13	13	13	13	13
дополнительные потери от высших гармоник	–	610	290	290	308	313
Суммарные потери в двигателе	6107,6	6717	3187,84	3230,52	3397,14	3444,82
<i>Потери в ПЧ якоря:</i>						
в ключах активного выпрямителя тока	–	605,2	570,74	576,45	570,74	576,45
в ключах инвертора тока	–	571	544,14	544,38	544,14	544,38
потери во входном фильтре	–	38,75	26,6	26,68	26,6	26,68
потери в звене постоянного тока	–	53	36,73	36,85	36,73	36,85
потери в выходном фильтре инвертора	–	–	–	–	–	–
Суммарные потери в ПЧ якоря	–	1268	1178,21	1184,36	1178,21	1184,36
<i>Потери в ПЧ возбуждения:</i>						
в ключах активного выпрямителя напряжения	–	640,9	585,8	588,73	585,8	588,73
в ключах инвертора напряжения	–	595,9	552	554,58	552	554,58
потери во входном фильтре	–	11,82	6,6	6,86	6,6	6,86
потери в звене постоянного тока	–	–	–	–	–	–
Суммарные потери в ПЧ возбуждения	–	1248,62	1144,4	1150,17	1144,4	1150,67
Суммарные потери в АД		9233,57	5510,45	5565	5719,75	5779,35
Суммарный КПД	0,9	0,8561	0,9089	0,9081	0,9058	0,9049

Потери в нерегулируемом приводе при типовом включении АДФР были определены по формулам проектирования. Потери в АВД с ПЧ определены при номинальном скольжении ($f_2 = 1$ Гц) при $\beta \approx 50^\circ$. Это обеспечивает потери в двигателе, сопоставимые с потерями при типовом включении АДФР. Потери в двигателе при энергоэффективных алгоритмах определены с использованием моделей из работ [3, 8].

Реализация двух последних алгоритмов управления ЭП с АВД позволяет рассматривать его как аналог ЭП с ВД постоянного тока при управлении с поперечным током якоря и по положению результирующего потока соответственно. При прочих равных условиях потери в приводе с ВД будут меньше на величину потерь в АИН преобразователя цепи возбуждения.

Список литературы

1. Ботвинник М.М. Управляемая машина переменного тока / М.М. Ботвинник, Ю.Г. Шакарян. – М.: Наука, 1969. – 142 с.
2. Тутаев Г.М. Асинхронизированный вентильный двигатель как многоканальный объект управления / Г.М. Тутаев // Электричество. – 2013. – № 10. – С. 48-51.
3. Тутаев Г.М. Энергоэффективное управление двигателем двойного питания в установившихся режимах / Г.М. Тутаев // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2011. – № 2. – С.52–58.
4. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: АCADEMA, 2004. –202 с.
5. Поляков В.Н. Энергоэффективные режимы регулируемых электроприводов переменного тока / В.Н. Поляков, Р.Т. Шрейнер. – Екатеринбург: УрФУ, РГПИУ, 2012. – 222 с.
6. Мухаметшин И.А. Методика расчета КПД полупроводниковых преобразователей частоты [Электронный ресурс] / И.А. Мухаметшин, К.Н. Корюков // <http://www.library.mephi.ru/data/scientific-sessions/2002/14 /1045.html> (дата обращения 03.03.2015)
7. Полищук А. Выбор ключевых транзисторов для преобразователей с жёстким переключением / А. Полищук // Современная электроника. – 2004. – №1. – С. 8-11.
8. Тутаев Г.М. Исследование энергетических характеристик асинхронизированного вентильного двигателя на статической модели / Г.М. Тутаев, И.В. Гуляев, И.В. Маняев // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2010. – №4. – С. 2-7.

05.13.06

¹А.Р. Фардеев к.т.н., ²Р.Г. Марданшин к.ф.-м.н., ³А.А. Фардеев

Набережночелнинский институт (филиал)

ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,

¹кафедра механики и конструирования, Набережные Челны, albert.fardeev@mail.ru²кафедра системного анализа и информатики, Набережные Челны, mardanrif@mail.ru³кафедра системного анализа и информатики, Набережные Челны, progmast@mail.ru**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ МАНИПУЛЯТОРА**

В статье рассмотрена работа насоса гидроприводов манипулятора, используемого для переноса заготовок в технологическом процессековки или горячей штамповки заготовок, в совокупности с работой автоматической системы управления его рабочим объемом. Рассмотрены уравнения, описывающие математические модели работы насоса и указанной системы управления. Установлены условия асимптотической устойчивости работы системы при управлении рабочим объемом насоса.

Ключевые слова: гидроприводы манипулятора, система управления, рабочий объем насоса, математическая модель, условия асимптотической устойчивости.

Рассмотрим насос манипулятора с тремя поступательными степенями подвижности. Пусть эти степени подвижности реализуются при помощи гидроприводов. Для обеспечения нахождения давления насоса гидроприводов между верхним и нижним уровнями разработана автоматическая система управления рабочим объемом насоса манипулятора [1]. Уравнение описывающее математическую модель этой системы управления имеет вид:

$$T_s \frac{du_v}{dt} + u_v = K_p u_p \quad (1)$$

Здесь $T_s = \frac{n_1}{k_1 k_2 m_1}$, где m_1 , n_1 – длины соответственных рычагов в системе управления; k_1 – коэффициент пропорциональности между открытием окна сервомотора системы управления и расходом жидкости через него; k_2 – коэффициент пропорциональности между расходом жидкости через указанное окно и скоростью движения плунжера гидроцилиндра; $K_p = \frac{n_1 m_2 p_{нас0} A_{\kappa} \psi}{m_1 n_2 S_{10} C}$, где m_2 , n_2 – длины соответственных рычагов в системе управления; $p_{нас0}$ – давление насоса в номинальном режиме; S_{10} – положение плунжера гидроцилиндра в номинальном режиме; C – жесткость пружины переливного клапана; A_{κ} – площадь рабочего сечения переливного клапана; ψ – коэффициент нагрузки; u_v – относительное изменение рабочего объема насоса; u_p – относительное изменение давления насоса [2].

Можно показать, что уравнение описывающее работу насоса манипулятора при управлении рабочим объемом имеет вид:

$$K_{\mu} + N_0 u_v + K_{\mu p} u_p = m_1 v_{10}^2 \frac{du_{v1}}{dt} (1 + u_{v1}) + m_2 v_{20}^2 \frac{du_{v2}}{dt} (1 + u_{v2}) + m_3 v_{30}^2 \left(\frac{du_{v3}}{dt} + \frac{g}{v_{30}} \right) (1 + u_{v3}) \quad (2)$$

Здесь $K_{\mu} = p_{нас0} V_{он0} n_n \eta_{TP} \eta_{\Gamma} + \mu_{\mu} \pi d_{\kappa} (\sin \beta) \eta_{TP} \eta_{\Gamma} p_{нас0}^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(z_0 - \frac{A_{\kappa} \psi p_{нас0}}{C} \right)}$, где $V_{он0}$ – рабочий объем насоса в номинальном режиме; n_n – частота вращения вала насоса в об/с; η_{TP} –

гидравлический КПД гидропривода, учитывающий суммарные гидравлические потери давления в трубопроводе; η_{Γ} – коэффициент полезного действия гидродвигателя; $\mu_{\text{ц}}$ – экспериментальный коэффициент, зависящий от числа Re; d_{κ} – рабочий диаметр клапана; β – угол между образующей конуса клапана и вертикалью; ρ – плотность жидкости [3]; $N_0 = p_{\text{нас}0} V_{\text{он}0} n_n \eta_{\text{TP}} \eta_{\Gamma}$;

$$K_{\mu p} = p_{\text{нас}0} V_{\text{он}0} n_n \eta_{\text{TP}} \eta_{\Gamma} + \mu_{\text{ц}} \pi d_{\kappa} (\sin \beta) \eta_{\text{TP}} \eta_{\Gamma} p_{\text{нас}0}^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(\frac{3}{2} z_0 - \frac{5}{2} \frac{A_{\kappa} \psi p_{\text{нас}0}}{C} \right)};$$

v_{10}, v_{20}, v_{30} – проекции скоростей соответствующих плунжеров на соответствующие оси в номинальном режиме; u_{v1}, u_{v2}, u_{v3} – относительные изменения скоростей соответствующих плунжеров, g – ускорение свободного падения.

Итак, при управлении рабочим объёмом насоса математические модели работы манипулятора и его системы управления описываются уравнениями (1), (2):

$$\begin{aligned} T_s \frac{du_v}{dt} + u_v &= K_p u_p \\ K_{\mu} + N_0 u_v + K_{\mu p} u_p &= m_1 v_{10}^2 \frac{du_{v1}}{dt} (1 + u_{v1}) + m_2 v_{20}^2 \frac{du_{v2}}{dt} (1 + u_{v2}) + \\ &+ m_3 v_{30}^2 \left(\frac{du_{v3}}{dt} + \frac{g}{v_{30}} \right) (1 + u_{v3}) \end{aligned} \quad (3)$$

Пусть скорость движения объекта манипулирования по всем степеням подвижности постоянна. Тогда $\frac{dv_1}{dt} = \frac{dv_2}{dt} = \frac{dv_3}{dt} = 0$; $\frac{du_{v1}}{dt} = \frac{du_{v2}}{dt} = \frac{du_{v3}}{dt} = 0$; $u_{v1} = u_{v2} = u_{v3} = 0$ и уравнения (3) примут вид:

$$\begin{aligned} T_s \frac{du_v}{dt} + u_v &= K_p u_p \\ K_{\mu} + N_0 u_v + K_{\mu p} u_p &= m_3 v_{30} g \end{aligned} \quad (4)$$

После преобразований эти уравнения примут вид:

$$\begin{aligned} \frac{du_v}{dt} &= -\frac{1}{T_s} u_v + \frac{K_p}{T_s} u_p \\ u_p &= -\frac{K_{\mu}}{K_{\mu p}} - \frac{N_0}{K_{\mu p}} u_v + \frac{m_3 v_{30} g}{K_{\mu p}} \end{aligned} \quad (5)$$

После подстановки второго уравнения (5) в первое получим

$$\frac{du_v}{dt} + u_v \left(\frac{1}{T_s} + \frac{K_p N_0}{T_s K_{\mu p}} \right) = -\frac{K_p K_{\mu}}{T_s K_{\mu p}} + \frac{m_3 v_{30} g K_p}{K_{\mu p} T_s}.$$

Характеристическое уравнение этого дифференциального уравнения имеет вид:

$$\lambda + \frac{1}{T_s} + \frac{K_p N_0}{T_s K_{\mu p}} = 0.$$

Если привести левую часть этого уравнения к виду:

$$D(\lambda) = b_0 \lambda + b_1, \text{ то}$$

$$b_0 = 1; \quad b_1 = \frac{1}{T_s} + \frac{K_p N_0}{T_s K_{\mu p}} \quad (6)$$

Согласно критерию Гурвица система управления устойчива, если коэффициенты b_0 и b_1 положительны [4]. Коэффициент b_0 положителен. Проверим коэффициент b_1 . Рассмотрим первое слагаемое:

$$\frac{1}{T_s} = K_{12}K_{mn1} = k_1k_2 \frac{m_1}{n_1} > 0,$$

т.к. k_1, k_2 – положительные коэффициенты; m_1, n_1 – расстояния, которые не могут быть отрицательными.

Рассмотрим второе слагаемое $\frac{K_p N_0}{T_s K_{\mu p}}$:

$$K_p = K_\theta K_{p1} = \frac{K_{mn2} \sigma_{10} p_{nac0} A_k \psi}{K_{mn1} S_{10} C \sigma_{10}} = \frac{m_2 n_1 p_{nac0} A_k \psi}{n_2 m_1 S_{10} C} > 0,$$

$$N_0 = p_{nac0} V_{он0} n_n \eta_{TP} \eta_\Gamma > 0,$$

т.к. все числа участвующие в этих выражениях положительны;

$$\begin{aligned} K_{\mu p} &= N_0 + K_{\mu 2} = N_0 + \frac{3}{2} K_{\mu 0} \eta_{TP} \eta_\Gamma p_{nac0}^{\frac{3}{2}} - \frac{5}{2} K_{\mu \psi} \eta_{TP} \eta_\Gamma p_{nac0}^{\frac{5}{2}} = \\ &= N_0 + \eta_{TP} \eta_\Gamma \left(\frac{3}{2} \mu_{\psi} \pi d_K z_0 \sin \beta \sqrt{\left(\frac{2}{\rho}\right)} p_{nac0}^{\frac{3}{2}} - \frac{5}{2} \frac{\mu_{\psi} \pi d_K A_k \psi}{C} \sin \beta \sqrt{\left(\frac{2}{\rho}\right)} p_{nac0}^{\frac{5}{2}} \right) = \\ &= N_0 + \eta_{TP} \eta_\Gamma \frac{1}{2} \frac{\mu_{\psi} \pi d_K}{C} \sin \beta \sqrt{\left(\frac{2}{\rho}\right)} p_{nac0}^{\frac{3}{2}} (3z_0 C - 5A_k \psi p_{nac0}). \end{aligned}$$

Второе слагаемое коэффициента $K_{\mu p}$ (а, следовательно, и весь коэффициент) будет положительным, если положительна скобка $(3z_0 C - 5A_k \psi p_{nac0})$. Для этого должно выполняться неравенство:

$$z_0 > \frac{5A_k \psi p_{nac0}}{3C} \quad (7)$$

При выполнении условия (7) второе слагаемое в выражении для b_1 (см. 6) будет положительным, также как и первое. Следовательно, работа манипулятора в номинальном режиме при выполнении условия (7) будет устойчива.

Конечно, даже при невыполнении условия (7) можно найти некоторую область устойчивости. Это будет (согласно 6) при выполнении условия

$$\frac{1}{T_s} + \frac{K_p N_0}{T_s K_{\mu p}} > 0$$

или

$$1 > -\frac{K_p N_0}{K_{\mu p}}. \quad (8)$$

Преимуществом условия устойчивости (8) является большая точность. Преимуществом же условия (7) является то, что в него входят малое количество задаваемых или определяемых величин: $z_0, A_k, \psi, p_{nac0}, C$. В условие же (8) входит гораздо большее число величин: $m_1, n_1, m_2, n_2, p_{nac0}, A_k, \psi, S_{10}, C, V_{он0}, n_n, \eta_{TP}, \eta_\Gamma, \mu_{\psi}, d_K, z_0, \beta, \rho$. Поэтому, если нет возможности задаться некоторыми величинами, входящими в условие (8), то можно воспользоваться условием (7), смирившись с тем, что некоторая часть области устойчивости не будет учитываться.

Построим области устойчивости в плоскости некоторых параметров задавшись некоторыми величинами и используя условие (7). Пусть:

$$p_{k0} = p_{nac0} = 15 \text{ Мпа} = 15 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2, \quad \sigma_{10} = 0,1 \text{ мм} = 10^{-4} \text{ м},$$

$$\nu = 20 \text{ сСт} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}, \quad \rho = 800 \text{ кг/м}^3,$$

тогда в номинальном режиме [3]:

$$\text{Re} = \frac{2\sigma_{10}}{\nu} \sqrt{\frac{2p_{\kappa 0}}{\rho}} = 1936.$$

Число Рейнольдса Re оказалось большим из-за высокого давления. Этому числу соответствует $\psi = 0,98$.

Пусть $d_k = 10 \text{ мм} = 10^{-2} \text{ м}$, тогда $A_k = \frac{\pi d_k^2}{4} = 785 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$. Условие (7) примет вид:

$$z_0 > \frac{1923,25}{C}.$$

Построим кривую $z_0 = \frac{1923,25}{C}$ и выделим область устойчивости в плоскости параметров z_0 , C согласно условию (7). Рассматриваемая область показана на рис. 1.

Построим область устойчивости в плоскости параметров z_0 и A_k согласно условию (7), приняв $C = 300 \text{ Н/мм} = 3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$. В этом случае условие (7) примет вид:

$$z_0 > 81,7 A_k.$$

Рассматриваемая область показана на рис. 2

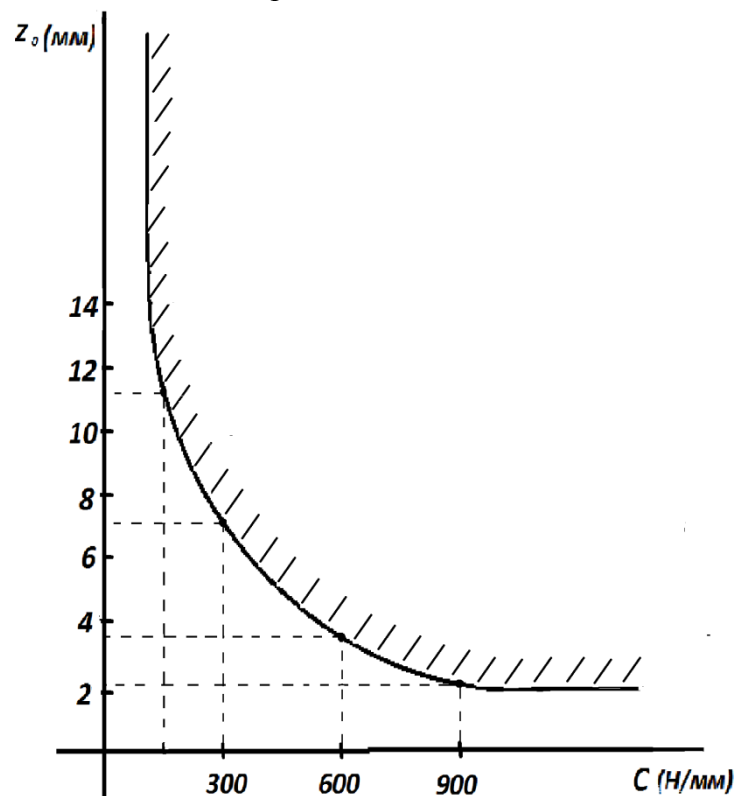


Рис. 1 – область устойчивости в плоскости параметров z_0 и C при работе объекта управления в номинальном режиме (согласно условию (7))

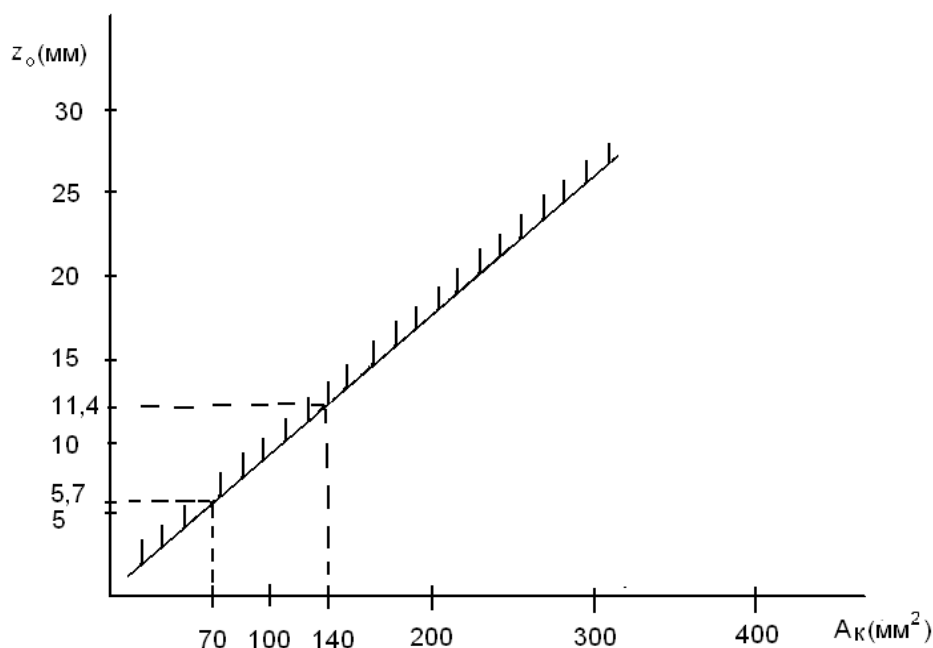


Рис. 2 – область устойчивости в плоскости параметров z_0 и A_k при работе объекта управления в номинальном режиме (согласно условию (7))

Список литературы

1. *Фардеев А.А.*, Математическая модель автоматизированной системы управления рабочим объемом насоса манипулятора, используемого в технологическом процессековки заготовок // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2012. - №4. – С. 121-123.
2. *Башта Т.М.* Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем / Башта Т.М. – М.: Машиностроение, 1974. – 606 с.
3. *Башта Т.М.* Гидропривод и гидропневмоавтоматика / Башта Т.М. – М. : Машиностроение, 1972. – 320 с.
4. *Воронов А.А.* Теория автоматического управления. – М.: Высш. шк., 1986, – 368 с.

05.13.06

Ш.Ш. Хузяттов к.т.н., Р.А. Валиев к.ф.-м.н.

Набережночелнинский институт Казанского федерального университета, факультет информационных технологий и энергетических систем, кафедра информационных систем, Набережные Челны, huzjatov@mail.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ ПАТТЕРНА

Предложена разработка автоматизированных систем управления технологическими процессами с применением методики паттерна на основе шаблонных проектов, в которых определены способы хранения данных, функциональность элементов управления и организация обмена между программными обеспечениями нижнего и верхнего уровней. Разработана структура паттернов для разных видов датчиков и исполнительных устройств, включающих структурные типы, блоки данных, группы тегов, алгоритмы и экраны процесса. Рассмотрен пример проектирования паттерна для аналоговых датчиков на базе систем Step 7 и WinCC.

Ключевые слова: *автоматизированная система управления, проектирование АСУ ТП, методика паттерна, мониторинг, диспетчерское управление.*

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), как правило, содержат большое количество датчиков и исполнительных устройств, параметры которых настраиваются при пуско-наладочных работах систем автоматизации, а их входные и выходные данные используются для управления технологическим оборудованием, мониторинга и диспетчеризации [1, 2]. Из-за большого количества параметров и данных, а также сложной их взаимосвязи интеграция программных обеспечений нижнего и верхнего уровней автоматизированных систем управления в режиме реального времени представляет определенную трудность.

Во многих случаях разные системы управления отличаются друг от друга только количеством датчиков и исполнительных устройств, что делает целесообразным применение шаблонных проектов, позволяющих адаптировать их для решения конкретных задач. В данной работе создание таких шаблонных проектов предложено осуществить с помощью методики паттерн-проектирования [3], которая основана на принципе деления сложной проблемы на более мелкие.

При создании системы сбора данных и управления на объектах нефтедобычи широко применяются аппаратные и программные средства автоматизации фирмы Siemens: для разработки программного обеспечения нижнего уровня – система Step 7, а верхнего уровня – SCADA-система WinCC [4, 5]. Эти системы взаимно интегрированы с точки зрения организации межуровневого обмена, что значительно упрощает процессы разработки, отладки и запуска систем автоматизации.

В качестве элементов самого низкого иерархического уровня структуры проекта приняты виды датчиков по характеру выходного сигнала и исполнительных устройств по функциональности. В шаблонном проекте нижнего уровня в системе Step 7 для описания характеристик каждого вида датчика или исполнительного устройства созданы пользовательские типы данных UDT_k (рис.1). Поля пользовательского типа для определенного вида датчика или исполнительного устройства содержат входные и выходные данные, а также параметры, которые применяются при реализации алгоритма обработки данных и генерирования управляющих сигналов.

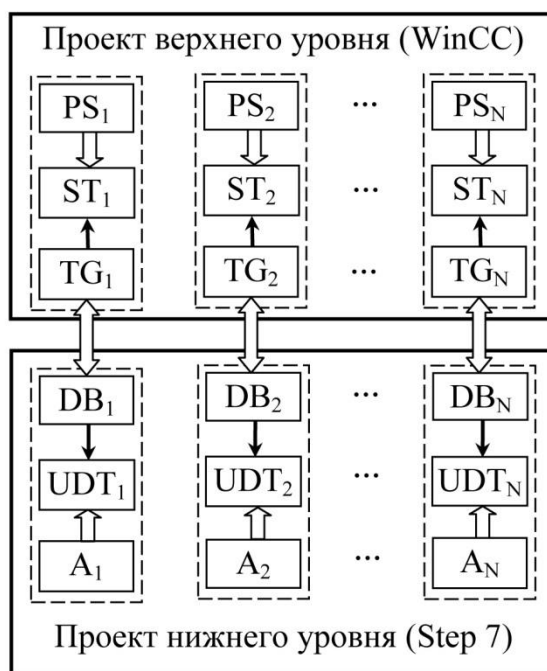


Рис. 1 – Паттерн-структура АСУ ТП:

PS_k – экран процесса; ST_k – структурный тип; TG_k – группа тегов;

DB_k – блок данных; UDT_k – пользовательский тип; A_k – алгоритм;

N – количество видов датчиков или исполнительных устройств; $k=(1...N)$

Следующий уровень структуры шаблонного проекта – организация хранения данных и реализация алгоритма их обработки для группы однотипных датчиков и исполнительных устройств. В программном обеспечении нижнего уровня хранение данных каждой группы реализовано в виде блока данных DB_k , который представляет собой массив объектов структурного типа. Применение блока данных значительно упрощает организацию обмена между программными обеспечениями нижнего и верхнего уровней, так как системы Step 7 и WinCC обладают возможностью обмена блоками данных [5].

Обработка данных однотипных датчиков и исполнительных устройств, а также генерирование управляющих сигналов выполнена с использованием созданных в проекте массивов. Для каждой группы однотипных объектов алгоритм обработки данных A_k реализован в виде функции или функционального блока. В качестве языка программирования выбран язык SCL, так как этот язык программирования позволяет наиболее просто организовать обработку элементов массива с помощью операторов цикла по сравнению с другими языками (LAD, FBD, STL, SFC), поддерживаемыми средой Step 7. Функции и функциональные блоки обработки данных вызываются в операционном блоке OB35, который вызывается с частотой, удовлетворяющей требованиям времени отклика на происходящие изменения в промышленных объектах.

В шаблонном проекте верхнего уровня в системе WinCC для каждого вида датчика и исполнительного устройства также созданы структурные типы ST_k . При этом количество полей структурных типов проекта в системе WinCC равно количеству полей соответствующих пользовательских типов проекта в системе Step 7. Следующим условием обеспечения организации обмена данными между шаблонными проектами в режиме реального времени является соответствие типов данных полей шаблонных проектов нижнего и верхнего уровней. Это решено путем выбора в системе Step 7 типов данных REAL, INT и BOOL и соответствующих им в системе WinCC типов данных FLOAT, WORD и BIT.

В программном обеспечении верхнего уровня для хранения и обработки данных для каждого вида датчика и исполнительного устройства созданы группы структурных тегов TG_k одного типа. В качестве адреса структурного тега выбрано смещение в блоке данных, которое равно смещению элемента массива в программном обеспечении нижнего уровня.

Благодаря такой структуре данных, при их обмене между программными обеспечениями нижнего и верхнего уровней структурным тега соответствуют элементы массива.

Определение структурных данных для каждого вида датчика и исполнительного устройства и реализация алгоритма обработки этих данных связано с их функциональными возможностями и требованиями проекта. Реализацию данной процедуры рассмотрим в примере аналоговых датчиков, которые наиболее широко применяются при автоматизации промышленных объектов.

Для описания характеристик аналоговых датчиков в системе Step 7 создан пользовательский тип, поля которого содержат все эксплуатационные параметры датчика, основные из которых представлены в таблице. Структурный тип для аналоговых датчиков в системе WinCC имеет одноименные поля типов данных FLOAT и BIT, соответствующие типам данных REAL и BOOL в системе Step 7.

Таблица – Основные поля структурных типов для аналогового датчика

Параметры датчика	Имя поля	Адрес поля	Тип поля Step 7	Тип поля WinCC
Текущее значение аналогового сигнала	Val	+0.0	REAL	FLOAT
Минимальное значение допустимого уровня	rAlarmMin	+4.0	REAL	FLOAT
Максимальное значение допустимого уровня	rAlarmMax	+8.0	REAL	FLOAT
Аварийное состояние по минимуму	bAlarmMin	+12.0	BOOL	BIT
Аварийное состояние по максимуму	bAlarmMax	+12.1	BOOL	BIT

Созданный в системе Step 7 для хранения данных аналоговых датчиков и организации обмена между программными обеспечениями нижнего и верхнего уровней АСУ ТП блок данных представляет собой массив элементов пользовательского типа, количество элементов которого соответствует количеству аналоговых датчиков проекта. Адрес структурного тега определяется выбором блока данных для аналоговых сигналов и смещения внутри данного блока, что обеспечивает соответствие тега элементу массива в блоке данных.

Алгоритм обработки аналоговых сигналов в программном обеспечении нижнего уровня реализован в виде функции. Первоначально происходят чтение регистра данных АЦП модуля аналогового ввода и нормализация этих данных. В результате формируется текущее значение аналогового сигнала Val, которое отображается в главном диспетчерском окне. В функции обработки аналогового сигнала также реализована проверка принадлежности значения Val на допустимые уровни rAlarmMin и rAlarmMax, значения которых вводятся во вспомогательном окне верхнего уровня в процессе пуско-наладочных работ. При выходе за пределы аварийных уровней устанавливается один из битов bAlarmMin или bAlarmMax, что отображается в диспетчерском окне визуальными эффектами и появлением аварийного сообщения.

Заключение

Предложенная структура шаблонных проектов в системах Step 7 и WinCC позволяет легко адаптировать их под требования конкретной системы управления, так как в этих проектах уже определены способы хранения данных, функциональность элементов управления и организация обмена между программными обеспечениями нижнего и верхнего уровней. При адаптации шаблонного проекта нижнего уровня для каждого вида датчика и исполнительного устройства определяется количество элементов массива, а для шаблонного проекта верхнего уровня – создаются необходимое количество тегов и определяются их адреса в блоке данных. Использование шаблонных проектов значительно сокращает время разработки и внедрения проекта АСУ ТП, требует меньшей квалификации разработчиков программного обеспечения, что, в конечном счете снижает стоимость проекта.

Список литературы

1. Butuza, R., Nascu, I., Giurgioiu, O., Crisan, R. Automation system based on SIMATIC S7 300 PLC, for a hydro power plant. Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, AQTR 2014, 6857859.
2. Firoozshahi, A. Intelligent and innovative monitoring of LAR GE tank farm based on DCS. Source of the Document Proceedings of the IASTED International Conference on Automation, Control, and Information Technology - Control, Diagnostics, and Automation, ACIT-CDA, 2010, P. 203-210.
3. Khalil, M. Pattern-based methods for model-based safety-critical software architecture design. Lecture Notes in Informatics (LNI), Proceedings - Series of the Gesellschaft fur Informatik (GI), 2013, P. 493-499.
4. Wang, Q.-C., Hu, L.-K. Research on WinCC-based SCADA software for acrylic fibres filature. Huagong Zidonghua Ji Yibiao/Control and Instruments in Chemical Industry. 2006, 33(1), P. 35-38.
5. Бергер Г. Автоматизация посредством STEP 7 с использованием STL и SCL и программируемых контроллеров SIMATIC S7-300/400. – Нюрнберг: Siemens AG Промышленные системы автоматизации, 2010. – 776 с.

05.13.06

В.В. Чекрыгина

Оренбургский государственный университет, факультет информационных технологий,
кафедра системного анализа и управления, Оренбург, veronichka_dusya@mail.ru

МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ (РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ)

В данной работе представлены основные результаты изучения состояния вопроса о принятии решений в условиях неопределенности в редакционно-издательской деятельности. Представлен алгоритм системы для дальнейшего его использования в информационно-интеллектуальной системе допечатной подготовки «Автоматизированный ответственный секретарь» (АОС).

Ключевые слова: *редакционно-издательский процесс, неопределенность и риск, методика принятия решений в условиях неопределенности.*

Ни одно предприятие не обходится без компьютеров, которые содержат различные программы, позволяющие не только ускорять процесс производства, но и существенным образом экономить рабочее время. Особенно это очевидно в работе полиграфических предприятий и издательств. Если еще пятнадцать лет назад газета или книга макетировалась практически вручную и только на специализированной полиграфической технике, то сегодня этот процесс значительно упрощен. Любое издательство, обладая стандартным набором компьютерных программ, может самостоятельно не только макетировать, но и подготавливать печатное издание к процессу производства. Поэтому научные исследования в этой области были всегда актуальны.

Редакционно-издательский процесс (РИП) – это комплекс технологически связанных и взаимообусловленных операций и действий по подготовке издания к печати, выпуску в свет и распространению. Суть РИП сводится к нескольким этапам:

- редакционный этап – предусматривает оценку и редакционную подготовку издательского оригинала к производству;
- издательский этап – включает вычитку и техническое редактирование (техническую разметку) издательского оригинала, подготовку оригинал-макета издания, первые два процесса, как правило, объединяют, рис. 1;
- на производственном этапе происходит набор издания в типографии, выполняются репродукционные работы, печать, брошюровочно-переплетные и отделочные работы;
- маркетинговый этап [1].

Успешное функционирование РИП на сегодня немыслимо без автоматизации различных областей этой деятельности. Рынок компьютерного программного обеспечения для автоматизации РИП развивается уже около 30 лет – с появления настольных издательских систем Desktop Publishing System (DTP). Существующие программные средства имеют высокую себестоимость и применимы для больших предприятий редакционно-издательской деятельности [2].

На сегодняшний день в России государство оказывает поддержку среднему и малому бизнесу, на таких предприятиях работает небольшое количество сотрудников и годовая прибыль невелика. Следовательно, приобретать дорогостоящее программное обеспечение на таких предприятиях нерентабельно.

В условиях рыночного механизма регулирования экономики объективно складываются условия, ведущие к усложнению задач принятия управленческих решений. Расширяются масштабы и разнообразие экономических и социальных процессов, более сложными и разветвленными становятся финансовые, организационные, технические и социальные связи.

Усложнение объектов управления и повышение сложности решаемых задач предъявляют повышенные требования к качеству управленческих решений и к оперативности их принятия и реализации.

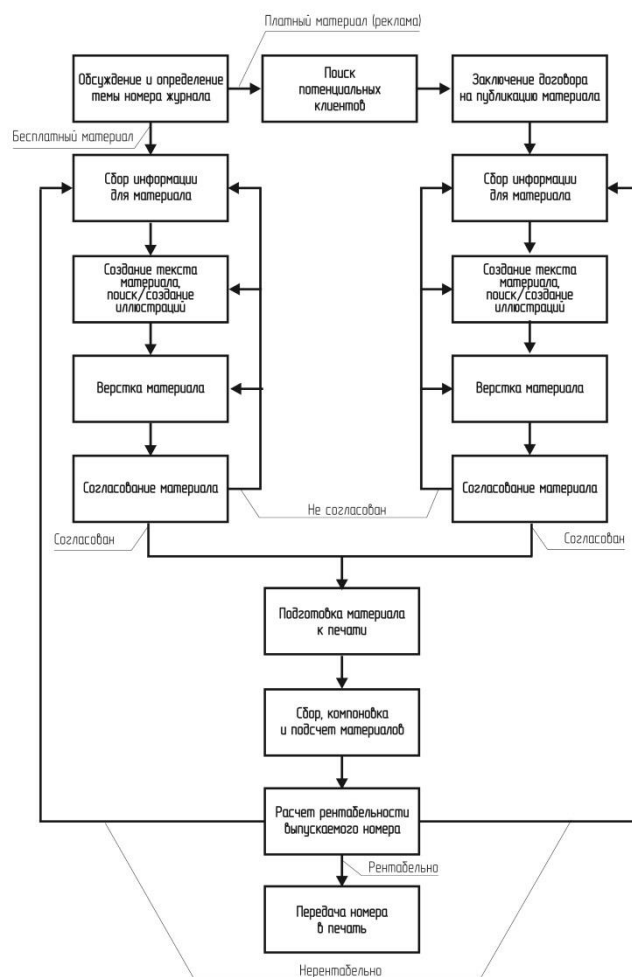


Рис. 1 – Процесс принятия решения передачи номера в печать

В этой связи все большее значение приобретают прогнозирование и предвидение принимаемых решений. И поскольку каждое решение – это проекция в будущее, а будущее всегда содержит элемент неопределенности, то для руководителя важно правильно определить вид неопределенности и учет его в технологии принятия решений.

Эффективное решение – основополагающая предпосылка обеспечения конкурентоспособности продукции и фирмы на рынке. Поэтому проблема принятия эффективных решений в условиях неопределенности стоит весьма остро.

В теории принятия решений используются «разумные» процедуры выбора наилучшей из нескольких возможных альтернатив. Насколько правильным будет выбор, зависит от качества данных, используемых при описании ситуации, в которой принимается решение. С этой точки зрения процесс принятия решений может принадлежать к одному из трех возможных условий: принятие решений в условиях определенности, когда данные известны точно; принятие решений в условиях риска, когда данные можно описать с помощью вероятностных распределений; принятие решений в условиях неопределенности, когда данным нельзя приписать относительные веса (весовые коэффициенты), которые представляли бы степень их значимости в процессе принятия решений [3].

Для управленческих решений характерны и неопределенность, и риск. Неопределенность *присущая управленческому процессу*, весьма затрудняет процесс принятия эффективных решений. Нередко руководителю редакционно-издательской системы приходится готовить управленческие решения в условиях неполной или неточной информации, частых изменений законодательства, неожиданных действий конкурентов и др. В результате возможны непреднамеренные ошибки в управленческих решениях. Фактические результаты решений

не всегда совпадают с запланированными. Таким образом, разработка методики принятия решений передачи номера – единственный на сегодняшний день способ частичного решения проблем неопределенности на малых редакционно-издательских предприятиях.

Для выбора оптимальных решений в условиях неопределенности может применяться аппарат теории игр, предметом изучения которой являются ситуации, когда отсутствует полная информация, необходимая для принятия решения. Надо отметить, что в практике управленческой деятельности типичными являются именно такого рода ситуации.

Суть игры в том, что участник принимает такие решения, которые, как он полагает, обеспечивают ему наибольший выигрыш или наименьший проигрыш. Возможные решения и результаты их принятия отражаются в матрице выигрышей.

Каждое принимаемое решение – это выбор наилучшей из нескольких альтернатив по конкретным, установленным заранее критериям. Использование матрицы выигрышей – это один из методов статистической теории решений, метод, который может оказать помощь в выборе одного из нескольких вариантов. Он особенно полезен, когда нужно установить, какая стратегия в наибольшей степени будет способствовать достижению целей.

Матрица выигрышей – это таблица, в которую заносятся возможные результаты принимаемых решений, в общем виде матрица выигрышей, будет иметь вид, как показано в таблице.

Таблица – Общий вид матрицы выигрышей

	S_1	S_2	...	S_n
x_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}
x_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}
...	...	..	...	...
x_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}

Элементы таблицы f_{ij} интерпретируются как выигрыш, представляют собой денежное вознаграждение или полезность, являющиеся следствием конкретной стратегии в сочетании с конкретными обстоятельствами, т.е. когда лицо, принимающее решение, (ЛПР) выбирает альтернативу x_i , а среда принимает состояние S_j .

В целом матрица выигрышей полезна, когда:

- имеется разумно ограниченное число альтернатив или вариантов стратегии для выбора между ними;
- то, что может случиться с полной определенностью не известно;
- результаты принятого решения зависят от того, какая именно альтернатива выбрана, и какие события в действительности имеют место [4].

Чтобы аргументировать необходимость разработки методики принятия решения, рассмотрим конкретный пример. Пусть требуется принять решение о передачи очередного подготовленного номера в печать. Основным и единственным источником дохода является публикуемый платный материал. Возможно, что спрос на этот товар окажется высоким или на рынке появится подобный товар, и часть клиентов будет потеряна, или содержание бесплатного материала, будет превышать в два-три раза платного материала или вообще разразившийся экономический кризис приведет к невозможности реализовывать товар по цене, компенсирующей затраты на производство. Образовалось несколько вариантов состояний природы в будущем.

Для решения задачи требуются следующие исходные (входные) данные: количество полос в номере, процентное содержание рекламы, стоимость печати; оборотные фонды, стоимость рекламной полосы. Результат решения (выходные данные) – прибыль.

Пусть x_i – возможные варианты количества полос в выпускаемом номере. Количество полос в выпускаемом номере складывается следующим образом: 64 страниц, 72 страниц, 80 страниц, 88 страниц, 96 страниц (должно быть кратным 8).

А S_j – состояние природы. Так как речь идет о принятии решении передачи номера в печать, то природа характеризуется процентным содержанием платной информации. На основании предшествующего, ситуация с наполнением номера платной информации может сложиться следующим образом: на 40% – в самом худшем случае, на 50% – в худшем случае,

на 60% – на основании опыта, на 70% – в лучшем случае, на 80% – маловероятно, но возможный вариант.

Задача состоит в нахождении оптимальной стратегии, которая обеспечит максимально возможный выигрыш независимо от состояния природы. Неопределенные факторы, закон распределения которых неизвестен, являются наиболее характерными при исследовании качества адаптивных систем. Именно на этот случай следует ориентироваться при выборе гибких конструкторских решений. Методический учет таких факторов базируется на формировании специальных критериев, на основе которых принимаются решения. Существует несколько критериев принятия решений, некоторые из них: критерий недостаточных оснований Лапласа, максиминный критерий Вальда, критерий Гурвица, критерий минимаксных потерь Севиджа [5].

В соответствии с критерием Вальда в качестве оптимальной выбирается стратегия, гарантирующая выигрыш не меньший, чем «нижняя цена игры с природой». Выбранное таким образом решение полностью исключает риск. Это означает, что принимающий решение не может столкнуться с худшим результатом, чем тот, на который он ориентируется. Однако в практических ситуациях излишний пессимизм этого критерия может оказаться очень невыгодным.

Применение этого критерия может быть оправдано, если ситуация, в которой принимается решение, характеризуется следующими обстоятельствами: о вероятности появления состояния S_j ничего не известно; с появлением состояния S_j необходимо считаться; реализуется лишь малое количество решений; не допускается никакой риск.

Критерий Байеса-Лапласа, в отличие от критерия Вальда, учитывает каждое из возможных следствий всех вариантов решений.

Данный критерий предъявляет к ситуации, в которой принимается решение, следующие требования: вероятность появления состояния S_j известна и не зависит от времени; принятое решение теоретически допускает бесконечно большое количество реализаций; допускается некоторый риск при малых числах реализаций.

В соответствии с критерием Севиджа в качестве оптимальной выбирается такая стратегия, при которой величина риска принимает наименьшее значение в самой неблагоприятной ситуации.

Согласно критерию Гурвица выбирается такая стратегия, которая занимает некоторое промежуточное положение между крайним пессимизмом и оптимизмом, где α – коэффициент пессимизма, выбираемый в интервале $[0,1]$.

При $\alpha = 1$ критерий Гурвица превращается в критерий Вальда (пессимиста), а при $\alpha = 0$ – в критерий азартного игрока. Отсюда ясно, какое значение имеет весовой множитель α . В технических приложениях правильно выбрать этот множитель бывает так же трудно, как правильно выбрать критерий. Поэтому чаще всего весовой множитель $\alpha = 0,5$ принимается в качестве средней точки зрения.

Критерий Гурвица предъявляет к ситуации, в которой принимается решение, следующие требования: о вероятности появления состояния S_j ничего не известно; с появлением состояния S_j необходимо считаться; реализуется лишь малое количество решений; допускается некоторый риск [3].

Сегодня предпринимателю необходимо быть вооруженным научными методами управления и планирования. В данной работе представлена попытка экспонировать возможности использования математической теории принятия решений в практике планирования предпринимательской деятельности.

Важнейшей задачей современного производства является использование высокоэффективных технических систем. Каждое предприятие стремится поддерживать мировые тенденции – ориентации на инновации, научные разработки. Любую деятельность можно рассматривать как производство, несмотря на то, какие виды продуктов и услуг предлагаются к использованию. При автоматизации редакционно-издательской сферы, необходимо учитывать, что в производстве заняты творческие люди, у которых восприятие и

передача информации происходит иначе, чем у специалистов технических профессий. В связи с этим при создании автоматизированной системы, необходимо учитывать особенности творческого процесса.

Важно осознавать, что помимо факторов препятствующих творческому процессу на предприятии, существует еще бюрократия, специализация и сроки. В совокупности все это может привести к уничтожению духа исследования и игры, так необходимого для творческого процесса [2].

За счет разработки алгоритма для ведения точного и четкого потока информации при создании журнала происходит экономия рабочего времени на выполнение однообразных операций, связанных с подготовкой документов, и возможности больше времени уделять решению творческих.

Составленный алгоритм, представлен на рис. 2, информационно-интеллектуальной системы позволяет на 30 % увеличить объем выпуска при минимальном штате сотрудников, позволяет объединить комплекс рабочих мест, таких как, редактор, менеджер, журналист, фотокорреспондент, дизайнер-верстальщик.

В результате использования алгоритма выявлены преимущества: снижается трудоемкость выполняемых работ; представление наглядной информации повышает удобство и производительность издательского процесса; повышается надежность хранения информации.

Предложенная архитектура позволяет более четко структурировать информационную систему и предоставляет возможность разработать специализированное информационное и программное обеспечение АСУТП, информационно-интеллектуальную систему допечатной подготовки «Автоматизированный ответственный секретарь» (АОС) [6].

Подводя итоги, можно отметить, что развитие современных компьютерных технологий нашло отражение во всех сферах жизнедеятельности общества. Результаты исследования имеют ценность для малых предприятий редакционно-издательской деятельности. Работа представляет собой законченное научное исследование, тем не менее, основные ее выводы могут стать основой для дальнейшего развития.

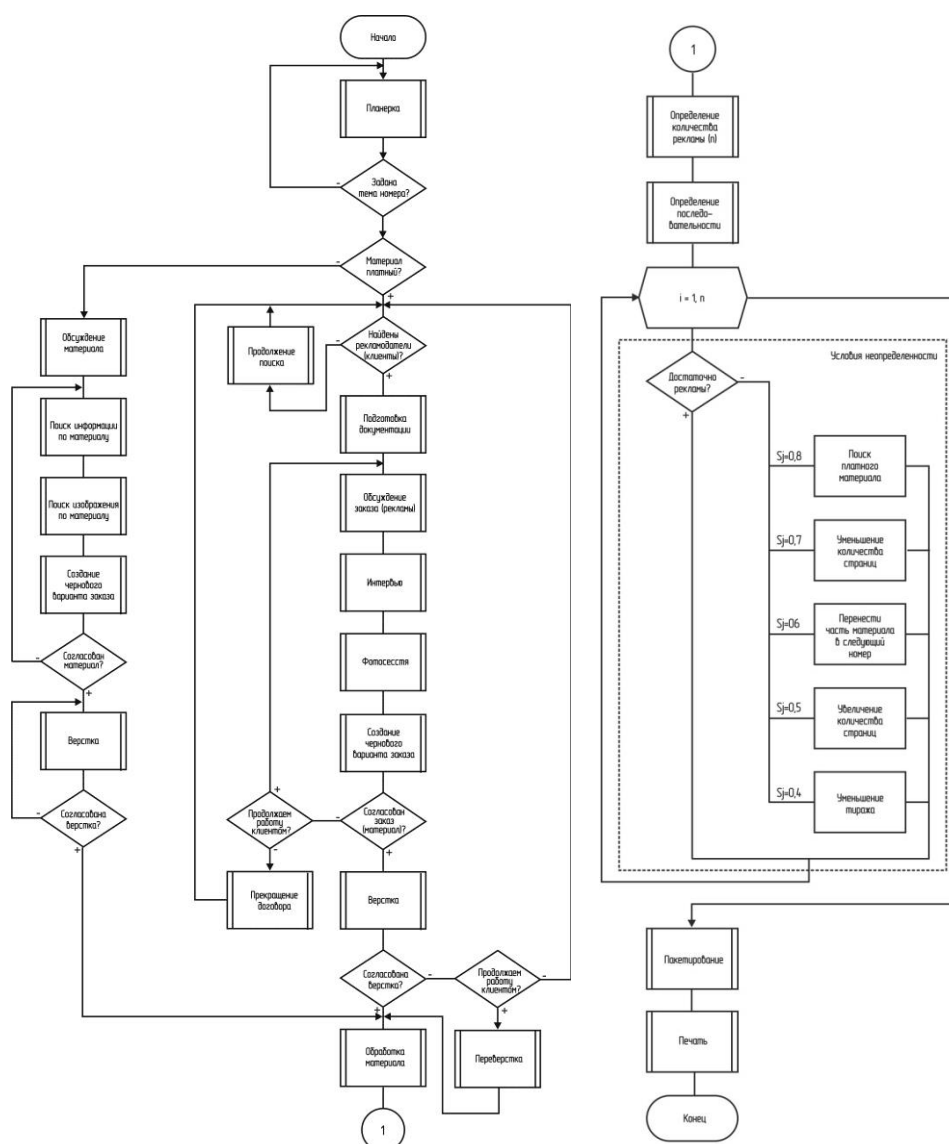


Рис. 2 – Алгоритм автоматизированной системы АОС

Список литературы

1. Гуревич, С.М. Газета: вчера, сегодня, завтра, учебное пособие для вузов – М. : Аспект Пресс, 2004. – 53 с.
2. Чекрыгина В.В., Шерстобитова В.Н. Особенности творческого процесса, всероссийская молодежная конференция «Инновационные технологии в машиностроении» (ИТМ-2011). Сборник докладов – М. : МГТУ «Станкин», 2011. – 136 с.
3. Блюмин С.Л., Шуйкова И.А. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 89 – 108 с.
4. Коробко А.Н. Совершенствование процесса принятия предпринимательских решений в условиях неопределенности: диссертация – Ульяновск, 1999. – 104 с.
5. Мосина В.И. Основы экономического и социального прогнозирования / под ред. – М.: Высшая школа, 1985. – 142 с.
6. Чекрыгина В.В., Тарасов В.Н., Шерстобитова В.Н. Автоматизация процесса допечатной подготовки издания научный журнал Вестник Самарского Государственного Технического Университета. Серия «Технические науки» – 2013. – №37 (1). С. 34–41.

05.23.05

В.А. Шаманов, С.В. Леонтьев, В.А. Голубев к.т.н., В.А. Харитонов д.т.н.

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
строительный факультет, кафедра строительного инжиниринга и материаловедения,
cems@cems.pstu.ru

КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ГАЗОБЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

В работе рассмотрены основные методы оптимизации и управления технологическим процессом производства автоклавного газобетона. Показано, что синтез методов математического планирования эксперимента и комплексного оценивания, предлагаемый авторами, является актуальным и перспективным в данной области исследования. Предложенная концепция может служить основой для разработки комплексной модели интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении производством газосиликата.

Ключевые слова: газосиликат, управление, оптимизация, технология, планирование эксперимента, комплексная оценка, концепция.

Стабильность производства строительных материалов различного назначения высокого качества зависит от многих, в том числе и технологических, параметров. Избежать появления критических ситуаций, способных привести к снижению качества готовой продукции или даже выпуску брака, возможно путем оперативного управления технологическим процессом, который, как правило, состоит из множества переделов. Именно этим обстоятельством ощутимо усложняются нештатные ситуации, возникающие при производстве любых строительных материалов. Не является исключением и такой строительный материал, как автоклавный газобетон (АГБ), который получил широкое распространение в последнее время.

Процесс производства газосиликата является сложным, состоящим из множества элементарных операций, постов и переделов. Изменение любого параметра (входного или управленческого) повлечет за собой изменение качества готового продукта. Ситуация усложняется поставками сырья нестабильного качества, в связи с чем изменение параметров технологии, например, времени набора пластической прочности, или расхода компонентов, должно осуществляться оперативно [1].

В таких условиях принятие решений, основанных на имеющемся опыте персонала, являются, как правило, малоэффективными. Более того, в силу особенностей своего организма, человек не может удерживать в поле своего зрения более 3-4 управленческих факторов одновременно, прогнозируя при этом последствия изменений.

Таким образом, становится очевидным необходимость в новом подходе к управлению технологическим процессом производства газосиликата, основанном на систематизации знаний и накопленного опыта, реализованном в системе интеллектуальной поддержки принятия решений (ИППР).

На сегодняшний день наибольшую популярность при установлении зависимостей характеристик готового продукта от различных производственных факторов имеют методы математического планирования эксперимента. Они основаны на методах дисперсионного анализа, совмещенных с факторным планированием. Однако особенностью такого эксперимента является необходимость в постановке большого числа опытов.

Другой вариант оптимизации производства, как многокритериальной системы, связан с применением широко известного в экономической сфере метода комплексного оценивания («свёртки») [2]. Наибольшую популярность в последнее время получили матричные

процедуры комплексного оценивания, в которых существует набор частных показателей, измеряемых в дискретной шкале, сворачиваемых попарно, а агрегированные значения определяются так называемыми «матрицами свёртки».

Перспективным в данном случае можно считать объединение двух и более методов, удачно дополняющих друг друга [3]. Синтез методов математического планирования эксперимента и комплексного оценивания, предлагаемый авторами, можно обосновать следующими концептуальными положениями:

1. Методы математического планирования эксперимента позволяют получать при небольшом количестве опытов адекватные отклики при одновременном изменении нескольких факторов. Однако, оптимизация получаемой многопараметрической системы в таком случае затруднительна.

2. В традиционных методах комплексного оценивания реализован аналитический подход к решению задач выбора предпочтений, что не позволяет их использование при оптимизации и управлении технологическими процессами.

3. Синтез этих методов позволит проводить оптимизацию множества показателей качества строительных материалов, сведенных к одному критерию.

Рассмотрим технологический процесс производства АГБ с точки зрения композиции частных задач: анализа и оценивания качества продукции, многокритериальной оптимизации и оперативного управления в заданном диапазоне уравнений при известной динамике характеристик поставляемого сырья. На рис. 1 приведена обобщенная модель оптимизации технологического процесса производства автоклавного газобетона.

В общем случае технологический процесс производства АГБ состоит из таких операций, как определение качества сырьевых компонентов – X_i , управление параметрами технологии (дозирование, перемешивание, выдержка, автоклавирование и пр.) – U_i , контроль качества готового продукта (показатели прочности, плотности и пр.) – Y_i . Также при принятии решений нужно учитывать различные типы предпочтений – r .

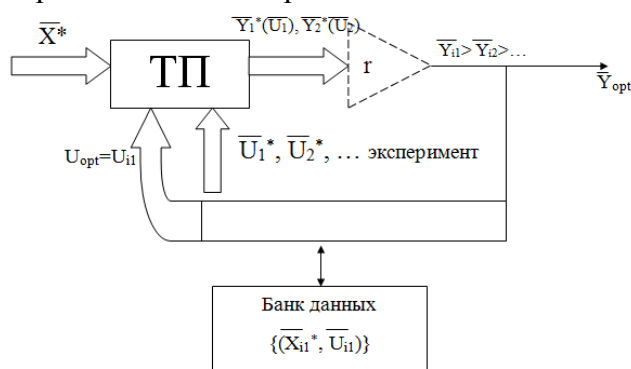


Рис. 1 - Концептуальная модель производства АГБ при стабильном качестве исходного сырья

Рассмотрим различные сценарии управления технологическим процессом в условиях нестабильности качества поставляемого сырья.

При условном постоянстве качества исходных компонентов характеристики готового продукта будут зависеть лишь от параметров технологии (U_i), устанавливаемых экспериментальным путем. При этом основной задачей планирования эксперимента будет являться оптимизация качества готового продукта при варьировании наиболее значимых технологических факторов.

Если при изменении характеристик сырья комплексная оценка качества готового продукта ухудшается (рис. 2), то необходимо произвести корректировку факторов управления технологическим процессом. При этом определение изменений в управлении осуществляется с помощью математической модели, имеющейся в базе данных, с использованием методов аппроксимации.

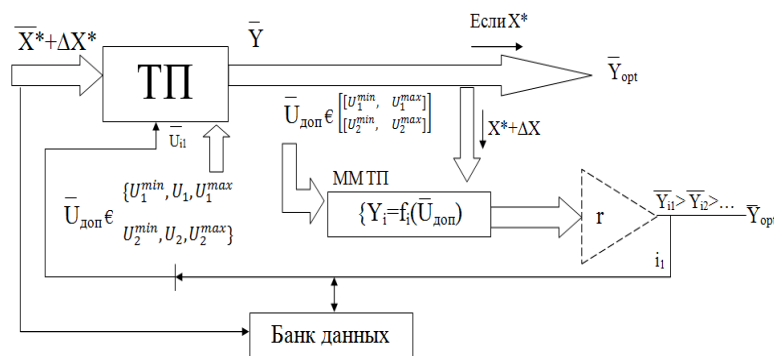


Рис. 2 – Концептуальная модель производства автоклавного газобетона при изменении качества исходного сырья

В случае, когда ухудшение комплексной оценки качества готовой продукции не удастся компенсировать за счет корректирующего управления, в первую очередь необходимо рассматривать вопрос об изменении входных технологических параметров.

Необходимо отметить, что для понижения размерности задачи регрессионного анализа необходимо прибегнуть к декомпозиции исходной модели на частные ступени управления (технологические посты). При детальном рассмотрении технологической цепочки, представленной на рис. 3, становится очевидным, что наибольшее влияние на качество готового продукта, при прочих равных условиях, будет оказывать качество исходных компонентов и их дозировки.

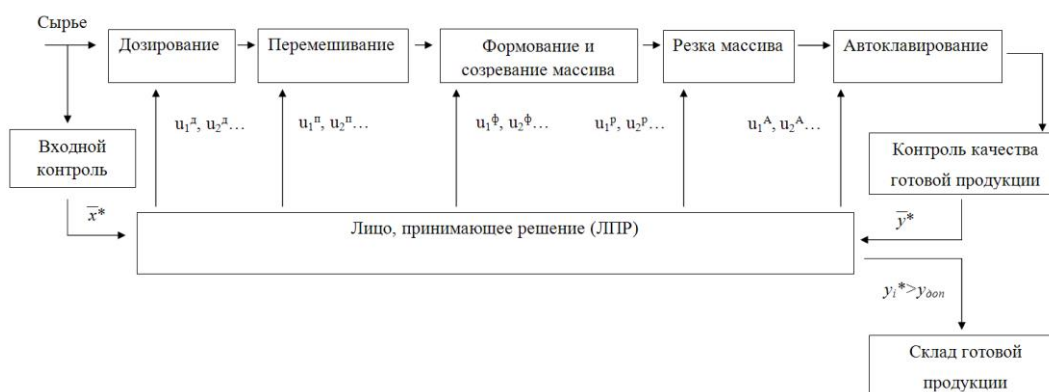


Рис. 3 – Схема управления процессом производства изделий из АГБ

Это же обстоятельство подкрепляется многолетними исследованиями зависимости «состав – структура – свойства» в области АГБ: в первую очередь, в том числе и в условиях производства, стабилизация качества готового продукта производится за счет изменения расхода основных компонентов смеси: цемента, извести, песка, воды и специальных добавок.

В заключении следует отметить, что предложенную концепцию можно рассматривать в качестве основы для разработки комплексной модели ИППР при управлении производством газосиликата. В таком случае оперативное управление производством автоклавного газобетона будет осуществляться по обобщенному критерию качества с возможностью выбора наиболее значимых и эффективных воздействий на технологический процесс его изготовления, что обеспечит стабильность характеристик выпускаемой продукции.

Список литературы

1. Опыт получения автоклавного теплоизоляционного газобетона / С.В. Леонтьев [и др.] // Вестник ЮУрГУ. Строительство и архитектура. 2014. Том 1. № 1. С. 46-48.
2. Проблема ранжирования теплоизоляционных строительных материалов [Электронный ресурс] / С.В. Леонтьев [и др.] // Master's Journal. 2013. №2. С. 193-201.
3. Интеллектуальные технологии обоснования инновационных решений: монография / В.А. Харитонов [и др.]; под науч. ред. В.А. Харитонova. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 342 с.

05.16.09

В.Г. Шibaков, Д.А. Халиков, М.Н. Гончаров

Набережночелнинский институт КФУ, строительное отделение,
кафедра Промышленного, гражданского строительства и строительных материалов,
Набережные Челны, dinar.inc@mail.ru

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ БАНКОВ ДАННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Приводится информационная модель теплоизоляционного материала, в которой последовательно приводятся данные о технологических и эксплуатационных свойствах, а также сведения о типовой и прогрессивной обработке материала позволяющей улучшить доминирующие функциональные свойства. Использование модели при формировании банка данных в виде многовходной, многоуровневой информационно-логической таблицы дает возможность принятия рациональных конструкторско-технологических решений в автоматизированных системах проектирования.

Ключевые слова: информация, модель, технологические, эксплуатационные свойства теплоизоляционных материалов.

Малоинформативные условные обозначения строительных материалов затрудняют поиск и принятие рациональных решений при проектировании, особенно в автоматизированном режиме, зданий и сооружений. Этот недостаток преодолевается, если необходимую для проектирования информацию о технологических и эксплуатационных свойствах материалов соответствующим образом структурировать, а именно создать информационную модель пригодную для автоматизированных банков данных.

При формировании банка данных строительных материалов возникает необходимость рациональной компоновки информации, обеспечивающей не только ее компактное расположение, но и возможность оптимизации проектных решений.

Обобщающей структурой компоновки данных являются многоуровневые многовходные таблицы, так как остальные варианты (многоуровневые с одним входом, одноуровневые с одним входом) являются их частным случаем[1,2].

Входами таблиц являются многоуровневые условия – на первом уровне совокупность условий X, Y , а на следующих – классы условий X_{ij}, Y_{gk} и их конкретные значения - A_{ij}, B_{gk} .

Связь между классами условий и их значениями может быть задана отношениями $\alpha: =, <, \leq, \geq, C, \dots$, или булевыми переменными O, I .

Такая иерархия условий по сути своей является деревом, вершины которого изоморфны классам условий, а ребра – их конкретные значения A_{ij}, B_{gk} с отношением α (рис.1).

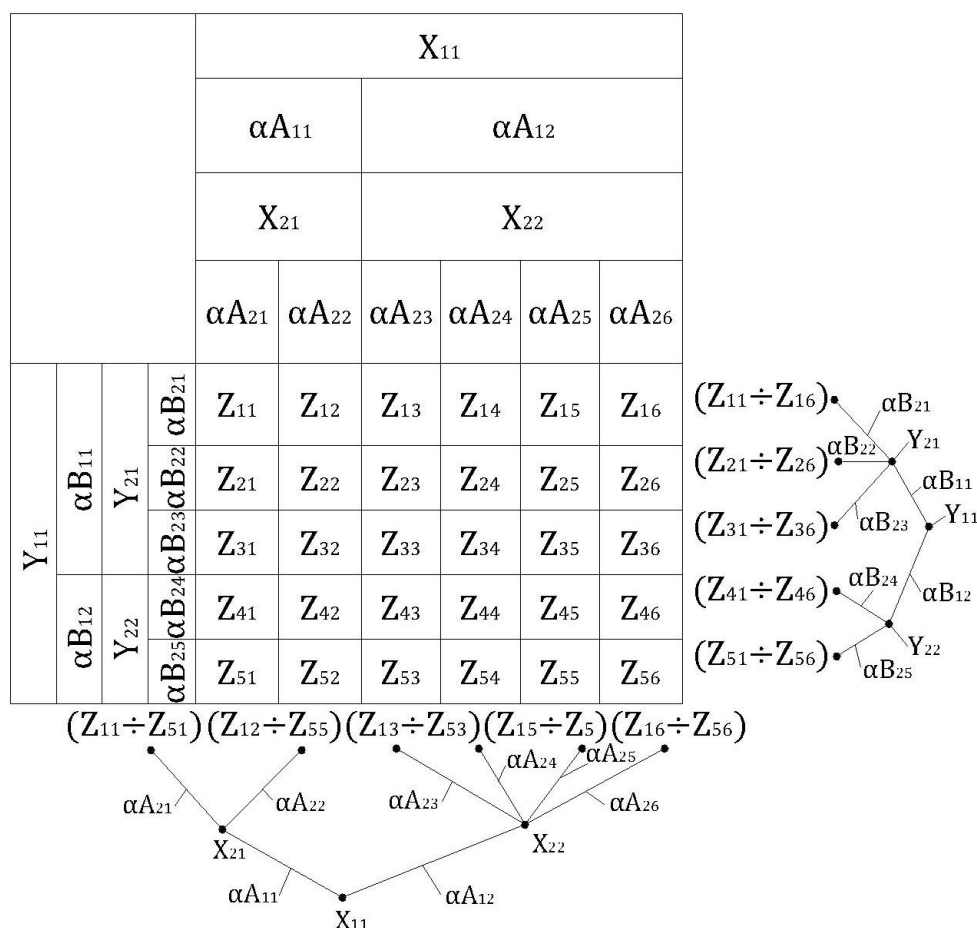


Рис. 1- Информационно – логическая таблица и соответствующие ей граф-деревья структуры условий выбора

Условия по каждому входу задаются лингвистическими формулировками или алфавитно – цифровым кодом. В качестве конкретных значений А,В могут быть использованы: понятия, цифра, группа, шифр, интервал значений, коды, группы кодов или аналитическое выражение, которое нужно вычислить.

Решения Z, отвечающие заданным условиям А,В располагаются в клетках таблицы, образованных пересечением соответствующих столбцов и строк. Решения могут быть идентичны понятиям условий или являются операторами отсылки к другим информационно – логическим таблицам.

Стандартная программа, основанная на использовании информационных таблиц описанной структуры, позволяет выявлять искомое решение, которое определяется на пересечении строк и столбцов таблицы. Выбор соответствующей строки и столбца производится поиском пути на дереве условий по входам X,Y, отвечающим конкретным условиям задачи. С этой целью просматриваются и сравниваются коды заданного понятия с кодами понятий или условий таблицы, расположенными после разделительных признаков.

В случае совпадения заданного понятия с одним из условий таблицы последнее выделяется и служит исходным для продолжения поиска на следующем уровне. Такая процедура повторяется до момента выделения строки и столбца таблицы с искомыми решениями.

С учетом изложенного, данные о строительных материалах на примере теплоизоляционных могут быть представлены в виде информационной таблицы 1.

Таблица - Информационно – логическая таблица кодов классификации и свойств теплоизоляционных материалов.

Код материала		Наименование показателя	Класс показателя		Условное обозначение	Значение показателя	Особые условия
P ₁₁	P ₁₁₁	Теплопроводность, Вт/ (м•К)	Низкой теплопроводности		А	<0,06	
	P ₁₁₂		Средней теплопроводности		Б	от 0,06 до 0,115	
	P ₁₁₃		Повышенной теплопроводности		В	от 0,115 до 0,175	
P ₁₂	P ₁₂₁	Жесткость (относительная деформация, в %) при удельной нагрузке, кН/м²	Мягкие		М	Более 30%	1,96 кН/м²
	P ₁₂₂		Полужесткие		П	6-30%	1,96 кН/м²
	P ₁₂₃		Жесткие		Ж	до 6%	1,96 кН/м²
	P ₁₂₄		Повышенной жесткости		ПЖ	до 10%	3,92 кН/м²
	P ₁₂₅		Твердые		Т	до 10%	9,8 кН/м²
P ₁₃	P ₁₃₁	Плотность (средняя плотность в сухом состоянии)	Особолегкие (1 группа)		ОЛ ₁	Марки от 15 до 100	
	P ₁₃₂		Легкие (2 группа)		ОЛ ₂	от 125 до 350	
	P ₁₃₃		Тяжелые (3 группа)		ОЛ ₃	от 400 до 600	
P ₁₄	P ₁₄₁	Структура	Волокнистые	Минераловатные	В _М		
	P ₁₄₂			Стекловолоконные	В _С		
	P ₁₄₃		Зернистые	Перлитовые	З _П		
	P ₁₄₄			Вермикулитовые	З _В		
	P ₁₄₅		Ячеистые	Пено-стекло	Я _П		
	P ₁₄₆			Пенобетон	Я _Б		
	P ₁₄₇		Сыпучие		С _П		
P ₁₅	P ₁₅₁	Возгораемость	Несгораемые		НС		
	P ₁₅₂		Трудногораемые		ТС		
	P ₁₅₃		Сгораемые		СГ		

С целью сокращения времени поиска решения характеристики материала в таблице записываются в порядке убывания их важности, вначале главные, а затем второстепенные (структура, стоимость). При принятии решений в этом случае, если наиболее важное условие не выполняется, то остальные не проверяются, а рассматривается следующее решение.

Объекты в таблице следует располагать в порядке возрастания или убывания оценочной функции – теплоизоляционные свойства и т.д.

С учетом этого на рис.2 представлена структура кода теплоизоляционного материала, являющаяся его информационной моделью, которая в компактной форме отображает его служебные и технологические свойства.

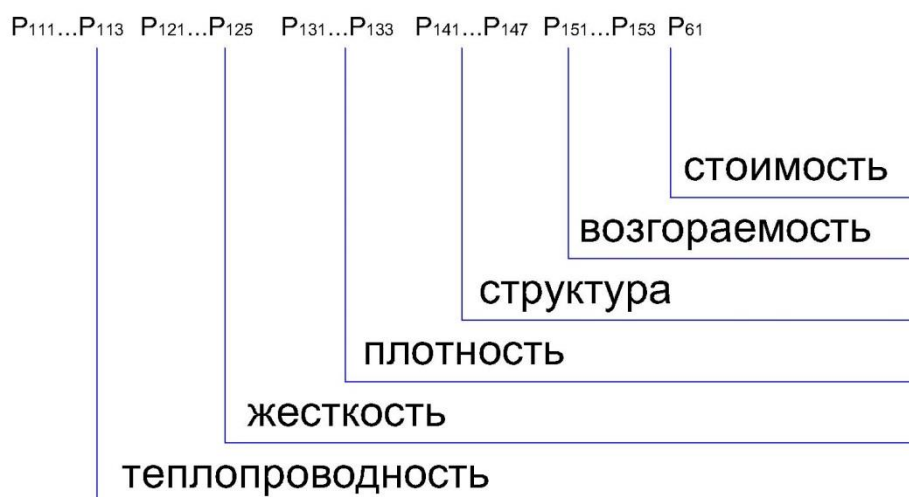


Рис. 2- Структура кода теплоизоляционного материала

Исходя из неё, запись $P_{111}, P_{121}, P_{131}, P_{141}, P_{151}$ является кодом теплоизоляционного материала низкой теплопроводности, мягкого, особолегкого первой группы, минераловатного, негорючего.

Табличные алгоритмы выбора объектов логичны, просты, наглядны и легко обозримы. Расширение таблиц при увеличении количества анализируемых объектов или их адаптации к конкретным условиям не вызывают необходимости переделки основной программы, что создает благоприятные предпосылки для автоматизации принятия рациональных конструкторских и технологических решений.

Список литературы

1. Цветков В.Д. Система автоматизации проектирования технологических процессов.- М.: Машиностроение, 1972. – 240 с.
2. Шibaков В.Г. Интеллектуальная система формирования технологических процессов штамповочного производства на основе CALS-технологий. М.: Academia, 2011. – 220 с.
3. Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петухова Е.Ю. Теплоизоляционные материалы и конструкции: учебник. Издательство «Инфра-М», 2003. – 268 с.

05.13.16

¹А.В. Щеголев, ²А.И. Сердюк д.т.н., ³А.И. Сергеев к.т.н.¹ЗАО «Механический завод», Орск, andrejshegolev@yandex.ru²Оренбургский государственный университет, аэрокосмический институт,
г. Оренбург, sap@mail.osu.ru³Оренбургский государственный университет, кафедра систем автоматизации производства,
г. Оренбург, alexandr_sergeew@mail.ru

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПРОЦЕССА ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКИ

В работе представлена методика анализа процесса глубокой вытяжки. Предложенная методика позволяет заменить этап уточнения технологических режимов и изготовления опытных образцов матрицы и пуансона компьютерным моделированием.

Ключевые слова: глубокая вытяжка, компьютерное моделирование, пуансон, матрица.

Одним из путей повышения производительности труда рабочих и эффективности работы предприятия в целом является автоматизация технологических процессов и производств, что влечет за собой внедрение новых технологий и автоматизированного оборудования. Для оценки стратегических решений на уровне предприятия, принимаемых в процессе проектирования или переоборудования существующего производства, применяется имитационное моделирование [1].

При решении проблем более низкого уровня сокращение материальных, финансовых и временных затрат на опытно-промышленное производство, отладку и доработку технологических процессов и конструкций достигается применением специализированных систем моделирования и инженерного анализа.

Одной из таких проблем является разработка технологических режимов выполнения операций глубокой вытяжки при изготовлении стальных баллонов высокого давления. Традиционный подход к разработке технологии и технологического инструмента приводит к увеличению сроков запуска в производство нового изделия и затратам предприятия на материалы заготовок и на изготовление пробных образцов вытяжного инструмента. Для сокращения финансовых и временных затрат, вызванных данной проблемой, разработана методика анализа процесса глубокой вытяжки.

Чтобы оценить эффективность производственного процесса изготовления стальных баллонов высокого давления было выполнено его моделирование в программном комплексе DEFORM-3D. В процессе моделирования проведены вычислительные эксперименты для оценки влияния на результаты моделирования сил трения, скорости движения пуансона, величины шага решения, выполнена проверка адекватности полученных геометрических размеров модели стального баллона на основе сравнения с результатами замеров готового изделия.

Проведенные исследования позволяют сформулировать методику анализа процессов глубокой вытяжки. Данная методика представляет собой формализованный метод построения автоматизированной системы технической подготовки производства баллонов высокого давления методом глубокой вытяжки.

Описание этапов методики представленной в виде UML-диаграммы деятельности на рисунке 1. Первым шагом является разработка трехмерных моделей инструмента (матрицы и пуансона) и заготовки (кружок) [2]. Следующий шаг – подготовка разработанных моделей инструмента и заготовки в формате STL. Так как были выявлены определенные проблемы с точностью получения модели в STL-формате напрямую из САПР, то предложено использовать дополнительное программное обеспечение, специально разработанное для поверхностного моделирования, через обменный формат STEP. Полученные модели затем

позиционируются в рабочей области системы моделирования.

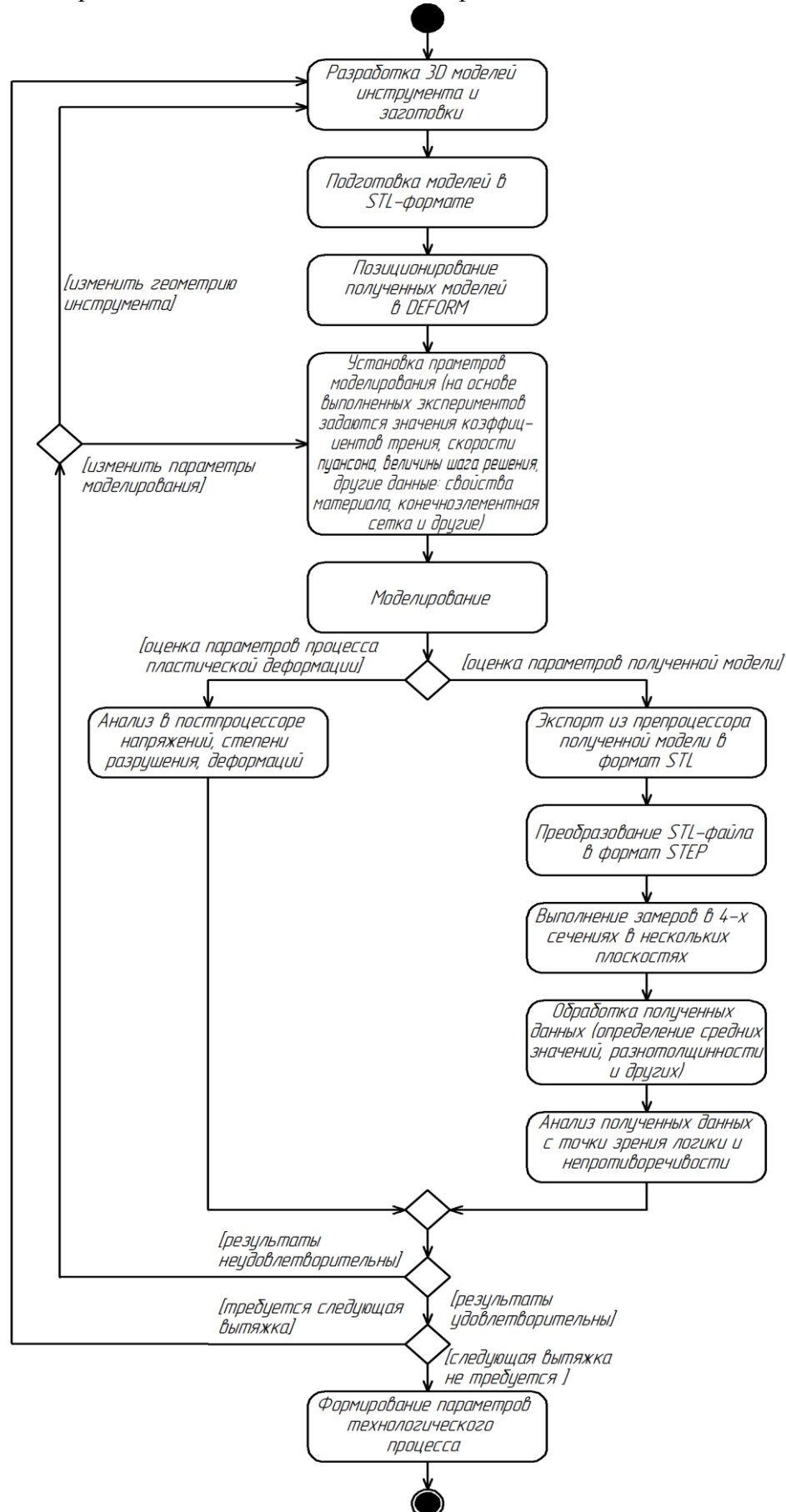


Рисунок 1 – Методика методики анализа процесса глубокой вытяжки

Далее выполняется настройка параметров моделирования – задаются значения коэффициентов трения, скорость перемещения пуансона, величина шага решения, свойства материала [3], создается конечно-элементная сетка заготовки, задаются другие необходимые параметры.

Основной отличительной особенностью предлагаемой методики является способ оценки результатов моделирования. Традиционно оцениваются параметры процесса обработки металлов давлением, например такие как напряжения, степень деформации, степень разрушения. Инструменты, предоставленные системой для оценки геометрических размеров, позволяют выполнить лишь простые измерения по точкам конечно-элементной сетки.

Поэтому единственной возможностью оценить геометрию полученной модели изделия по нескольким видам в различных сечениях является экспорт ее в формат, доступный для открытия в САПР. После открытия модели в САПР производятся необходимые замеры в различных плоскостях и сечениях. Чтобы нивелировать влияние неравномерности построения конечных элементов, выполняется обработка полученных результатов: определяются средние значения, максимальные и минимальные значения, разнотолщинность. После обработки полученных данных выполняется анализ с точки зрения логики и непротиворечивости результатов с целью выявления некорректных параметров моделирования. Если полученные результаты удовлетворяют требованиям конструкторско-технологической документации, то выполняется формирование параметров технологического процесса глубокой вытяжки, в противном случае вносятся корректировки как в параметры моделирования, так и, возможно, в геометрию инструмента.

Таким образом, разработанная методика позволяет на этапах создания технологических процессов глубокой вытяжки и вытяжного инструмента исключить некорректные решения, полученные расчетным путем с использованием эмпирических коэффициентов, имеющих широкий диапазон значений. Внедрение предложенной методики позволит сократить время запуска в производство новых изделий и затраты на доработку технологии и инструмента.

Список литературы

1. *Сергеев, А.И.* Алгоритмы моделирования работы производственной системы / А.И. Сергеев, А.Н. Гончаров // СТИН. 2012. № 6. С. 2-5.
2. *Щеголев, А.В.* Автоматизация расчетов кружка для операции глубокой вытяжки / Щеголев А.В., Овечкин М.В. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: www.science-education.ru/120-15632 (дата обращения: 28.03.2015).
3. *Лысов, В.А.* Графоаналитическое моделирование динамики механических свойств металлов в технологических процессах изготовления глубокой вытяжкой / В.А. Лысов, А.И. Сердюк, О.В. Шевченко, А.В. Щеголев // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2012. № 4. С. 46-53.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

О.В. Вечер, Е.И. Дискаева, Е.И. Камениченко
ТЕПЛООБМЕН В РЕЖИМЕ ПУЗЫРЬКОВОГО
КИПЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ДВУХ
НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ

Ключевые слова: теплообмен, несмешивающиеся
жидкости, пузырьковое кипение.

*Проведен теоретический анализ теплообмена при
кипении на границе раздела двух жидких фаз.
Предложены методы оценки плотности теплового
потока по величине перегретого слоя жидкости и
переохлажденного слоя расплава и суммарному
температурному напору в них.*

В.В. Дружинин, А.А. Лазарев
АНАЛИЗ РАЗМЕРА ПИРАМИДЫ ГИЛЬБРАЙТА В
ТЕОРИИ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ

Ключевые слова: простые числа, пирамида
Гильбрайта.

*Решается вопрос о размерах пирамид Гильбрайта
построенных из разностей простых чисел по модулю.
Анализ показывает, что (ранее нерешенный вопрос)
размер пирамиды на простых числах может быть
любым.*

В.В. Дружинин, И.Р. Смагин, Н.О. Хромов
ПРИЗНАКИ ДЕЛИМОСТИ НА ПРОСТЫЕ ЧИСЛА

Ключевые слова: простые числа, детерминантный
признак делимости.

*Используется детерминантный признак делимости
для получения конкретных простых формул
делимости на первые 25 простых чисел с учетом
размерности делимого. Показаны способы
применимости этих признаков.*

В.А. Евдокимова, С.В. Ланкин
СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИНОПТИЛОЛИТА
В ПРОЦЕССЕ ЕГО ДЕГИДРАТАЦИИ

Ключевые слова: клиноптилолит, рентгеновская
дифрактометрия, дифференциально-термическая и
термогравиметрическая кривые, ИК-спектр,
интенсивность диагностического максимум.

*В работе представлены исследования
термостойкости природных клиноптилолитов
Вангинского месторождения Амурской области
методами рентгеновской дифрактометрии, ИК-
спектроскопии, дифференциально-термического и
термогравиметрического анализов. Показано влияние
процесса дегидратации на изменение параметров
кристаллической структуры минерала.
Рекомендованы оптимальные режимы обезвоживания
Вангинских цеолитов для активации их сорбционных
свойств.*

К.В. Остапович, А.Р. Абдуллаев
О КВАЗИНИЛЬПОТЕНТНОСТИ ПРОИЗВЕДЕНИЯ
ЛИНЕЙНЫХ ОПЕРАТОРОВ

Ключевые слова: банахова алгебра,
квазинильпотентный оператор, спектр,
спектральный радиус.

O.V. Vecher, E.I. Discaeva, E.I. Kamenichenko
HEAT-TRANSFER AT NUCLEATE BOILING ON AT
THE INTERFACE OF TWO LIQUID PHASES

Keywords: heat transfer, immiscible liquid, nucleate
boiling.

*The theoretical analysis of boiling heat transfer at the
interface of two liquid phases. Proposed methods of
estimating heat flux density on the value of the
superheated liquid and super cooled layers of the melt
and the total thermal power in them.*

V.V. Druzhinin, A.A. Lazarev
ANALYSIS OF THE SIZE OF THE PYRAMID OF
GILBRAITH IN THE THEORY OF PRIME
NUMBERS

Keywords: Prime numbers, the pyramid of Gilbraith.
*The issue of the size of the pyramids of Gilbraith built
from differences of primes modulo. The analysis shows
that (previously unresolved issue) the size of the pyramid
on Prime numbers can be anything.*

V.V. Druzhinin, I.R. Smagin, N.O. Khromov
DIVISIBILITY RULES FOR PRIME NUMBERS
Keywords: Prime numbers, determinate divisibility.
*Used determinantal divisibility to obtain specific simple
formulas divisibility on the first 25 Prime numbers taking
into account the dimension of the dividend. Shows how
the applicability of these signs.*

V.A. Evdokimova, S.V. Lankin
STRUCTURAL CHANGES OF CLINOPTILOLITE IN
THE PROCESS OF DEHYDRATION

Keywords: clinoptilolite, x-ray diffraction, differential
thermal and thermogravimetric curves, IR spectrum, the
intensity maximum diagnostic.

*In work researches of thermal stability of natural
clinoptilolite of the Vanginsky field of the Amur region
are presented by methods of a x-ray diffractometry, IR-
spectroscopy, differential and thermal and
thermogravimetric analyses. Influence of process of
dehydration on change of parameters of crystal structure
of a mineral is shown. The optimum modes of
dehydration of Vanginsky zeolites for activation of their
sorption properties are recommended.*

K.V. Ostapovich, A.R. Abdullaev
ON THE QUASINILPOTENCY OF A PRODUCT OF
LINEAR OPERATORS

Keywords: banach algebra, quasinilpotent operator,
spectrum, spectral radius.
In this paper, we offer sufficient conditions for the

В статье предложены достаточные условия квазинильпотентности произведения линейных ограниченных операторов. Основные утверждения доказаны для случая произвольной некоммутативной банаховой алгебры. Приведен пример класса операторов, квазинильпотентность которых может быть установлена с использованием сформулированных теорем.

**С.В. Рыков, Д.А. Кудрявцев, В.А. Рыков
НОВОЕ УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ ФАЗОВОГО
РАВНОВЕСИЯ R32**

Ключевые слова: линия насыщения, линия упругости, критические индексы, теория критических явлений, хладагент R32.

На примере описания линии насыщения хладагента R32 показаны хорошие расчетные характеристики модели, полученной на основе совместного анализа модифицированной теории Мигдала А.А. и гипотезы об одинаковом характере поведения изобарной теплоемкости на критической и околокритических изохорах в окрестности критической точки (гипотеза Бенедек). Показано, что в рамках рассмотренного подхода как паровая, так и жидкостная ветви линии насыщения R32 описываются в пределах экспериментальной погрешности в диапазоне температур от тройной точки до критической.

**М.В. Базунова, Д.Р. Валиев,
Р.Ф. Тухватуллин, Е.И. Кулиш
ПОЛИМЕРНЫЕ ГЕЛИ БИОМЕДИЦИНСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВОДНО-
ЭТАНОЛЬНЫХ РАСТВОРОВ СУКЦИНАМИДА
ХИТОЗАНА**

Ключевые слова: сукцинамид хитозана, гели, динамическая вязкость, модуль упругости.

Изучены реологические свойства растворов натриевой соли сукцинамида хитозана (СХТЗ) в смеси этанол-вода. Найдено, что во всем диапазоне концентраций полимера для растворов, содержащих 10 об. % этанола, значительно повышается модуль упругости и модуль вязкости. Также наблюдается увеличение энергии активации вязкого течения, указывающее на процессы структурообразования, обуславливающие формирование дополнительной сетки физических связей в водно-этанольных растворах СХТЗ.

**Т.Е. Иванова, А.В. Исмагилова
О МЕХАНИЗМЕ КАТАЛИЗИРУЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ
МЕДИ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ НИТРАТ-ИОНОВ В
УСЛОВИЯХ ЕЕ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ**

Ключевые слова: электроосаждение меди, адатомы, электрокатализ, электровосстановление нитрат-ионов, механизм реакции.

Представлены результаты изучения механизма побочной реакции восстановления нитрат-ионов в слабокислом нитратном электролите с участием адатомов меди в условиях ее электроосаждения.

**С.В. Смердов, В.В. Шмидт, И.Г. Жихарева
ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТНО-КОРРОЗИОННЫХ
СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ СПЛАВОМ Fe-Ni ДЛЯ**

quasiniipotency of a product of linear bounded operators. The basic statements are proved in the case of any non-commutative banach algebra. An example of the class of operators, the quasiniipotency of which can be determined by using stated theorems, is presented.

**S.V. Rykov, D.A. Kudryavtsev, V.A. Rykov
THE NEW EQUATION OF THE SATURATION LINE
OF R32**

Keywords: saturation line, the elasticity line, critical indexes, the theory of critical phenomena, R32.

On the example of the description of the saturation line of R32 shown good characteristics of the model obtained on the basis of joint analysis of the modified theory Migdal A.A. and hypotheses about the identical nature of the behavior of the isobaric heat capacity for critical and near-critical isochore near critical point (hypothesis Benedek). It is shown that in the framework of this approach as steam and liquid branches of the saturation line of R32 are described within the experimental error in the temperature range from the triple point to the critical point.

**M.V. Bazunova, D.R. Valiev,
R.F. Tukhvatullin, E.I. Kulish
POLYMERIC GELS FOR BIOMEDICAL
APPLICATIONS BASED ON WATER-ETHANOL
SOLUTIONS OF CHITOSAN SUCCINAMIDE
Key words: chitosan succinamide, gels, dynamic
viscosity, elastic modulus.**

Annotation. The rheological behavior of sodium salt of chitosan succinamide (SCTZ) solutions in ethanol-water mixtures are studied. Are found that throughout the range of concentrations of the polymer in an amount of addition of ethanol 10 vol. % greatly increases the modulus and the viscous modulus of gels. There has also been an increase in the activation energy of viscous flow, indicating occurring processes of structure formation in water-ethanol solutions of SCTZ.

**T.E. Ivanova, A.V. Ismagilova
ABOUT MECHANISM OF CATALYTIC
INFLUENCE OF COPPER ON REDUCTION OF
NITRATE-IONS AT CONDITIONS OF COPPER
ELECTRODEPOSITION**

Key words: electrodeposition of copper, adatoms, electrocatalys, electroreduction of nitrate-ions, mechanism of reaction.

The results of studying the mechanism of collateral reaction of nitrate-ions reduction in sub-acid nitrate electrolytes with participation of copper adatoms at its electrodeposition is presented.

**S.V. Smerdov, V.V. Shmidt, I.G. Zhikhareva
OPTIMIZATION CORROSION PROTECTIVE
PROPERTIES OF COVERINGS Fe-Ni ALLOY FOR**

НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: электролитические сплавы, фазовый состав, наноструктура, нестационарные методы осаждения.

Методом высокочастотного переменного тока получено наноструктурное покрытие сплавом Fe-Ni с заданным химическим содержанием компонентов (>80% Fe) и фазовым составом (α -Fe+ ϵ -Fe). Наличие гексагональной сингонии для фазы ϵ -Fe позволило повысить защитно-коррозионные свойства покрытия Fe-Ni в 7,5 раз по сравнению с высоколегированной сталью 20Х23Н18 и 08Х18Н10 в среде хлорид-ионов, а наноструктура способствовала увеличению его микротвердости.

И.Ф. Туктарова, Р.Ю. Лаздин, В.В. Чернова
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АНТИБИОТИКА
СУЛЬФАТА ГЕНТАМИЦИНА НА ПРОЦЕСС
ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА ХИТОЗАНА В
РАСТВОРЕ УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ

Ключевые слова: хитозан, вязкость, ферментативный гидролиз, гиалуронидаза, лекарственный препарат.

С использованием метода капиллярной вискозиметрии изучен процесс ферментативного гидролиза хитозана в растворе уксусной кислоты и оценено влияние лекарственного препарата антибиотика аминогликозидного ряда - сульфата гентамицина на скорость процесса. Установлено, что введение гентамицина сульфата в раствор хитозана приводит к уменьшению максимальной скорости ферментативного гидролиза $V_{\max}$ и увеличению константы Михаэлиса K_m , что указывает на возможность замедленного превращения субстрата в тройном комплексе ХТЗ-фермент-гентамицин и позволяет описать действие гентамицина в рамках модели смешанного ингибирования.

Е.А. Фарберова, Е.А. Тиньгаева,
Н.А. Чиркова, А.Д. Чучалина
СФЕРИЧЕСКИЕ УГЛЕРОДНЫЕ СОРБЕНТЫ НА
ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: сферические углеродные сорбенты, фенолформальдегидная смола, термогравиметрия, активный уголь, пористая структура, сорбционные свойства.

Предложены способы получения сферических активных углей из жидкой фенолформальдегидной смолы и катионита КУ-2-8. Исследовано влияние режима термообработки на пористую структуру углеродных сорбентов. Получены активные угли с высокими сорбционными характеристиками.

П.А. Абросимов, В.В. Малышев, А.В. Старков,
М.А. Титков, С.Ю. Шмигирилов
МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОТКЛИКА
КОНСТРУКЦИИ СПУСКАЕМОГО
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В УСЛОВИЯХ
НАЗЕМНОЙ СТЕНДОВОЙ ОТРАБОТКИ

Ключевые слова: космический аппарат, посадочный модуль, математическое моделирование, динамика посадки, нестационарное деформирование, метод конечных элементов.

THE PETROCHEMICAL EQUIPMENT

Key words: electrolytic alloys, phase structure, nanostructure, non-stationary methods of sedimentation. The method of high-frequency alternating current received a nanostructural covering by Fe-Ni alloy with the set chemical maintenance of components (> 80% of Fe) and phase structure (α -Fe+ ϵ -Fe). Existence of a hexagonal singony for a phase ϵ -Fe allowed to increase protective and corrosion properties of a covering of Fe-Ni by 7,5 times in comparison with the high-alloyed steel 20C23N18 and 08C18N10 among chloride ions, and the nanostructure promoted increase in its microhardness.

I.F. Tuktarova, R.Yu. Lazdin, V.V. Chernova
STUDY OF INFLUENCE OF ANTIBIOTIC
GENTAMICIN SULFATE ON THE PROCESS
ENZYMATIC HYDROLYSIS OF CHITOSAN IN
ACETIC ACID SOLUTION

Keywords: chitosan, viscosity, enzymatic hydrolysis, hyaluronidase.

Using the method of viscometry the process of enzymatic hydrolysis of chitosan in acetic acid solution was investigated. The influence of addition of gentamicin sulfate on the rate of enzymatic hydrolysis was evaluated. It was established that addition of gentamicin sulfate into chitosan solution leads to a decrease in the maximum rate of enzymatic hydrolysis $V_{\max}$ and increase of the Michaelis constant K_m , suggesting the possibility of a delayed conversion of the substrate in the complex enzyme-chitosan-gentamicin and allows to describe the action of gentamicin in the model of a mixed inhibition.

Е.А. Farberova, Е.А. Tingaeva,
N.A. Chirkova, A.D. Chuchalina
SPHERICAL CARBON ADSORBENTS BASED ON
POLYMER MATERIALS

Keywords: spherical carbon adsorbents, phenol-formaldehyde resin, thermogravimetric analysis, active carbon, porous structure, sorption properties.

The methods of obtaining of spherical active carbons from the liquid phenol-formaldehyde resin and cation exchange resin КУ-2-8 are studied. The influence of heat treatment on the porous structure of the carbon sorbents was found. It is shown that resulting active carbons have high sorption characteristics.

Р.А. Abrosimov, V.V. Malishev, A.V. Starkov,
M.A. Titkov, C.Y. Shmigirilov
THE MATHEMATICAL MODELING TECHNIQUE
OF THE DYNAMIC RESPONSE OF THE
STRUCTURE OF LANDING SPACECRAFT IN A
GROUND METAL MINING

Keywords: spacecraft, lander, mathematical modeling, dynamic fit, unsteady deformation, finite element method.

The paper presents a method of mathematical modeling of the dynamics of the finite element method of landing a

В работе представлена методика математического моделирования методом конечных элементов динамики посадки спускаемого космического аппарата в условиях стендовой отработки. Приведена основная система уравнений задачи нестационарного деформирования конструкции. С использованием программного комплекса, реализующего решение этой системы, получена картина поведения космического аппарата при посадке на поверхность планеты и в условиях стендовой отработки. Проведено сравнение полученных результатов расчёта и сделан вывод о соответствии поведения макета космического аппарата на стенде реальному поведению конструкции.

А.П. Абызов, В.Б. Ступко, А.А. Елакова
РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК СВАРНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ С ВНУТРЕННИМИ РАЗРЫВАМИ
ШВА В УСЛОВИЯХ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

*Ключевые слова: сварные соединения,
трейностойкость, предельные усилия.*

Рассматривается изменение несущей способности сварных соединений при наличии внутренних разрывов шва (трещин) в условиях статических нагрузок. Получены зависимости разрушающего напряжения для стыковых сварных швов без смещения и со смещением кромок.

А.П. Абызов, В.Б. Ступко, С.М. Петров
МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ КОНТЕЙНЕРА
ВИБРАЦИОННОГО СТАНКА С
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМИ ВИБРОПЛОЩАДКАМИ

*Ключевые слова: вибрационная обработка,
виброплощадки, движение, абразивная среда.*

В работе рассматриваются вопросы интенсификации процесса виброабразивной обработки за счет изменения траектории движения абразивной среды путем введения в конструкцию оборудования боковых виброплощадок.

И.А. Акимов, А.И. Акимов, Т.И. Жумагазеев
ИССЛЕДОВАНИЕ МАССОПЕРЕНОСА НА ВТОРОМ
ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В
УСТАНОВКАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЕДЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА (АВТП)

*Ключевые слова: массоперенос, полимеризация,
композиционные материалы, установки АВТП,
связующие материалы, стеклоткани, пресформа.*

В данной работе рассматривается массоперенос в многослойных полых изделиях цилиндрической формы при изготовлении композиционных материалов в установках АВТП методом полимеризации. В зависимости от температуры, связующие материалы способны принимать жидкотекучее и твердое состояние, образуя монолит из многослойных стеклотканей. По разработанным технологиям изготавливают различные типы композиционных материалов.

И.А. Акимов, А.И. Акимов, Е.О. Каракулина
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В

spacecraft landing in a bench working out. Provides basic system of equations of the problem of non-stationary deformation structure. Using a software package that implements the solution of this system, get a picture of the behavior of a spacecraft landing on the planet's surface and in a bench working out. A comparison of the results of calculation and concluded that the behavior of the layout according to the spacecraft on the stand the real behavior of the structure.

A.P. Abizov, V.B. Stupko, A.A. Elakova
PAYMENT LIMIT LOADS WELDS INTERNAL
SEAM RUPTURES UNDER STATIC LOADS

Keywords: welded joints, fracture, limiting efforts.

Explains how to change the bearing capacity of welded joints with internal weld discontinuities (cracks) under static loads. The dependences of the failure stress for butt welds without bias and offset edges.

A.P. Abizov, V.B. Stupko, S.M. Petrov
MODEL OF THE MOTION OF THE CONTAINER
VIBRATING MACHINE WITH AUXILIARY
VIBROPLATFORM

*Keywords: vibration treatment, vibroplatform,
movement, abrasive media.*

The paper deals with the intensification of the process vibroabrazivnoy processing by changing the trajectory of the abrasive medium by the introduction to the equipment side vibroploschadok.

I.A. Akimov, A.I. Akimov, T.I. Zhumagazeev
RESEARCH THE OF MASS TRANSFER AT THE
SECOND PRODUCTION PHASE OF COMPOSITE
MATERIALS BY THE POLYMERIZATION
METHOD IN INSTALLATIONS OF THE
AUTOMATIC CONDUCTING TECHNOLOGICAL
PROCESS (ACTP)

Keywords: mass transfer, polymerization, composite materials, installations of ACTP, binding materials, fiber glass fabrics, presforma.

This paper considers the mass transfer in multi-layer hollow cylindrical products in the manufacture of composite materials installations ACTP the method polymerization. Depending on the temperature, the binder materials is able to receive flowable and solid state, forming a monolith of laminated glass. On the developed technologies are made various types of composite materials.

I.A. Akimov, A.I. Akimov, E.O. Karakulina
INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER IN

**МНОГОСЛОЙНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ
ИЗДЕЛИЯХ НА ПЕРВОМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Ключевые слова: полимеризация, композиционные материалы, условия сопряжения, термические сопротивления.

В работе представлены результаты изучения теплопередачи в многослойных цилиндрических изделиях на первом этапе производства композиционных материалов методом полимеризации на промышленных установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП).

И.З. Ахметзянов

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ
ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ПРИ УЧЕТЕ
ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ**

Ключевые слова: адаптивный круиз-контроль, динамическое программирование, оптимальное управление.

В работе представлены результаты разработки алгоритма для расчета оптимальных законов управления скоростью автомобиля, учитывающего вертикальный макрорельеф дороги. Используется интегральный критерий оптимальности, включающий расход топлива.

**А.Ю. Барыкин, Р.Р. Басыров, М.М. Мухаметдинов
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА САЛОНА
ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ**

Ключевые слова: микроклимат, безопасность, автомобиль, эффективность работы, комфортные условия.

В работе представлены результаты изучения требований к микроклимату салона автомобиля, его влияние на безопасность движения, разработан алгоритм выбора конструктивных элементов систем обеспечения комфортных условий. Проведена оценка эффективности процесса обогрева стёкол, а также определена эффективность вентиляции и отопления салона легкового автомобиля.

**А.П. Буйносов, Д.С. Денисов
РАЗРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ
ОБСЛУЖИВАНИИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ НА ПТОЛ**

Ключевые слова: электровоз, обслуживание, диагностика, комплекс, ПТОЛ, разработка.

В статье приведен разработанный микропроцессорный диагностический комплекс ПТОЛ для технического обслуживания электровозов.

**А.П. Буйносов, А.М. Кислицын
КОМПЛЕКСНАЯ МНОГОУРОВНЕВАЯ
ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ
ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ**

Ключевые слова: локомотив, колесная пара, измерительная система, параметры, контроль.

В статье рассмотрены принципы функционирования разработанной многоуровневой комплексной измерительной системы для контроля параметров колесных пар при движении локомотива, приведено

**MULTILAYER CYLINDRICAL PRODUCTION OF
COMPOSITE MATERIALS**

Keywords: polymerization, composite materials, the conjugation conditions, thermal resistance.

The paper presents the results of a study of heat transfer in multilayer cylindrical products in the first stage of production of composite materials by polymerization in industrial units conducting automatic process (AVTP).

I.Z. Ahmetzyanov

**OPTIMAL VEHICLE SPEED CONTROL
CONSIDERING VERTICAL ROAD PROFILE**

Keywords: adaptive cruise-control, dynamic programming, optimal control.

The article presents the results of designing of algorithm for optimal vehicle speed control laws considering the vertical road profile. The integral performance criterion, including consumption, is used.

**A.Yu. Barykin, R.R. Basyrov, M.M. Mukhametdinov
ASSESSMENT OF OVERALL PERFORMANCE
SYSTEMS PROVIDING MICROCLIMATE SALON
OF THE CAR**

Keywords: microclimate, safety, car, overall performance, comfortable conditions.

In work results of studying of requirements to a microclimate of salon of the car, his influence on traffic safety are presented, the algorithm of a choice of constructive elements of systems of providing comfortable conditions is developed. The assessment of efficiency of process of heating of glasses is carried out, and also efficiency of ventilation and heating of salon of the car is defined.

**A.P. Buinosov, D.S. Denisov
DEVELOPMENT DIAGNOSTIC COMPLEX DURING
MAINTENANCE OF ELECTRIC LOCOMOTIVES IN
PTOL**

Key words: electric locomotive, maintenance, diagnostics, complex PTOL working out.

The paper presents a microprocessor developed diagnostic system PTOL maintenance of electric locomotives.

**A.P. Buinosov, A.M. Kislytsyn
COMPLEX MULTILEVEL MEASURING SYSTEM
FOR CONTROLLING THE PARAMETERS OF
WHEELSETS LOCOMOTIVES**

Key words: locomotive wheelset, measuring system parameters control.

The article describes the principles of operation of the developed multi-level integrated measuring system for controlling the parameters of wheelsets when moving locomotive, given structural description of the design

структурное описание разработки и элементов, интегрируемых в ее состав.

А.П. Буйносов, И.О. Шепелева

**МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ
БАНДАЖЕЙ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ КОЛЕСНЫХ
ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ**

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, упрочнение, нагрев, тепло, моделирование.

В статье приведены результаты моделирования упрочнения стали бандажей при термообработке колесных пар электровозов с использованием неподвижного импульсного или быстро движущегося сканирующего теплового источника, создающего равномерное температурное поле.

Т.В. Гаибова, Н.А. Шумилина

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЕКТНЫМ РИСКОМ ОТКАЗА ОБОРУДОВАНИЯ**

Ключевые слова: проектный риск, отказ оборудования, резервный фонд.

Представлены результаты формализации задачи управления риском отказа оборудования в рамках жизненного цикла проекта. Предложен механизм снижения риска, объединяющий процедуру выбора стратегии технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) оборудования, используемого в проекте и процедуру самострахования. Разработана структура программной системы управления проектным риском отказа оборудования.

А.М. Галлямов, Т.В. Гончарова, Л.Н. Шафигуллин,
Р.В. Шибakov, М.Н. Гончаров

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
СВОЙСТВ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ
МЕТОДОМ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО
НАПЫЛЕНИЯ (HVOF)**

Ключевые слова: газопламенное напыление, высокоскоростное напыление, напылённые покрытия. В предлагаемой статье проведен анализ методов поверхностного упрочнения, целевое назначение которых направлено на повышение эксплуатационных свойств, технического ресурса деталей машин и механизмов оборудования для нефтедобычи, разработаны рекомендации для восстановления высокоскоростным напылением нижнего долотного модуля.

**О.А. Глухов, К.А. Смотрин, Е.Е. Винокурова
О МЕТОДАХ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРА
ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО
РИСКА**

Ключевые слова: пожар, опасные факторы пожара, риск, математические модели.

В статье дан сравнительный анализ методов расчета параметров опасных факторов пожара. Представлены результаты моделирования времени наступления предельно допустимых для людей значений опасных факторов пожара с использованием прикладных программных пакетов.

**М.И. Глушко, Е.В. Федоров
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОГО ОБЪЁМА**

and components that can be integrated into its structure.

A.P. Buinosov, I.O. Shepeleva

**MODELING HARDENED STEEL BANDAGE
DURING THE HEAT TREATMENT OF WHEELSETS
ELECTRIC LOCOMOTIVES**

Key words: electric locomotive wheelset, bandage, hardening, heating, heat styling.

The results of modeling of hardening steel bands in the heat treatment of wheelsets using a fixed electric pulse or a fast-scanning the heat source, a uniform temperature field.

T.V. Gaibova, N.A. Shumilina

**THE FORMALIZATION OF THE PROBLEM OF
PROJECT RISK MANAGEMENT OF EQUIPMENT
FAILURE**

Keywords: project risk, equipment failure, the reserve fund.

The mechanism of reducing the risk of uniting the procedure of choosing a strategy of maintenance and repair equipment, the use - ized in the project and the process of self-insurance. Developed structure - round management system in project risk failure - about equipment.

A.M. Gallyamov, T.V. Goncharova, L.N. Shafigullin,
R.V. Shibakov, M.N. Goncharov

**RECOVERY OPERATIONAL PROPERTIES OF
CRITICAL PARTS METHOD OF HIGH-SPEED
SPUTTERING (HVOF)**

Key words: gas-flame sputtering, high-speed sputtering, sprayed coatings.

In the article there is analysis of case hardening methods the purpose of which is the improvement of the performance characteristics, the operational life of car parts and mechanisms for oil production equipment; recommendations are developed for regenerating with high-speed sputtering of the lower bit module.

**O.A. Glukhov, K.A. Smotrin, E.E. Vinokurova
ABOUT METHODS OF CALCULATION THE
PARAMETERS OF THE FIRE FOR INDIVIDUAL
FIRE RISK ASSESSMENT**

Keywords: fire, fire hazards, risk, mathematical models. In this article given the comparative analysis of calculation methods of fire hazards parameters and present the results of a simulation time of occurrence of the maximum permissible for the people values of fire hazards with the use of application software.

**M.I. Glushko, E.V. Fedorov
DETERMINATION OF THE ACTUAL VOLUME OF**

ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СЕТИ ЛОКОМОТИВА

Ключевые слова: пневматические сети поезда; проверка плотности тормозной сети; тормозная магистраль; главные резервуары; расход сжатого воздуха; объем главных резервуаров.

Применяемый в настоящее время способ проверки плотности пневматических сетей подвижного состава основан на измерении расхода сжатого воздуха из главных резервуаров без учёта объёма воздухопроводов, что приводит к существенной погрешности результатов проверки.

В статье предлагается способ определения фактического объёма пневматической сети локомотива, с помощью ввода в пневматическую сеть источника детерминированного расхода с применением физического моделирования.

Д.Р. Григорьева, А.Г. Файзуллина,
Р.Ш. Шарипов, Р.Р. Басыров

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
АППАРАТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Ключевые слова: кратчайший путь, задача Штейнера, точка Штейнера, теория графов, минимизация расходов, расчет стоимости постройки участка дороги.

В настоящее время развитие дорожных сетей является важным аспектом роста экономики любого региона. Появляется необходимость в присоединении новых участков дорог к существующим. В работе поставлена задача нахождения минимального пути, соединяющего несколько населенных пунктов. В ходе выполнения работы были рассмотрены методы нахождения кратчайших сетей и определена задача Штейнера, разработано приложение в среде Delphi, определяющее точку Штейнера, минимальную длину пути (участка) и рассчитывающее время прохождения и приблизительную стоимость постройки полученного участка дороги.

А.А. Денисевич, М.О. Бланк, С.Н. Ливенцов
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ УЗЛОМ
ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ СМЕСИ КИСЛОТ
ПРОИЗВОДСТВА БЕЗВОДНОГО ФТОРИСТОГО
ВОДОРОДА

Ключевые слова: алгоритм управления, математическая модель, производство безводного фтористого водорода, рабочая смесь кислот.

Эта работа посвящена первому этапу создания автоматизированной системы управления процессом сернокислотного разложения флюоритового концентрата в барабанных печах — разработке алгоритма для приготовления смеси реагентов требуемого состава и равномерной ее подаче в печь в условиях технологического оборудования и средств КИПиА ОАО Сибирский химический комбинат (СХК).

А.А. Денисевич, С.Н. Ливенцов, Е.М. Гладырь
РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЁРА

Ключевые слова: Электролизер, среднетемпературный электролиз, тепловая модель, получение фтора, теплообмен, идентификация,

THE PNEUMATIC SYSTEM OF THE LOCOMOTIVE

Key words: pneumatic train network; check brake density network; brake line; main reservoirs; compressed air consumption; the volume of the main tank.

The currently used method for checking the density of air networks of rolling stock is based on the measurement of compressed air consumption of the main tank without taking into account the volume of air tubes, which leads to substantial error test results. The paper proposes a method of determining the actual amount of the pneumatic system of the locomotive, by entering into the pneumatic source network deterministic flow using physical modeling.

D.R. Grigoreva, A.G. Faizullina,
R.Sh. Sharipov, R.R. Basyrov

THE USE OF THE MATHEMATICAL APPARATUS
IN THE CONSTRUCTION OF HIGHWAYS

Keywords: shortest path, Steiner, Steiner point, graph theory, to minimize costs, the calculation of the cost of construction of the road.

The development of road networks is an important aspect of economic growth of any region. There is a need for the addition of new sections to existing roads. In the work was the task of finding the minimum path connecting several villages. In the course of the work were discussed methods for finding the shortest network and defined task Steiner developed an application in Delphi that defines the Steiner point, the minimum path length (plot) and calculates the travel time and the estimated cost of the construction of the resulting stretch of road.

А.А. Денисевич, М.О. Бланк, С.Н. Ливентсов
DEVELOPMENT OF A CONTROL ALGORITHM
FOR MIXING AND LOADING OF FLUORITE

Keywords: control algorithm, mathematical model, the production of anhydrous hydrogen fluoride, the working mixture of acids.

This work is dedicated to the first phase of automation of process control system for processes of sulfuric acid decomposition of fluorite concentrate in rotary drum furnaces. It's development of an algorithm for the preparation of the reagent mixture of the desired composition and uniform feeding through the furnace for conditions of technological equipment and instrumentation of the Siberian Chemical Combine (SCC).

А.А. Денисевич, С.Н. Ливентсов, Е.М. Гладырь
DEVELOPMENT OF A THERMAL MODEL OF THE
EXPERIMENTAL ELECTROLYZER

Keywords: electrolyzer, medium-temperature electrolysis, thermal model, obtaining of fluorine, heat transfer, identification, automatic control system, the

система автоматизированного управления, законы регулирования.

В статье приводится математическое описание тепловых процессов в экспериментальном электролизёре, осуществляется компьютерное моделирование, проверяется адекватность полученной модели, производится идентификация всех тепловых процессов, протекающих в установке в процессе ее функционирования. Полученные данные используются в настоящее время при синтезе системы автоматизированного регулирования.

Н.А. Дородников, Л.А. Безбородов, С.А. Арустамов,
И.М. Дородникова

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЛВС С УЧЁТОМ ТРЕБОВАНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*Ключевые слова: универсальная схема ЛВС,
математическая модель, информационная
безопасность.*

В статье рассматриваются вопросы повышения безопасности ЛВС. Предлагается использовать математическую оценку уровня безопасности при проектировании сети. Для этого создается типовая универсальная схема сети и описывается ее математическая модель. Также, предлагается способ количественного анализа ее устойчивости к атакам.

А.Ю. Дуженко

ТРЕБОВАНИЯ К МОРСКИМ СУДАМ, ПЕРЕВОЗЯЩИМ РАДИОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Ключевые слова: опасный груз класса 7,
транспортировка, радиоактивные материалы,
технические требования, грузовое помещение,
контейнеровоз, МК МПОГ.*

В настоящее время наблюдается интенсивные перевозки радиоактивных грузов, которые связаны с развитием и широким использованием технологий на основе радиоактивных материалов. Для минимизации возможных рисков необходимо соблюдать предусмотренные в этом случае действующие правила. В статье проанализированы требования к морским судам, перевозящим радиоактивные материалы.

С.И. Закиров

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОПЕРАТИВНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ИХ НАДЕЖНОСТНЫЕ И СТОИМОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

*Ключевые слова: центр хранения и обработки данных,
ЦОД, ЦХОД, дата-центр, техническое обслуживание
и ремонт, надежность и стоимость,
крупномасштабные вычислительные комплексы.*

В работе представлены результаты изучения двух инфраструктурных методов повышения надежности распределенных вычислений, производимых на базе современных крупномасштабных вычислительных комплексов (кластеров) и центров хранения и обработки данных (ЦХОД), баланса между ними, а также влияния на стоимостные характеристики.

laws of control

The article has provided a mathematical description of the thermal processes in the experimental electrolyzer, computer simulation has been performed, the adequacy of the obtained model has been verified, and the identification of all thermal processes occurring in the installation during its operation has been carried out. The obtained data are currently being used in the synthesis of automatic control systems.

N.A. Dorodnikov, L.A. Bezborodov, S.A. Arustamov,
I.M. Dorodnikova

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF A UNIVERSAL LAN BASED ON REQUIREMENTS INFORMATION SECURITY

*Keywords: universal scheme LAN, mathematical model,
information security*

The article deals with improving LAN security. It is proposed to use the mathematical evaluation of the level of safety in the design of the network. To do this, create a basic universal scheme of the network and is described by its mathematical model. Also, a method for quantitative analysis of its resistance to attack.

A.Y. Duzhenko

REQUIREMENTS FOR SEAGOING VESSELS CARRYING RADIOACTIVE MATERIALS

*Keywords: Class 7 dangerous goods, transportation,
radioactive materials, technical requirements, cargo
space, container, ro-ro, IMDG.*

Currently, there is intensive shipping of radioactive goods, which are caused by the development and widespread use of technologies based on radioactive materials. To minimize possible risks must be observed in this case the current rules. The article analyzes the requirements to ships carrying radioactive material.

S.I. Zakirov

RESEARCH OF THE MAINTENANCE IMPACT ON DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEMS RELIABILITY AND COSTS

*Keywords: data-centers, DC, big-data, distributed
computing, maintenance, repair, operation, MRO,
infrastructure, reliability, costs.*

This article presents study results about two infrastructure reliability improvement methods (maintenance and duplicate) for distributed computing systems (which are based in big modern data-centers) and their costs.

Т.Н. Иванова, О.В. Никитина
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ,
ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ШЛИФОВАНИИ
ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Ключевые слова: шлифование, остаточные напряжения, плоские детали, тепловые явления, силовые факторы, поверхностный слой, структура сталей, легированные стали.

Повышение надежности и точности выполнения функционального назначения, эксплуатационных свойств и долговечности плоских деталей из легированных сталей технологическими методами является одним из существенных резервов повышения эффективности механической обработки. Процессы формирования остаточных напряжений в поверхностном слое определяются комплексом одновременно действующих факторов: силами резания, тепловыми процессами и структурными превращениями в обрабатываемых сталях. Поэтому реальная картина напряженного состояния поверхностного слоя детали может быть получена лишь при учете всех указанных факторов.

В.А. Карпычев, А.В. Копылова
БАЙЕСОВ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ РИСКА НА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Ключевые слова: безопасность, риск, вероятность, Байесова сеть, тормозное оборудование.

В статье изложены вопросы прогнозирования риска с помощью Байесовой статистики, включая требуемые входные данные для анализа. Дана характеристика Байесова подхода к оценке риска и его отличительных особенностей. Произведена оценка риска на примере тормозного оборудования грузовых вагонов.

А.О. Киклевич, Е.А. Хлюпина, Г.П. Жигулин
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ
ПОСТРОЕНИИ АПОСТЕРИОРНОЙ МОДЕЛИ УГРОЗ
БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

Ключевые слова: информационная безопасность, модель угроз, ключевые параметры модели угроз, персональные данные.

В настоящей работе представлены результаты исследований по определению ключевых параметров, влияющих на построение апостериорной модели угроз безопасности информации, в соответствии с положениями действующего законодательства Российской Федерации в области защиты информации, а также определен порядок пересмотра актуальности угроз безопасности информации.

Ю.П. Кирич, В.В. Кирьянов
УПРАВЛЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОМ АППАРАТА
ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА
С РЕГУЛИРУЕМЫМ МАНОМЕТРИЧЕСКИМ
РЕЖИМОМ РЕАКЦИОННОЙ МАССЫ

Ключевые слова: вакуумная сепарация, губчатый титан, оборотный конденсат магния и хлорида магния, водяное и воздушное охлаждение конденсатора, тепловой режим конденсатора, алгоритмы управления охлаждением конденсатора.

В статье рассмотрены результаты разработки алгоритмов управления тепловым режимом

T.N. Ivanova, O.V. Nikitina
STUDY OF RESIDUAL STRESS RESULTING FROM
THE GRINDING ALLOY STEELS

Keywords: grinding, residual stresses, flat parts, thermal phenomena, power factors, the surface layer.

Improving the reliability and accuracy of performance functionality, performance and durability properties of flat parts made of alloyed steel technological methods is one of the most important reserves for increasing the efficiency of machining. Processes of formation of residual stresses in the surface layer are determined by a complex of concurrent factors: the cutting forces, thermal processes and structural transformations. Therefore, the real picture of the stress state of the surface layer parts can be obtained only with the consideration of all these factors.

V.A. Karpychev, A.V. Kopylova
BAYESIAN APPROACH TO RISK ASSESSMENT
ON RAILWAY TRANSPORT

Keywords: safety, risk, probability, Bayesian network, the braking equipment.

In the article set out questions of forecasting risk using Bayesian statistics, including required input data for analysis. The characteristic of the Bayesian approach to risk assessment and its distinctive features. An assessment of risk on the example of the braking equipment of freight cars.

A.O. Kiklevich, E.A. Khlyupina, G.P. Zhigulin
DEFINING OF THE KEY PARAMETERS IN THE
PROCESS OF CONSTRUCTING A POSTERIORI
MODEL OF THREATS TO THE INFORMATION
SECURITY

Keywords: information security, information security management, threat model, key parameters of threat model, personally identifiable information.

This paper presents the results of researches on defining of the key parameters that influence the constructing a posteriori model of threats to the information security with taking into consideration the requirements of the legislation of the information security of the Russian Federation and determines the course of redefining the relevance of the information security threats.

Yu.P. Kirin, V.V. Kiryanov
CONTROL OF THE CONDENSER OF THE DEVICE
OF VACUUM SEPARATION OF TITANIUM
SPONGE WITH THE ADJUSTABLE MANOMETRIC
MODE OF REACTIONARY WEIGHT

Keywords: vacuum separation, spongy titan, reversible condensate of magnesium and magnesium chloride, condenser cooling with water and air, algorithms of condenser cooling management.

In article results of development of the algorithms of management of a thermal conditions of the condenser providing the dense not flammable condensate of a

конденсатора, обеспечивающих получение плотного невогараемого конденсата магния и хлорида магния.

А.В. Ключников, М.Д. Шагмуратов
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И СТРУКТУРА
СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ АСИММЕТРИЧНОСТИ
В РАСПРЕДЕЛЕНИИ МАСС ЛЕТАТЕЛЬНОГО
АППАРАТА

Ключевые слова: балансировочный стенд, тело вращения, геометрическая ось, центр масс, главная центральная ось инерции, дисбаланс, измерения.
В работе представлены результаты создания автоматизированной системы, предназначенной для определения параметров массо-инерционной асимметрии летательных аппаратов. Одним из основных узлов разработанной системы является динамический балансировочный стенд с газовыми опорами. Приведены конструкция стенда и структурная схема системы.

Е.Л. Кузнецова
ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС В НЕСТАЦИОНАРНОЙ
ЗАДАЧЕ С УЧЕТОМ РАЗЛОЖЕНИЯ СВЯЗУЮЩЕГО
В АНИЗОТРОПНЫХ ТЕЛАХ

Ключевые слова: нестационарная задача, анизотропное тело, разложение связующего, тепломассообмен.

Математическое моделирование процессов тепломассопереноса в композиционных материалах представляет собой сложную комплексную проблему, которой уделяется значительное внимание не только теплофизиками, аэродинамиками, материаловедцами, но и математиками. В данной работе рассматривается плоская нестационарная задача теплопроводности с внутренней подвижной границей разложения связующего анизотропного композиционного материала. Данный класс задач представляет большой практический интерес для многих отраслей промышленности. В первую очередь это относится к проблемам теплозащиты обтекателей летательных аппаратов, разработке эффективной тепловой защиты сопловых блоков ракетных двигателей на твердом топливе, а также лопаток турбин энергетических установок. Математическая модель процесса тепломассообмена строится на основе термодинамических соотношений в областях, ограниченных нестационарно подвижной внутренней границей, разделяющей области незатронутого материала и коксового остатка. Ее положение заранее неизвестно и должно быть определено в процессе решения задачи. В качестве метода численного решения предложенной математической модели использован экономичный абсолютно устойчивый метод переменных направлений с экстраполяцией с применением интегралинтерполяционного метода Самарского А.А. Получены многочисленные результаты.

И.В. Кулешов, О.Г. Москалёва
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ
ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Ключевые слова: импульсная томография, интерференция, опорная передаточная функция,

magnesium and chloride of magnesium are considered.

A.V. Klyuchnikov, M.D. Shagimuratov
DESIGN PRINCIPLES AND SCHEME STRUCTURE
OF A SYSTEM OF DYAGNOSING ASYMMETRY IN
MASS DISTRIBUTION IN FLYING VEHICLES

Keywords: balancing stand, solid of rotation, geometrical axis, center of mass, principal central axis of inertia, unbalance, measurements.

Results of development of the computer-aided system, designed for characterization of mass-inertia asymmetry of flying vehicles are shown in the work. One of the major assemblies of developed system is a dynamic balancing stand on gas-bearings. Both the stand design and the flow chart of the system are presented.

E.L. Kuznetsova
TRANSIENT HEAT AND MASS TRANSFER IN
ANISOTROPIC BODIES WITH THE BINDING
AGENTS' DESTRUCTION

Keywords: transient problem, anisotropic body, binding agents destruction, heat transfer.

The Mathematical modeling of heat and mass transfer in composite materials is a complex problem investigated by mathematicians as well as by specialists in the heat physics, aerodynamics and material scientists. Below the plane transient problem of the heat transfer with the moving inner boundary of binding agent destruction's area is studied. The solutions of the considered problem class is practically useful for many industry branches and design problems such as heat protection of cowlings of flying vehicles, heat protection of nozzle blocks of solid fuel rocket engines, and turbine blades for various power plants.

The proposed mathematical model of the heat and mass transfer is based on the thermodynamics equations in the areas with transiently moving inner boundaries between the non-destructed material and its carbon residue. The motion law for this boundary is initially unknown and has to be defined during the solution of the problem.

As a method of numerical solution of the formulated problem we use the efficient and absolutely stable method of variable directions with extrapolation together with the integral interpolation method of A.A.Samarsky. Several results of numerical simulation are shown.

I.V. Kuleshov, O.G. Moskalyova
RESEARCH OF DISPERSIBLE PHENOMENA AT
IMPULSIVE TOMOGRAPHY

Keywords: impulsive tomography, interference, support transmission function, spatial impulse.

пространственный импульс.

В работе выполнена фазовая коррекция двумерного спектра в направлении координаты ошибки, в результате которой у всех спектральных компонент обеих функций фазовый сдвиг удваивался. Это привело к тому, что информация о пространственном положении точек, закодированная в фазе, стала нормальной по координате ошибки, но при этом искажилась по координате дальности вдоль траектории.

Н.Г. Митрофанов, И.Н. Зенкин, Д.А. Котёлкин
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛАМОВ
ХИМВОДООЧИСТКИ ТЭЦ
В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: строительные материалы, шлам, пенобетон, асфальтобетон, кирпич, цементогрунт, химводоочистка.

В статье приведены результаты исследования шламов химводоочистки на примере Тюменской ТЭЦ-2, их химического и гранулометрического составов, а так же исследования путей использования шламов ХВО в производстве строительных материалов.

А.С. Некрасова
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ КОМПАНИИ-
ПОСРЕДНИКА ПОСРЕДСТВОМ МОДЕРНИЗАЦИИ
ЛОГИСТИЧЕСКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Ключевые слова: логистика, распределительная сеть, бизнес-процесс, конкурентная способность.

В работе рассматривается рынок предприятий-посредников между заводами изготовителями и потребителями. Рассматриваются сложности, с которыми сталкиваются данные предприятия. Представлены четкие рекомендации по совершенствованию логистики для увеличения конкурентных преимуществ.

Н.Н. Прокопьев, В.В. Бухтояров, Э.А. Петровский,
Н.А. Бухтоярова
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ
ТУРБОАГРЕГАТА

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, нейронные сети, турбоагрегат, диагностика, методы регрессии, прогнозирование.

В статье рассматривается возможность применения методов интеллектуального анализа данных для распознавания и прогнозирования предаварийных и аварийных ситуаций на турбоагрегатах, применяемых в нефтегазовом комплексе. Аварийные ситуации, возникающие на промышленных объектах, таких как нефтеперерабатывающие и предприятия, могут нанести существенный ущерб окружающей среде, экономике, привести к человеческим жертвам и серьезным разрушениям. На примере данных, полученных с датчиков, установленных на турбоагрегате, рассмотрено применения в качестве технологий анализа методов нейронных сетей, опорных векторов, метода k-ближайших соседей и

This paper made phase correction has been executed in the direction of error coordinate. As a result the phase change of all the spectral components of both functions has been doubled. It led to the following: data about spatial position of phase coded points has become normal on error coordinate, but distorted on distance coordinate along the trajectory.

N.G. Mitrofanov, I.N. Zenkin, D.A. Kotelkin
USE WASTE OF CHEMICAL WATER
PURIFICATION IN MANUFACTURE OF BUILDING
MATERIALS

Key words: bulding materials, waste, foam concrete, an asphalt concrete, a brick, concretesoil.

In article brings the results of research of waste chemical water purifications of the Tyumen thermal power station number 2 on chemical and granulemetric structure, and as uses of waste in manufacture of building materials are resulted.

A.S. Nekrasova
METHODS OF INCREASING COMPETITIVENESS
INTERMEDIARY COMPANY BY UPGRADING
LOGISTICS BUSINESS PROCESSES

Keywords: logistics, distribution network, a business process, competitiveness.

This paper considers the Market for enterprises intermediaries between the manufacturers and consumers. Discusses the difficulties faced by enterprises. Presented clear recommendations to improve logistics to increase competitive advantage.

N.N. Prokopiev, V.V. Bukhtoyarov, E.A. Petrovsky,
N.A. Bukhtoyarova
EFFICIENCY RESEARCH OF APPLICATION OF
DATA ANALYSIS TECHNIQUES FOR TURBO
UNITS PARAMETERS PREDICITION

Keywords: data mining, neural networks, turbo-unit, diagnostics, regression techniques, prediction.

This paper discusses practice capacity intellectual data analysis for clarification and prediction of pre-/emergency situations during turbo-unit vibro-diagnostic in oil-refinery industry. Emergency situations at hazardous industrial project such as oil-refinery plants can cause substantial damage to environment, economy, lead to casualties and severe destructions. At the example data from sensors installed on turbo-unit considered methods of neural network, support vectors, nearest neighbors and multivariate adaptive splines. At the end of the paper the comparison of the results and the consideration of application opportunity technology of intellectual data analysis are given.

многомерных адаптивных сплайнов. Приводится сравнение результатов, рассматривается возможность применения методов в дальнейших исследованиях.

С.В. Прохоров

МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ ГРАФИКА
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАШИННЫХ
ПАРКОВ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Ключевые слова: машинные парки, техническое обслуживание, ремонт, экономические затраты.

В представленной статье рассматривается современное состояние машинных парков региональных организаций. Предлагается методика формирования графика технического обслуживания техники с учетом вероятности безотказной работы. В качестве критерия оптимизации принят минимум затрат на проведение технического обслуживания и ремонта.

Д.А. Романов

ЦЕНТР ПО РАЗРАБОТКЕ ПОЛИМЕРОВ
ШЕФФИЛДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Ключевые слова: полимеры, перспективные материалы, научно-исследовательский центр.

Центр по разработке полимеров Шеффилдского университета является крупнейшим в Великобритании специализированным научно-исследовательским комплексом на базе одного университета. Научными направлениями Центра являются электроника и фотоника, перспективные материалы и новые технологии производства, биоматериалы медицинского назначения.

П.М. Салов, Т.Г. Виноградова, С.С. Сайкин,
А.В. Гартфельдер, А.А. Алексеев, Н.В. Пегов
ОЦЕНКА РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПЛАСТИН

Ключевые слова: стойкость, твердосплавные пластины, износ.

В работе представлены результаты стойкостных испытаний твердосплавных пластин и износ режцов.

Е.В. Сафонова

АВТОГЕНЕРАТОРЫ: ОСОБЕННОСТИ
ПОСТРОЕНИЯ И РАБОТЫ, СТАБИЛЬНОСТЬ
ЧАСТОТЫ

Ключевые слова: автогенераторы, ГУН - генератор, управляемый напряжением, эффект "затягивания частоты", стабильность частоты автогенератора.

В данной статье освещены вопросы построения АГ, а также уделено серьезное внимание таким непростым моментам, как эффект затягивания частоты и стабильность частоты автогенератора.

А.И. Субботин

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В УПРУГОЙ
ПОЛУПЛОСКОСТИ ОГРАНИЧЕННОЙ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ

Ключевые слова: напряжения и деформации грунтов, грунты, экспериментальные исследования, моделирование, модель фундамента, интервал

S.V. Prohorov

METHOD OF MAINTENANCE SCHEDULES
MACHINE PARK, BASED ON ASSESSMENT
OPERATIONAL FACTORS

Keywords: park of machines, maintenance, repair, economic costs.

In the present article discusses the current state of the machine parks regional organizations. The technique of forming equipment maintenance schedule based on the probability of failure-free operation. As an optimization criterion adopted minimum costs of maintenance and repair.

D.A. Romanov

THE POLYMER CENTRE AT THE UNIVERSITY OF
SHEFFIELD

Keywords: polymers, advanced materials, research centre.

The Polymer Centre at the University of Sheffield is the largest single-university specialized research complex in the UK. The Polymer Centre research themes are electronics and photonics, advanced materials and manufacturing processes, and biomaterials for clinical purposes.

P.M. Salov, T.G. Vinogradova, S.S. Saykin,
A.V. Gartfelder, A.A. Alekseev, N.V. Pegov
ASSESSMENT OF THE CUTTING ABILITY OF
TOOL PLATES

Keywords: firmness, hard-alloy plates, wear.

This paper presents the results of firmness's tests of hard-alloy plates and wear of cutters.

E.V. Safonova

ACTIVE OSCILLATOR: FEATURES OF
CONSTRUCTION AND OPERATION, FREQUENCY
STABILITY

Keywords: active oscillators, VCO -voltage-controlled oscillator, effect of frequency pulling, frequency stability of oscillator.

This article highlights the questions of active oscillators' construction and pays serious attention to such difficult moments as an effect of frequency pulling as well as frequency stability of an active oscillator.

A.I. Subbotin

DISPERSION OF STRESSES IN THE ELASTIC
HALF-PLANE OF THE LIMITED DISTRIBUTIVE
ABILITY

Keywords: pressure in soil, soil, the elastic basis of the limited distributive ability, model of the soil environment, experimental researches, a ground body

нагружения.

Статья посвящена рассмотрению условий моделирования работы оснований протяженных в плане фундаментов в испытательном лотке. Приводятся данные для модели фундаментной плиты и условий её использования при экспериментальных исследованиях в определенном интервале нагрузок. По результатам моделирования определена область моделирования для принятых размеров модели фундаментной плиты и параметров основания.

А.И. Субботин

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА МОДЕЛЯХ

Ключевые слова: напряжения и деформации грунтов, грунты, экспериментальные исследования, моделирование, модель фундамента, интервал нагружения.

В статье рассмотрены условия моделирования работы оснований фундаментных плит в испытательном лотке. Приводятся данные для модели фундаментной плиты и условий её использования при экспериментальных исследованиях в определенном интервале нагрузок. По результатам моделирования определена область моделирования для принятых размеров модели фундаментной плиты и параметров основания.

М.В. Таланов, А.В. Карасев, В.М. Таланов СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНКИ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: векторное управление, фильтр Калмана, наблюдатель потокосцепления ротора, бездатчиковая система управления.

В работе представлены результаты сравнения точности восстановления скорости вращения ротора в цифровой системе векторного управления асинхронным электродвигателем с использованием фильтра Калмана классической и модифицированной структуры в качестве датчика скорости. Модификация структуры фильтра Калмана заключается в использовании дополнительного наблюдателя потокосцепления ротора для расчета матрицы усиления фильтра. Использование модифицированной структуры фильтра позволило увеличить точность оценки скорости вращения ротора, особенно для низких скоростей – 2% ÷ 20% от номинальной.

А.С. Терехов, В.А. Тюлькин,
И.М. Титла, И.И. Кучеренко

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА ВОДИТЕЛЯ НА ВРЕМЯ РЕАГИРОВАНИЯ НА ДВИЖУЩИЙСЯ ОБЪЕКТ

Ключевые слова: психофизиологические свойства, возраст водителя, время реакции, реагирование на движущийся объект.

В работе рассматривается вопрос влияния возраста водителей на профессионально важные

weight, a tension of a ground of the basis.

In article definition a component of the is intense-deformed condition is offered at action of semi-infinite loadings by means of settlement model of an elastic semi plane of the limited distributive ability. Settlement formulas for definition a component of a tension for model of the limited distributive ability, considering properties soil are resulted.

A.I. Subbotin

SIMULATION OF THE WORK OF THE BASES OF BASE PLATES WITH EXPERIMENTAL STUDIES ON THE MODELS

Keywords: pressure and deformations soil, soil, experimental researches, modeling, base model, an interval loading.

Article is devoted consideration of conditions of modeling of work of the bases extended in respect of the bases in a tray of test car MF-1 of a design of Murzenko of JU.N. the data for model of a base plate and conditions of its use at experimental researches in a certain interval of loadings. By results of modeling the area of modeling for the accepted sizes of model of a base plate and basis parameters is defined.

M.V. Talanov, A.V. Karasev, V.M. Talanov METHOD OF REDUCING ESTIMATION ERROR OF ROTOR SPEED OF INDUCTION MOTOR USING KALMAN FILTER IN DIGITAL CONTROL SYSTEM

Keywords: vector control, Kalman filter, rotor flux estimator, sensorless control system.

This paper presents the results of a comparison of the estimation errors produced by a Kalman filter with classical and modified structure which are used in a digital vector control system of an induction motor as a speed sensor. The modification of a Kalman filter structure consist in addition of the rotor flux observer for calculating the filter gain matrix. The modified filter structure has increased the accuracy of the rotor speed estimation, especially at low speeds – 2% to 20% of the nominal speed.

A.A. Terekhov, V.A. Tyulkin,
I.M. Titla, I.I. Kucherenko

INFLUENCE OF DRIVER AGE FOR THE PERIOD OF RESPONSE TO MOVING OBJECT

Key words: psychophysical properties, age of the driver, reaction time, response to moving object.

The question of influence of driver age on professionally important psychophysical qualities is considered. The technique of time assessment of drivers' reaction, results

психофизиологические качества. Представлены методика оценки времени реакции водителей, результаты экспериментальных исследований и их анализ.

А.С. Титова

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ
БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ НЕГЕРМЕТИЧНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ НАЗЕМНОЙ
ОТРАБОТКЕ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КАМЕРАХ**

Ключевые слова: бортовая радиоэлектронная аппаратура, негерметичный отсек, тепловой режим, тепловые испытания.

В статье рассматриваются особенности математического и физического моделирования тепловых режимов бортовой аппаратуры негерметичных космических аппаратов при переводе отработочных испытаний из тепловакуумной в климатическую камеру.

В.А. Тихонов, О.Р. Середкина, М.А. Куликов,
С.Г. Козлов, Н.С. Шеманская

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ
ИНКРУСТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА
МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Ключевые слова: процесс солеотложения, математическое моделирование, константа скорости, регрессионный анализ.

На основании экспериментальных данных проведено математическое моделирование процесса инкрустации солей жёсткости на металлической поверхности. Предложены кинетические модели для процесса солеотложения, определены значения констант скорости процесса солеотложения.

А.В. Толков, И.В. Шинаков, А.В. Жданов
**СРАВНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СИЛОВЫХ ВИНТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Ключевые слова: винтовой механизм (ВМ), шариковинтовая передача (ШВП), роликовинтовая передача (РВП), технические характеристики.

В статье проводится анализ основных технических характеристик винтовых механизмов качения для привода поступательного перемещения. Представлены аналитические формулы и результаты расчетов грузоподъемности, жесткости, долговечности и момента инерции шариковинтовых и роликовинтовых механизмов различного исполнения для одного типоразмера привода.

М.С. Трофимова

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕДУРЫ
«ПЕРСПЕКТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА
ПРОДУКЦИИ» РОССИЙСКИМИ
ПОСТАВЩИКАМИ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ**

Ключевые слова: автомобилестроение, перспективное планирование качества продукции, методика, опрос.

В работе проведен анализ автомобильного рынка и перспектив его развития по итогам 2014 года, описана методика проведения опроса в области применения процедуры APQP среди работников российских автомобилестроительных предприятий, а также сотрудников иностранных компаний,

of experimental research and their analysis are presented.

A.S. Titova

**MODELING OF THERMAL CONDITIONS OF
ONBOARD EQUIPMENT NONPRESSURIZED
SPACECRAFTS FOR TESTS IN CHAMBERS**

Key words: onboard electronic equipment, nonpressurized spacecraft, thermal mode, thermal tests. Particulars of mathematical and physical modeling of thermal modes of onboard equipment nonpressurized spacecrafts for transferring thermal tests from vacuum chamber to climatic chamber is discussed.

V.A. Tikhonov, O.R. Seredkina, M.A. Kulikov,
S.G. Kozlov, N.S. Shemanskaya

**MATHEMATICAL DESCRIPTION OF PROCESSES
INCRUSTATION ON METAL SURFACES**

Keywords: process scaling, mathematical modeling, the rate constant, regression analysis.

On the basis of experimental data the mathematical modeling of the inlay hardness salts on the metal surface. A kinetic model for the process of scaling, the values of the rate constants of the process of scaling.

A.V. Tolkov, I.V. Shinakov, A.V. Zhdanov
**COMPARATION OF TECHNICAL
CHARACTERISTICS OF POWER SCREW
MECHANISMS**

Keywords: screw mechanism, ball screw, roller screw, technical characteristics.

The article analyses the main technical characteristics of power screw mechanisms to drive forward movement. The analytical formulas and analyzes of load capacity, stiffness, durability and moment of inertia are described for different ball and roller screws for one-size actuator.

M.S. Trofimova

**RESEARCH OF APPLICATION OF THE
"ADVANCED PRODUCT QUALITY PLANNING"
PROCEDURE BY THE RUSSIAN SUPPLIERS OF
AUTOMOTIVE INDUSTRY**

Keywords: automotive industry, advanced product quality planning, technique, poll.

In the work the analysis of the automobile market and prospects of its development following the results of 2014 is carried out, the technique of carrying out poll in the field of APQP procedure scope among employees of the Russian automobile building enterprises is described, and also the staff of the foreign companies which placed

разместивших свои производства на территории Российской Федерации, представлены некоторые результаты реализации разработанной методики.

Г.М. Тутаев, Е.Н. Белкина
АНАЛИЗ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ
С АСИНХРОНИЗИРОВАННЫМ ВЕНТИЛЬНЫМ
ДВИГАТЕЛЕМ

Ключевые слова: регулируемый электропривод, энергетические показатели, асинхронизированный вентильный двигатель, преобразователь частоты, алгоритм управления.

В работе рассматриваются актуальные вопросы повышения энергоэффективности регулируемых электроприводов. Одним из вариантов подобных систем является электропривод на базе асинхронизированного вентильного двигателя. Рассматривается влияние алгоритмов управления на энергетические показатели машинно-вентильного комплекса.

А.Р. Фардеев, Р.Г. Марданшин, А.А. Фардеев
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА
РАБОТЫ МАНИПУЛЯТОРА

Ключевые слова: гидроприводы манипулятора, система управления, рабочий объем насоса, математическая модель, условия асимптотической устойчивости.

В статье рассмотрена работа насоса гидроприводов манипулятора, используемого для переноса заготовок в технологическом процессековки или горячей штамповки заготовок, в совокупности с работой автоматической системы управления его рабочим объемом. Рассмотрены уравнения, описывающие математические модели работы насоса и указанной системы управления. Установлены условия асимптотической устойчивости работы системы при управлении рабочим объемом насоса.

Ш.Ш. Хузятов, Р.А. Валиев
ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ
ПАТТЕРНА

Ключевые слова: автоматизированная система управления, проектирование АСУ ТП, методика паттерна, мониторинг, диспетчерское управление. Предложена разработка автоматизированных систем управления технологическими процессами с применением методики паттерна на основе шаблонных проектов, в которых определены способы хранения данных, функциональность элементов управления и организация обмена между программными обеспечениями нижнего и верхнего уровней. Разработана структура паттернов для разных видов датчиков и исполнительных устройств, включающих структурные типы, блоки данных, группы тегов, алгоритмы и экраны процесса. Рассмотрен пример проектирования паттерна для аналоговых датчиков на базе систем Step 7 и WinCC.

В.В. Чекрыгина
МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ (РЕДАКЦИОННО-

the productions on the territory of the Russian Federation, some results of realization of the developed technique are presented.

G.M. Tutaev, E.N. Belkina
THE ANALYSIS OF LOSSES IN THE ELECTRIC
DRIVE WITH THE ASYNCHRONIZED VALVE
MOTOR

Keywords: regulated electric drive, asynchronized valve motor, energy performance, frequency converter, control algorithm.

The paper considers current issues of energy efficiency adjustable electric drives. One of the variants of such systems is the electric drive based on the valve asynchronized motor. The influence of the control algorithms on the energy performance of a machine-valve complex.

A.R. Fardeev, R.G. Mardanshin, A.A. Fardeev
DETERMINING THE CONDITIONS OF
ASYMPTOTIC STABILITY OF THE NOMINAL
MODE OF MANIPULATOR WORK

Keywords: the hydraulic drives of the manipulator, control system, the working volume of the pump, the mathematical model, the conditions of asymptotic stability

The article describes the work of the pump of the hydraulic drives of the manipulator used for the blanks transfer in the technological process of blanks forging or hot stamping, in conjunction with the work of automatic control system of its working volume. The equations describing the mathematical models of the pump and said control system work are considered. The conditions for asymptotic stability of the system work in the management of working volume of the pump are installed.

Sh.Sh. Khuzyatov, R.A. Valiev
DESIGNING OF AUTOMATED CONTROL
SYSTEMS BASED ON PATTERN METHODS

Keywords: automated control system, designing the control system, pattern method, monitoring, supervisory control.

Development of automated process control systems using pattern methods based on project templates is proposed, which contain ways to store data, the functionality of the control and organization of exchange between the software of the lower and upper levels. Patterns structure for each type of sensors and actuators are developed, including structural types, data blocks, tag groups, algorithms and process screens. An example of the design pattern for the analog sensors based on Step 7 and WinCC systems is considered.

V.V. Chekrygina
TECHNIQUE OF DECISION MAKING UNDER
UNCERTAINTY (THE EDITORIAL AND

ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ)

Ключевые слова: редакционно-издательский процесс, неопределенность и риск, методика принятия решений в условиях неопределенности.

В данной работе представлены основные результаты изучения состояния вопроса о принятии решений в условиях неопределенности в редакционно-издательской деятельности. Представлен алгоритм системы для дальнейшего его использования в информационно-интеллектуальной системе донепечатной подготовки «Автоматизированный ответственный секретарь» (АОС).

В.А. Шаманов, С.В. Леонтьев,
В.А. Голубев, В.А. Харитонов

**КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ
ПРОИЗВОДСТВА ГАЗОБЕТОНА АВТОКЛАВНОГО
ТВЕРЖДЕНИЯ**

Ключевые слова: газосиликат, управление, оптимизация, технология, планирование эксперимента, комплексная оценка, концепция.

В работе рассмотрены основные методы оптимизации и управления технологическим процессом производства автоклавного газобетона. Показано, что синтез методов математического планирования эксперимента и комплексного оценивания, предлагаемый авторами, является актуальным и перспективным в данной области исследования. Предложенная концепция может служить основой для разработки комплексной модели интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении производством газосиликата.

В.Г. Шibaков, Д.А. Халиков, М.Н. Гончаров
**ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ БАНКОВ
ДАННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Ключевые слова: информация, модель, технологические, эксплуатационные свойства теплоизоляционных материалов.

Приводится информационная модель теплоизоляционного материала, в которой последовательно приводятся данные о технологических и эксплуатационных свойствах, а также сведения о типовой и прогрессивной обработке материала позволяющей улучшить доминирующие функциональные свойства. Использование модели при формировании банка данных в виде многовходной, многоуровневой информационно-логической таблицы дает возможность принятия рациональных конструкторско-технологических решений в автоматизированных системах проектирования.

А.В. Щеголев, А.И. Сердюк, А.И. Сергеев
**МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПРОЦЕССА ГЛУБОКОЙ
ВЫТЯЖКИ**

Ключевые слова: глубокая вытяжка, компьютерное моделирование, пуансон, матрица.

В работе представлена методика анализа процесса глубокой вытяжки. Предложенная методика позволяет заменить этап уточнения технологических режимов и изготовления опытных образцов матрицы и пуансона компьютерным моделированием.

PUBLISHING ACTIVITIES)

Keywords: editing and publishing process, uncertainty and risk, the method of decision making under uncertainty.

This paper presents the main results of the study of the state of the question of decision-making under uncertainty in the publishing activity. The algorithm of the system for further use in the information and intellectual system prepress «Automated executive secretary».

V.A. Shamanov, S.V. Leontev,
V.A. Golubev, V.A. Kharitonov
**THE CONCEPT OF AAC's PRODUCTION
CONTROL**

Keywords: autoclaved aerated concrete (AAC), management, optimization, technology, design of experiments, integrated assessment, concept.

The basic methods of optimization and production management AAC are view. It is shown that the synthesis of mathematical experiment planning and integrated assessment is relevant in this field of research and promising. The proposed concept can serve as a basis for the development of a comprehensive model of DSS in managing the production of AAC.

V.G. Shibakov, D.A. Halikov, M.N. Goncharov
**INFORMATION MODELS FOR DATA BANKS OF
THERMAL INSULATION MATERIALS**

Keywords: information, model, technological, performance characteristics of heat-insulating material. In the article an information model of heat-insulating material is presented, where there is a sequence of data about technological and performance characteristics, and also there is information on standard and progressive finishing of the material which allows to improve the domineering functional properties. The use of the model during the formation of the database in the form of multiinput, multilevel information-logical scale gives the opportunity to make rational engineering-technological solutions in the automated design systems.

A.V. Shegolev, A.I. Serdjuk, A.I. Sergeev
**TECHNIQUES FOR ANALYZING DEEP-DRAWING
PROCESS**

Keywords: deep drawing, computer modeling, punch, die.

The paper presents a methodology for the analysis of deep drawing process. The proposed method makes it possible to replace the refinement stage of technological regimes and prototyping die and punch computer simulation.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№2 2015

Направления:

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

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 20.04.2015 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

13,5 усл.печ.л. 15,5 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1752.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"

420111, Республика Татарстан, Казань,

ул. Университетская, д.22, оф. 310

Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя

Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 238-32-08

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»