

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№2 2014

Направления:

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

Казань

2014

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №2 2014г. – Казань:
Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – 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, 2014 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Л.А. Бондаренко, А.А. Масищева, В.А. Петрова МЕТОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПОНИЖЕНИЯ ПОРЯДКА МНОГОЧЛЕНА	9
В.В. Дружинин, В.С. Холушкин ФОРМУЛА ТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ НА ОТРЕЗКЕ	14
Ж.Е. Еграшкина ТОЧНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ВИДЕ НЕЧЕТКИХ ЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ТАКАГИ-СУГЕНО	16
А.В. Зубов, Л.А. Бондаренко, Н.С. Ужegov КРИТЕРИИ ЛИНЕЙНОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ СКАЛЯРНЫХ И ВЕКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ	24
А.В. Зубов, Л.Г. Коляда, В.Б. Орлов ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕПРЕРЫВНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ	29
А.В. Зубов, Г.И. Пупышева, И.С. Виташевская УРАВНЕНИЕ ДЛЯ РЕГУЛЯРНОГО ИНТЕГРАЛА	34
А.Н. Макарова ИНТЕРВАЛЬНЫЙ МЕТОД ГЕНЕРИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ	41
С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ПСЕВДОКРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК	44

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Т.А. Роздяловская, А.Н. Чудинов, Ю.С. Чекрышкин ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ ХЛОРИД-ИОНОВ В РАСПЛАВЛЕННОЙ СИСТЕМЕ $MgCl_2-ZnCl_2$	48
К.С. Чemezova, Н.М. Хлынова ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ ГИДРОКСИДА ТАЛЛИЯ НА СТЕКЛОУГЛЕРОДНОМ ЭЛЕКТРОДЕ	55

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Г.В. Абакумов, С.Г. Петельская ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ ПРОГРАММУ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ ДЛЯ АВТОСЕРВИСНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	61
А.М. Абдуллина, Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов ГИДРОПРИВОД С УПРАВЛЯЕМЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ НАСОСА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ДИНАМИКИ	65
В.Н. Абузаров МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	69
П.А. Алексеев, И.А. Ехлаков, М.К. Овчаренко, А.П. Пышко МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК НА НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП ПРОЦЕССА ФИЗИЧЕСКОГО ПУСКА РЕАКТОРА КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	72
С.Г. Алюшина, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев ПОЛИГАРМОНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА АБОНЕНТСКИХ УЗЛАХ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	77
Л.С. Амирханян ИССЛЕДОВАНИЕ РАСЧЕТА УДЕЛЬНОГО ГОДОВОГО РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЮ ЗДАНИЯ	82
А.А. Анисимов, В.В. Ефремов, С.К. Милосердный, А.Г. Шелудько ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБОГРЕВАЕМОЙ СПЕЦОДЕЖДЫ ВОДОЛАЗА	85

М.Н. Ахметов, Н.Д. Ахметов, М.М. Гимадеев, В.А. Кривошеев ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	88
М.Н. Ахметов, Н.Д. Ахметов, М.М. Гимадеев, В.А. Кривошеев, Т.В. Рзаева ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОЧИСТКИ ИЗДЕЛИЙ	92
А.С. Багдасаров, Д.А. Урусов РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ СОСТАВА СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФОСФОГИПСА	96
Ф.Д. Байрамов, Н.С. Галимов, В.А. Иванов ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ РОТОРНОГО ТИПА С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ В МЕГАПОЛИСЕ	99
В.Ф. Беккер ВЛИЯНИЕ КРИВИЗНЫ ПОВЕРХНОСТИ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКИ НА УГОЛ СМАЧИВАНИЯ ОРОШАЮЩЕЙ ЖИДКОСТЬЮ	103
Н.Н. Беспалов, М.В. Ильин, И.А. Леонтьев ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА НАПРЯЖЕНИЯ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА С ИЗОЛИРОВАННЫМ ЗАТВОРОМ	108
Н.Н. Беспалов, А.А. Попов УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	112
В.Н. Будилов, С.В. Елисеева, М.Э. Суслопарова ИНТЕГРАЦИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ СБОРА ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМУ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ	116
В.В. Воронцов, Ал.Н. Краев, М.Е. Игошин РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ПО УКРЕПЛЕНИЮ ОСНОВАНИЯ И НАСЫПИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА СУЩЕСТВУЮЩЕЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА ТЕРРИТОРИИ ЯНАО	119
Н.С. Галимов, В.А. Иванов, К.З. Фатыхов АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВКЛЮЧЕНИЕМ ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ	124
Н.А. Гатченко, Г.П. Жигулин КОНФИГУРАЦИОННЫЕ ПРОФИЛИ В ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТАХ КЛАССА MDM	127
А.А. Дорджиев, А.Г. Дорджиев ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ	130
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	133
Н.С. Киреева, В.А. Голубев, О.М. Каняева ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАПСОВОГО БИОТОПЛИВА, В КАЧЕСТВЕ МОТОРНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ, ПО ЕГО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ	136
Ю.П. Кирин, С.Л. Краев ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИЕЙ ГУБЧАТОГО ТИТАНА	140
Ю.П. Кирин, С.Л. Краев ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ СИНТЕЗА СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИЕЙ ГУБЧАТОГО ТИТАНА	147
А.В. Кудинов, Н.П. Углев, В.Г. Рябов МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ПАВ В ПРОЦЕССЕ СЕРНОКИСЛОТНОГО АКИЛИРОВАНИЯ ИЗОБУТАНА ОЛЕФИНАМИ	151
М.А. Куликов, С.Г. Козлов, В.А. Тихонов, Н.С. Шеманская, Е.В. Морева КИНЕТИКА ПРОЦЕССА ОТЛОЖЕНИЯ СОЛЕЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ	161
Е.Г. Мальцев, А.В. Волков ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ РАЗРЯДНЫХ ЛАМП НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ	165

<i>Р.И. Насыров</i> ПОТРЕБНОСТЬ В ПРОГРАММЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ НАКОПИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРАХ ЧАСТНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ	169
<i>А.В. Новичихин</i> МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ТОПЛИВНО-СЫРЬЕВОГО РЕГИОНА: ПРОЦЕДУРЫ И МОДЕЛИ	173
<i>М.Я. Пашаев, М.Ш. Минцаев</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СКЛАДСКОГО ГРУЗООБОРОТА: АКТУАЛЬНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ	178
<i>К.А. Пекина</i> ФОРМИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ КОНКУРЕНТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ	181
<i>С.Н. Пепеляев, Р.А. Анферова, М.В. Касаткина, Е.И. Мошкина, В.А. Оборская</i> ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ УГЛЕВОДОРОДОВ В КАПИЛЛЯРНОМ КОАЛЕСЦЕРЕ	185
<i>Д.А. Попов, И.А. Шмидт</i> ОПЕРАТИВНЫЙ СБОР ПАРАМЕТРОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ГТУ НА БАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ NATIONAL INSTRUMENTS	192
<i>И.О. Секарова</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОПРОДУКТИВНОСТИ ВОДОЕМА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ	197
<i>А.В. Селезнев, А.А. Хромов</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОТРАБОТКИ НАВЫКОВ АДЕКВАТНОГО ПОВЕДЕНИЯ В СЛУЧАЯХ НЕШТАТНОЙ АВАРИЙНОЙ ПОСАДКИ ВОЗДУШНОГО СУДНА У КУРСАНТОВ-ПИЛОТОВ	203
<i>Г.М. Скибин, А.М. Кидакоев, Д.Н. Архипов</i> РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНОЙ ПЛИТЫ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА С ГЕОМЕТРИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЕМОЙ ФОРМОЙ ПОДОШВЫ	208
<i>М.В. Таланов</i> РЕАЛИЗАЦИЯ РАСШИРЕННОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ TMS320F28335 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	212
<i>А.Р. Фардеев, Р.Г. Марданишин</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ЖИДКОСТИ КАК МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	218
<i>В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, В.А. Нестеров, А.Н. Галахов, Р.С. Доровских</i> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНО-АКУСТИЧЕСКОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ	225
<i>М.А. Черноскутов, Д.Г. Ермаков, М.Л. Гольдштейн, Д.А. Усталов</i> МЕТОД РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ В GRU-РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ПОИСКА В ШИРИНУ НА ГРАФЕ	229
<i>Е.А. Шеин, К.А. Голявин</i> СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННЫХ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ СМЕСИ ПОРОШКОВ 30X13 И HX15CP2	233
АННОТАЦИИ	238

THE RELEASE MAINTENANCE**PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

<i>L.A. Bondarenko, A.A. Masicheva, V.A. Petrova</i> THE METHOD OF SEQUENCE LOW OF ORDER POLYMEASURE	9
<i>V.V. Druzhinin, V.S. Holushkin</i> THE FORMULA FOR THE EXACT NUMBER OF PRIMES ON A SEGMENT	14
<i>J.E. Egrashkina</i> EXACT TAKAGI-SUGENO FUZZY REPRESENTATION OF NONLINEAR SYSTEMS OF ODE	16
<i>A.V. Zubov, L.A. Bondarenko, N.S. Ugegov</i> CRITERIAS OF LINEAR INDEPENDENT OF SCALARITY AND VECTOR FUNCTIONS	24
<i>A.V. Zubov, L.G. Kolada, V.B. Orlov</i> INVESTIGATION OF PROBLEM CONTINUOUS STABILIZATION	29
<i>A.V. Zubov, G.I. Pupisheva, I.S. Vitashevskay</i> THE EQUATION FOR REGULAR INTERGRAL	34
<i>A.N. Makarova</i> AN INTERVAL METHOD OF RANDOM NUMBERS GENERATION	41
<i>S.V. Rykov, I.V. Kudryavtseva, V.A. Rykov</i> PHYSICAL FOUNDATION OF THE METHOD OF SEVERAL PSEUDOCRITICAL CURVES	44

CHEMICAL SCIENCE

<i>T.A. Rozdyalovskaya, A.N. Chudinov, Yu.S. Chekryshkin</i> RESEARCH OF CHLORIDE-ION OXIDATION REACTION IN MOLTEN $MgCl_2-ZnCl_2$	48
<i>K.S. Chemezova, N.M. Khlinova</i> ELECTROSEDIMENTATION OF THALLIUM HYDROXIDE ON GLASSY CARBON ELECTRODE	55

ENGINEERING SCIENCE

<i>G.V. Abakumov, S.G. Petelskaya</i> SEASONAL CONDITIONS INFLUENCE ON THE TECHNICAL MAINTENANCE PRODUCTION PROGRAM FOR AN AUTO SERVICE ENTERPRISE	61
<i>A.M. Abdullina, F.D. Bairamov, B.F. Bairamov</i> HYDRAULIC DRIVE WITH CONTROLLED ELECTRIC ENGINE OF THE PUMP AND ITS DYNAMICS INVESTIGATION	65
<i>V.N. Abuzyarov</i> THE MATHEMATICAL MODELING OF THE CONTROL SYSTEM OF PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS	69
<i>P.A. Alekseev, I.A. Ekhlakov, M.K. Ovcharenko, A.P. Pyshko</i> SIMULATION OF THE INFLUENCE OF THE SOLAR FLARE ON INITIAL STAGE OF THE START UP OF THE NUCLEAR REACTOR FOR SPACE PURPOSES	72
<i>S.G. Alushina, O.G. Morozov, I.I. Nureev</i> POLY-HARMONICAL METHODS FOR TEMPERATURE MEASURING ON NODE TERMINAL OF PASSIVE OPTICAL NETWORK	77
<i>L.S. Amirkhanyan</i> RESEARCH OF CALCULATION OF THE SPECIFIC ANNUAL EXPENSE OF THERMAL ENERGY ON HEATING AND BUILDING VENTILATION	82
<i>A.A. Anisimov, V.V. Efremov, S.K. Miloserdniy, A.G. Sheludko</i> EXPERIMENTAL RESEARCH OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF TEMPERATURE IN HEATING DIVING SUITS	85
<i>M.N. Akhmetov, N.D. Akhmetov, M.M. Gimadeev, V.A. Krivosheev</i> APPLICATION OF ELECTROHYDRAULIC UNIT FOR CYLINDER LINER RENOVATION IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES	88

M.N. Akhmetov, N.D. Akhmetov, M.M. Gimadeev, V.A. Krivosheev, T.V. Rzaeva DISCHARGE AND PULSE TECHNOLOGY OPTIMIZATION FOR CLEANING OF WORKPIECES	92
A.S. Bagdasarov, D.A. Urusov RATIONALIZATION COMPOSITION OF THE RAW MIX FOR THE PRODUCTION OF BUILDING PRODUCTS FROM PHOSPHOGYPSUM	96
F.D. Bayramov, N.S. Galimov, V.A. Ivanov THE WAYS TO INCREASE EFFICIENCY ROTOR - TYPE WINDMILLS WITH VERTICAL AXIS OF ROTATION IN THE MEGALOPOLIS	99
V.F. Becker INFLUENCE SURFACE CURVATURE MOBILE NOZZLES ON SCRUBBING LIQUID CONTACT ANGLE	103
N.N. Bespalov, M.V. Ilyin, I.A. Leontyev DEFINITION VOLTAGE TEMPERATURE COEFFICIENT IGBT	108
N.N. Bespalov, A.A. Popov THERMOSTATING DEVICE FOR SEMICONDUCTORS IN DETERMINING ELECTRICAL AND THERMAL CHARACTERISTICS	112
V.N. Budilov, S.V. Eliseeva, M.E. Susloparova VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM WITH DATA ACQUISITION CHANNELS	116
V.V. Vorontsov, A.N. Kraev, M.E. Igoshin ESTIMATED JUSTIFICATION DESIGN SOLUTIONS FOR REINFORCED BASE AND FILL SUBGRADE EXISTING AUTOMOBILE ROADS UNDER YANAO	119
N.S. Galimov, V.A. Ivanov, K.Z. Fatikhov AUTOMATIC SWITCHING THE EXCITATION WINDING OF THE WINDMILL'S ALTERNATING CURRENT GENERATOR	124
N.A. Gatchenko, G.P. Zhigulin CONFIGURATION PROFILES INTO SOFTWARE PRODUCTS MDM	127
A.A. Dordjiev, A.G. Dordjiev DEFORMATION CHARACTERISTICS OF LOESSIAL SOIL	130
A.S. Isaev AUTOMATING THE PROCESS OF FORMING A MODEL OF SECURITY THREATS PERSONAL DATA DURING THEIR PROCESSING IN PERSONAL DATA INFORMATION SYSTEMS BASED ON THE THEORY OF BUILDING EXPERT SYSTEMS	133
N.S. Kireeva, V.A. Golubev, O.M. Kanyaeva ESTIMATION OF POSSIBILITY OF THE USE OF THE RAPE BIOPROPELLANT, AS MOTOR FUEL FOR DIESELS, ON HIS PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES	136
Y.P. Kirin, S.L. Kraev CREATION OF MODELS OF DYNAMICS FOR SYNTHESIS OF OPTIMUM MANAGEMENT BY VACUUM SEPARATION OF THE SPONGY TITAN	140
Y.P. Kirin, S.L. Kraev CREATION OF MODELS OF DYNAMICS FOR SYNTHESIS OF SITUATIONAL MANAGEMENT BY VACUUM SEPARATION OF THE SPONGY TITAN	147
A.V. Kudinov, N.P. Uglev, V.G. Ryabov MECHANISM OF ACTION OF THE SURFACTANTS IN ALKYLATION OF ISOBUTANE WITH ALKENES IN PRESENCE OF SULFURIC ACID	151
M.A. Kulikov, S.G. Kozlov, V.A. Tikhonov, N.S. Shemanskaya, E.V. Moreva KINETICS OF SALT DEPOSITS ON PROCESS EQUIPMENT PRODUCTION OF POTASSIUM CHLORIDE	161
E.G. Maltsev, A.V. Volkov RESEARCH OF PULSE FOOD OF DIGIT LAMPS OF LOW PRESSURE	165
R.I. Nasyrov THE NEED FOR A PROGRAM OF DATA STORAGE DEVICES RELIABILITY PROGNOSTICATION IN PRIVATE USERS COMPUTERS	169
A.V. Novitskhin METHODOLOGICAL FEATURES OF PLANNING OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS IN FUEL RESOURCES REGION: PROCEDURES AND MODELS	173

<i>M.Y. Pashaev, M.S. Mincaev</i> PROCESS AUTOMATION OF STORAGE CARGO HANDLING: RELEVANCE AND PROBLEMS	178
<i>K.A. Pekina</i> FORMATION OF THE PRODUCTION PROGRAM OF THE ENTERPRISE IN THE CONDITIONS OF COMPETITIVE INTERACTION TAKING INTO ACCOUNT RELIABILITY	181
<i>S.N. Pepelyaev, R.A. Anferova, M.V. Kasatkina, E.I. Moshkina, V.A. Oborskaya</i> CHANGE OF HYDROCARBONS COMPOSITION AND PROPERTIES IN CAPILLARY COALESCENCE UNIT	185
<i>D.A. Popov, I.A. Shmidt</i> OPERATIONAL COLLECTION OF PARAMETERS OF VARIOUS TYPES GAS TURBINES TESTS BASED ON NATIONAL INSTRUMENTS HARDWARE	192
<i>I.O. Sekarova</i> MATHEMATICAL MODELING BIOPRODUCTIVE RESERVOIRS IN CONDITIONS OF TECHNOGENIC POLLUTION	197
<i>A.V. Celeznev, A.A. Khromov</i> THE DEVELOPMENT SOFTWARE IN ORDER ENABLES CADETS-PILOTS SKILLS OF CORRECT BEHAVIOR IN CASES OF EMERGENCY CRASH LANDING OF AN AIRCRAFT	203
<i>G.M. Skibin, A.M. Kidakoev, D.N. Arkhipov</i> CALCULATION OF THE ELEMENTS TEAM PLATE STRIP FOUNDATION WITH A GEOMETRICALLY VARIABLE FORM OF SOLES	208
<i>M.V. Talanov</i> IMPLEMENTATION OF THE EXTENDED KALMAN FILTER ON TMS320F28335 PROCESSOR FOR THE ESTIMATION OF THE ROTOR SPEED OF AN INDUCTION MOTOR	212
<i>A.R. Fardeev, R.G. Mardanshin</i> DEFINING THE CONDITIONS OF THE ASYMPTOTIC STABILITY OF NOMINAL OPERATING MODE OF THE AUTOMATIC FLUID DELIVERY SYSTEM AS A MECHANICAL SYSTEM	218
<i>V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, V.A. Nesterov, A.N. Galakhov, R.S. Dorovskikh</i> THE DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF THE CENTRIFUGAL AND ACOUSTIC DUST COLLECTOR	225
<i>M.A. Chernskutov, D.G. Ermakov, M.L. Goldshtein, D.A. Ustalov</i> METHOD OF DISTRIBUTING WORKLOADS IN GPU-IMPLEMENTATION OF BREADTH-FIRST SEARCH ALGORITHM	229
<i>E.A. Shein, K.A. Golyavin</i> STRUCTURE AND PROPERTIES OF LASER DEPOSITED COATINGS OF MIX OF FE–Cr AND Ni–Cr–B–Si–C POWDERS	233
ABSTRACTS	238

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.01.02

Л.А. Бондаренко, А.А. Масицева, В.А. Петрова

Санкт-Петербургский государственный университет, факультет Прикладной математики – Процессов управления, кафедра теории управления, Санкт-Петербург, ddemidova@mail.ru

МЕТОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПОНИЖЕНИЯ ПОРЯДКА МНОГОЧЛЕНА

В этой статье изложен эффективный метод понижения порядка, являющийся некоторым аналогом алгоритма Рауса и позволяющий определить число корней исходного многочлена, лежащих как в левой, так и в правой полуплоскости, не более чем за $5/4n(n+1)$ элементарных арифметических операций.

Ключевые слова: полуплоскость, коэффициент, устойчивость, вещественные корни, абсолютная устойчивость и неустойчивость.

Введение

В этой статье изложен эффективный метод понижения порядка, являющийся некоторым аналогом алгоритма Рауса и позволяющий определить число корней исходного многочлена, лежащих как в левой $\operatorname{Re} z < 0$, так и правой $\operatorname{Re} z > 0$ полуплоскости, не более чем за $\frac{5}{4}n(n+1)$ элементарных арифметических операций [4].

Известно, что алгоритм Рауса служит для определения устойчивости многочленов, т.е. для определения принадлежности всех корней этого многочлена левой полуплоскости $\operatorname{Re} z < 0$. Этот алгоритм на каждом шагу последовательно понижает порядок многочлена $f_n(z)$ степени n с положительными действительными коэффициентами [1]

$$f_n(z) = a_0 + a_1z + \dots + a_{n-1}z^{n-1} + a_nz^n \quad (1)$$

посредством операции понижения порядка

$$f_{n-1}(z) = f_n(z) - \alpha_n z S_n(z), \quad \alpha_n = a_n \setminus a_{n-1} > 0, \quad (2)$$

где $S_{n-1}(z) = a_{n-1}z^{n-1} + a_{n-3}z^{n-3} + a_{n-5}z^{n-5} + \dots$

Раус показал, что, если многочлен $f_n(z)$ является устойчивым, то многочлен $f_{n-1}(z)$ также является устойчивым и, наоборот. Таким образом, если исходный многочлен $f_n(z)$ является устойчивым, то, последовательно применяя операцию понижения порядка (6), придем к многочлену первого порядка, имеющему отрицательный вещественный корень, при этом все $\alpha_i > 0$, $(i = n, \dots, 2)$ [1].

Постановка задачи

Поставим задачу: построить алгоритм последовательного понижения порядка исходного многочлена с действительными коэффициентами с целью определения числа корней этого многочлена, лежащих как в левой $\operatorname{Re} z < 0$, так и в правой $\operatorname{Re} z > 0$ полуплоскости [5].

Определение 1. Многочлен $f(z)$ степени $n(n \geq 1)$

$$f(z) = a_0 + a_1z + \dots + a_{n-1}z^{n-1} + a_nz^n \quad (3)$$

называется абсолютно устойчивым, если все его корни лежат в левой полуплоскости $\operatorname{Re} z < 0$. Если, кроме корней, лежащих в левой полуплоскости, этот многочлен имеет и чисто мнимые корни единичной кратности, то он называется устойчивым. Во всех остальных случаях многочлен называется неустойчивым. Очевидно, что для характеристического многочлена

эти три случая соответствуют асимптотической устойчивости, устойчивости (по Ляпунову) и неустойчивости, порождающей его линейной стационарной системы [2].

Заметим, что в литературе первый тип полиномов называется устойчивым, а остальные неустойчивыми [2], [3] – это является более грубой классификацией полиномов по локализации корней, чем предлагается выше [3].

Определение 2. Пусть задан многочлен $f(z)$ степени n , не имеющий нулевых корней. Многочлен $F(z) = S_\alpha f(z)$ степени $n+1$, не имеющий нулевых корней, где

$$F(z) = (1 + \alpha z) f(z) + f(-z), \quad \alpha \neq 0 \quad (4)$$

будем называть присоединенным к многочлену $f(z)$, операцию S_α будем называть операцией присоединения, а многочлен $f(z)$ называется порождающим многочленом для многочлена $F(z)$.

Установим для операции присоединения два основных свойства.

Теорема 1. 1) Многочлен $F(z)$, присоединенный к многочлену $f(z)$ с действительными коэффициентами, имеет одни и те же кососимметрические корни (с учетом их кратностей), что и многочлен $f(z)$ [4].

2) Если вещественное число $\alpha > 0 (\alpha < 0)$, то число корней многочлена $F(z)$, лежащих в левой полуплоскости $\operatorname{Re} z < 0$ (правой полуплоскости $\operatorname{Re} z > 0$), увеличивается на единицу по сравнению с числом таких же корней у многочлена $f(z)$.

Доказательство. Первое утверждение теоремы элементарно выводится из равенства

$$\begin{aligned} F(z) &= (1 + \alpha z) r(z) f_0(z) + r(-z) f_0(-z) = \\ &= r(z) ((1 + \alpha z) f_0(z) + f_0(-z)) = r(z) F_0(z), \end{aligned} \quad (5)$$

где корнями многочлена $r(z)$ являются только кососимметричные корни многочлена $f(z)$ ($r(z) = r(-z)$) с учетом их кратностей, а корни многочлена $f_0(z)$ совпадают с остальными корнями многочлена $f(z)$, также с учетом их кратностей.

Докажем теперь второе утверждение теоремы. Введем в рассмотрение многочлен

$$\Phi_\mu(z) = (1 + \alpha z) f_0(z) + \mu f_0(-z), \quad \mu \in [0, 1], \quad \alpha \neq 0.$$

Заметим, что коэффициенты этого многочлена являются вещественными и непрерывными функциями вещественного параметра $\mu \in [0, 1]$. Отсюда вытекает, что корни этого многочлена $z_j(\mu)$ также являются непрерывными функциями параметра μ при $\mu \in [0, 1]$.

Очевидно, что из равенств (5) и вида многочлена $\Phi_\mu(z)$ следует, что

$$\Phi_1(z) = F_0(z), \quad F(z) = r(z) \Phi_1(z).$$

С другой стороны, $\Phi_0(z) = (1 + \alpha z) f_0(z)$. Это означает, что корни $z_j(\mu)$ многочлена $\Phi_\mu(z)$ при $\mu = 0$ совпадают с корнями z_j многочлена $f_0(z)$, т.е. с корнями $z_j(0) = z_j$ с добавлением корня $z = -1/\alpha$ [5].

Покажем, что непрерывные кривые $z_j(\mu)$ при $\mu \in [0, 1]$ не пересекают мнимую ось, т.е. $z_j(\mu) \neq i\beta$ при $\mu \in [0, 1]$. Допустим, что это не так. Пусть существует такое $\beta \neq 0$, что справедливо равенство

$$\Phi_\mu(i\beta) = (1 + i\alpha\beta) f_0(i\beta) + \mu f_0(-i\beta) = 0 \quad \text{при } \mu \in [0, 1].$$

Так как по условию многочлен $f_0(z)$ является многочленом с действительными коэффициентами и не имеет кососимметричных корней, а тем самым и чисто мнимых, то $f_0(i\beta) \neq 0$ для любого вещественного $\beta \neq 0$. Тогда из свойств комплексных чисел следует, что $|\bar{f}_0(z)| = |f_0(\bar{z})|$ и из предыдущего равенства вытекает соотношение

$$|1 + i\alpha\beta| |f_0(i\beta)| = |\mu| |f_0(-i\beta)| = |\mu| |f_0(i\beta)|.$$

Это равенство, разделив на $|f(i\beta)| \neq 0$ обе его части, можно переписать в виде $1 + \alpha^2 \beta^2 = \mu^2$. Так как величины $\alpha \neq 0$ и $\beta \neq 0$, то величина $|\mu| > 1$, что противоречит

условию $\mu \in [0,1]$. Отсюда следует, что у многочлена $\Phi_\mu(z)$ нет чисто мнимых корней при $\mu \in [0,1]$. Это и означает, что непрерывные кривые $z_j(\mu)$ при $\mu \in [0,1]$ не пересекают мнимую ось, и, следовательно, остаются при $\mu \in [0,1]$ в той же полуплоскости комплексного переменного, что и величины $z_j(0) = z_j, z = -1/\alpha$ [6].

Так как корни многочлена $\Phi_0(z)$ совпадают с корнями z_j многочлена $f_0(z)$ с добавлением корня $z = -1/\alpha$, то при $\alpha > 0$ ($\alpha < 0$) число корней многочлена $\Phi_0(z)$, лежащих в левой полуплоскости $\operatorname{Re} z < 0$ (правой полуплоскости), на единицу больше числа таких же корней у многочлена $f_0(z)$. С учетом того, что кривые $z_j(\mu)$ при $\mu \in [0,1]$ остаются в одной и той же полуплоскости, можно сделать вывод о том, что многочлен $\Phi_\mu(z)$, и, следовательно, и многочлен $\Phi_1(z)$, имеет такое же число корней в левой и правой полуплоскости, что и многочлен $\Phi_0(z)$. Из представления $F(z) = r(z)\Phi_0(z)$ вытекает справедливость второго утверждения теоремы. *Доказательство закончено.*

Теорема 2. Для произвольного многочлена $F(z)$ степени $n+1$, не имеющего нулевых корней

$$F(z) = A_0 + A_1 z + \dots + A_{n+1} z^{n+1}, \quad A_1 \neq 0, \quad (6)$$

существует единственный порождающий его многочлен $f(z)$ степени n , коэффициенты которого можно однозначно определить методом понижения порядка (МПП) за $2n+1$ арифметическую операцию.

Доказательство. Предположим, что многочлен $f(z)$, порождающий многочлен $F(z)$, существует, тогда он удовлетворяет уравнению (4) по определению операции присоединения. Из уравнения (4) легко получить уравнение для искомого многочлена $f(z)$ [7]

$$\begin{aligned} \alpha^2 z^2 (z) &= (\alpha z - 1)F(z) + F(-z) = \\ &= (\alpha A_0 - 2A_1)z + \alpha A_1 z^2 + \dots + \alpha A_{n+1} z^{n+2} \end{aligned} \quad (7)$$

Полагая в уравнении (7) $\alpha = 2A_1 / A_0$, получим, что в нем справа стоит многочлен степени $n+2$, в котором можно вынести за скобки общий множитель z^2 . Разделив обе части уравнения (7) на $\alpha^2 z^2$, получим, что многочлен $f(z)$ не имеет нулевых корней и является однозначно определенным многочленом степени n , порождающим многочлен $F(z)$. Это вытекает из того, что правая часть уравнения (7) однозначно определена для любого α . Если выбрать $\alpha \neq 2A_1 / A_0$, то уравнение (7) уже не будет определять многочлена $f(z)$ степени n . Нетрудно видеть, что коэффициенты многочлена $f(z)$ однозначно находятся по рекуррентным формулам:

$$\begin{aligned} a_{2l} &= \frac{A_{2l+1}}{\alpha}, \quad a_{2l-1} = \frac{A_{2l}}{\alpha} - \frac{2A_{2l+1}}{\alpha^2}, \quad \alpha = \frac{2A_1}{A_0}, \\ a_0 &= \frac{A_0}{2}, \quad A_{n+2} = 0, \quad l = 0, 1, \dots, [n/2], \end{aligned} \quad (8)$$

где $[n/2]$ - целая часть числа $n/2$. Этот алгоритм в дальнейшем будем называть методом понижения порядка (МПП). Отсюда следует, что коэффициенты многочлена $f(z)$ вычисляются из коэффициентов многочлена $F(z)$ за $2n+1$ арифметическую операцию. *Доказательство закончено.*

Теорема 3. Для любого стандартного полинома Гурвица степени $n > 1$ существует единственный порождающий его стандартный полином Гурвица первого порядка $a + bz$, $a > 0, b > 0$.

Доказательство. Покажем вначале, что для любого стандартного полинома Гурвица $F(z)$ степени $n+1, n \geq 1$ существует единственный порождающий его стандартный полином Гурвица степени n [8].

Для любого стандартного полинома Гурвица $F(z) = A_0 + A_1 z + \dots + A_{n+1} z^{n+1}$ степени $n+1$ существует порождающий его стандартный полином Гурвица степени n $f(z) = a_0 + a_1 z + \dots + a_n z^n$, т.е. $F(z) = S_\alpha f(z)$. Тогда из формулы (6)

$$F(z) = (1 + \alpha z) f(z) + f(-z), \alpha > 0 \quad (9)$$

вытекает, что коэффициенты этих полиномов связаны соотношениями

$$A_0 = 2a_0, A_1 = \alpha a_0, A_{n+1} = \alpha a_n, A_{2l} = 2a_{2l} + \alpha a_{2l-1},$$

$$A_{2l+1} = \alpha a_{2l} + \alpha a_{2l-1}, (l = 1, \dots, [\frac{n}{2}]), \quad (10)$$

где $[\]$ - целая часть числа. Предположим, что есть два различных стандартных полинома Гурвица степени n , порождающих полином, $F(z)$, т.е. $F(z) = S_\alpha f(z) = S_{\bar{\alpha}} \bar{f}(z)$. Тогда из формул (7) следуют очевидные равенства

$$\frac{2A_1}{A_0} = \frac{2\alpha a_0}{2a_0} = \frac{2\bar{\alpha} \bar{a}_0}{2\bar{a}_0} = \alpha = \bar{\alpha}.$$

Отсюда и из формул (7) вытекает, что порождающий полином является единственным, т.к. между числом $\alpha > 0$, коэффициентами порождающего полинома $f(z)$ и коэффициентами присоединенного полинома $\bar{f}(z)$ и коэффициентами присоединенного полинома $F(z)$ есть взаимно однозначное соответствие [9]

$$\bar{a}_{2i} = \frac{A_{2i+1}}{\alpha}, \quad \bar{a}_{2i-1} = a_{2i-1} = \frac{A_{2i}}{\alpha} - \frac{2A_{2i+1}}{\alpha^2},$$

$$\alpha = \bar{\alpha} = \frac{2A_1}{A_0}, \quad a_0 = \bar{a}_0 = \frac{A_0}{2}, \quad l = 1, \dots, [\frac{n}{2}]. \quad (11)$$

Итак, мы показали, что для любого стандартного полинома Гурвица $F(z)$ степени $n+1, n > 1$ существует единственный порождающий его стандартный полином Гурвица $f(z)$ степени n , коэффициенты которого находятся по формуле (8). Продолжая процесс понижения порядка, т.е. переходя по формулам (8) к стандартному полиному Гурвица на единицу меньшей степени за n шагов, мы получим стандартный полином Гурвица на единицу меньшей степени за n шагов, мы получим стандартный полином Гурвица первого порядка $a + bz, a > 0, b > 0$. *Доказательство закончено.*

Рассмотрим преимущества метода понижения порядка перед другими аналогичными методами.

Теорема 4. (аналог алгоритма Рауса). Для абсолютно устойчивого многочлена $F(z)$ (многочлена Гурвица) степени $n+1$ существует единственный многочлен Гурвица первого порядка, который может быть построен за $n(n+2)$ элементарных арифметических операций.

Доказательство. Пусть $F(z)$ является многочленом Гурвица, тогда в силу теоремы Стодолы все его коэффициенты положительны. Используя МПП за $2n+1$ арифметическую операцию, можно построить порождающий его многочлен $f(z)$ степени n , который также будет являться многочленом Гурвица, т.к. он порождает многочлен Гурвица и $\alpha = 2A_1 / A_0 > 0$.

Действуя и далее таким же образом, в результате многократного применения МПП (n - раз) получим многочлен Гурвица первого порядка за число арифметических операций равное $\sum_{k=1}^n (2k+1) = n(n+2)$.

Доказательство закончено.

Замечание 1. МПП является более производительным критерием оценки числа корней многочлена, лежащих в левой и правой полуплоскости, чем критерий Михайлова, т.к. он требует локализации действительных корней двух многочленов, являющихся

действительной и мнимой частью годографов Михайлова, и может применяться к многочленам, имеющим чисто мнимые корни [10].

Выводы

Метод понижения порядка (МПП), являясь аналогом алгоритма Рауса в вычислительном плане, будет более производительным критерием асимптотической устойчивости, чем аналитические критерии Гурвица и Лъенара-Шипара, требующих вычисления ($n^2/2$ в первом случае и $n^4/4$, во втором) определителей порядка от 2 до n (главных миноров матрицы Гурвица) [1].

Нетрудно видеть, что МПП можно применять к многочленам $F(z)$, не являющихся многочленами Гурвица. Применение МПП к такому многочлену требует, чтобы свободный член и коэффициент при втором слагаемом этого многочлена были не равны нулю $A_0 \neq 0, A_1 \neq 0$ [2]. Если на каждом шагу МПП эти условия выполняются, то в конечном итоге будет получен или многочлен первого порядка, или многочлен, имеющий только кососимметричные корни. Очевидно, что количество корней исходного многочлена $F(z)$, лежащих в левой полуплоскости, равно сумме положительных величин α_i , получаемых в результате многократного применения МПП ($\alpha_i = 2A_{1i}/A_{0i} > 0$), и количества корней, лежащих в левой полуплоскости у остатка – многочлена первой степени или многочлена, имеющего только кососимметричные корни [3].

Полученные результаты можно применять для решения вопроса о структурной минимизации [2,3,7].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (пр. № 10-08-000624).

Список литературы

1. Блистанова Л.Д. Конструктивные методы теории устойчивости и их применение к задачам численного анализа / Л.Д. Блистанова, И.В. Зубов, Н.В. Зубов, Н.А. Северцев. – СПб.: ООП НИИ Химии СПбГУ, 2002. – 119 с.
2. Дикусар В.В. Структурная минимизация стационарных систем управления и наблюдения / В.В. Дикусар, А.В. Зубов, Н.В. Зубов. // Известия Российской Академии наук. Теория и системы управления. – 2010.-№ 4. – С. 13-17.
3. Дикусар В.В. Критерий управляемости стационарных систем / В.В. Дикусар, А.В. Зубов, Н.В. Зубов. // Доклады Академии наук, 2010. – Т. 430. - № 1. – С. 13-14.
4. Зубов Н.В. Безопасность функционирования технических систем / Н.В. Зубов, А.Ф. Зубова. – СПб.: Изд-во «ВВМ», 2009. – 343 с.
5. Зубов А.В. Теория устойчивости и применение к задачам численного анализа / А.В. Зубов, Н.В. Зубов. – СПб.: Изд-во НИИ Химии СПбГУ, 2010. – 102 с.
6. Зубов А.В. Динамическая безопасность управляемых систем / А.В. Зубов, Н.В. Зубов. – Изд-во НИИ Химии СПбГУ, СПб., 2009. – 172 с.
7. А.В. Зубов. Аналитическая природа случайных последовательностей / А.В. Зубов, И.В. Зубов, С.В. Зубов, И.С. Стрекопытов, М.В. Стрекопытова. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2010. - № 104. – С. 84-89.
8. Зубов А.В. Математические методы качественного анализа систем управления и устойчивость расчетных движений / А.В. Зубов, С.В. Зубов. – ВВМ, СПб., 2011. – 323 с.
9. Зубов А.В. Об одном подходе к анализу системы линейных алгебраических уравнений / А.В. Зубов, В.И. Зубов, П.А. Зубов, М.В. Стрекопытова // «Еругинские чтения». Тезисы докладов XIV Международной научной конференции по дифференциальным уравнениям. – Новополюк, 12-14 мая. – 2011. – С. 50.
10. Зубова А.Ф. Вычислительный метод В.И. Зубова / А.Ф. Зубова, М.Н. Зубова, М.В. Стрекопытова // «Еругинские чтения». Тезисы докладов XIV Международной научной конференции по дифференциальным уравнениям. – Новополюк, 12-14 мая. – 2011. – С. 32.

01.01.06

В.В. Дружинин, В.С. Холушкин

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

ФОРМУЛА ТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ НА ОТРЕЗКЕ

Выявлена буферная зона простых чисел, после любого простого числа, растущая в квадратичной зависимости. Для любого отрезка внутри этой зоны получена формула точного количества простых чисел. Указаны свойства этой формулы и способы ее применения.

Ключевые слова: количество простых чисел, буферная зона.

1. В настоящее время количество простых чисел (ПЧ) на отрезке $[2, N]$, $N \in \mathbb{N}$, которая обозначается функцией $\pi(N)$, описывается чаще всего двумя приближенными эмпирическими формулами: Лежандра $\pi(x) \approx \ln N / (N - 1,08366)$ и Гаусса $\pi(x) \approx \int_2^N du / \ln u$. Точное значение $\pi(N)$ определяется с помощью факторизации [1 – 5]. Нами на основании классического решета Эратосфена предложен точный аналитический вид $\pi([N_1, N])$ и получены новые свойства ПЧ.

Ведем некоторые обозначения. $a_n = \{p_1 = 3; p_2 = 5; p_3 = 7; \dots; p_8 = 23; \dots; p_n\}$ – набор n последовательных нечетных ПЧ. ПЧ «2» обозначим $p_0 = 2$. Наибольшее целое число, не превышающее A , есть $[A]$. Комбинацию $[(b + c)/2c]$ обозначим как $[b; (c)]$. Например, $[15; (7)] \equiv [(15 + 7)/14] = 1$. Произведение t простых чисел из a_n обозначим Π_{ts} . Тут s меняется от «1» до $C_n^t \equiv C(n, t) = n! / t!(n - t)!$ и нумерует разные сочетания в произведении. Все $\Pi_{1s} = p_s$. Например, для $a_2 = \{3; 5\}$ имеем $\Pi_{11} = 3$, $\Pi_{12} = 5$, $\Pi_{21} = 15$. Поскольку решето Эратосфена есть система вычеркивания набора арифметических прогрессий, то в теории чисел этот вопрос изучался и в [6] описана функция

$$P(N; a_n) = \sum_{t=1}^n (-1)^{t+1} A_t = \sum_{t=1}^n (-1)^{t+1} \sum_{s=1}^{C(n,t)} A_{ts}. \quad (1)$$

В (1) $N \geq 3$ нечетное число, A_{ts} – количество нечетных чисел на отрезке $[3, N]$ кратных числу Π_{ts} . При этом $A_{t+1} > A_t$. Само значение A_{ts} рассчитывается по формуле

$$A_{ts} = \left[\frac{N + \Pi_{ts}}{2\Pi_{ts}} \right] \equiv [N; (\Pi_{ts})]. \quad (2)$$

$P(N; a_n)$ дает количество нечетных чисел на отрезке $[3, N]$ кратных хотя бы одному $p_k \in a_n$. Например, количество нечетных чисел, кратных и «3» и «5» на отрезке $[3, 103]$ равно $P(103; a_2) = 17 + 10 - 3 = 24$. Функция

$$T(N; a_n) = ((N - 1)/2) - P(N; a_n) \quad (3)$$

дает количество нечетных чисел на $[3, N]$ взаимно простых с каждым ПЧ из a_n . При этом не все такие числа обязательно простые. Если N не превышает правого края буферной зоны B_n , т. е. $N \leq B_n$, то $T(N; a_n)$ есть количество простых чисел больших p_n . Например, $B_2 = 47$ и на отрезке $[3, 47]$ $P(47; a_2) = [50/6] + [52/10] - [62/30] = 11$, $T(47; a_2) = 12$. Это двенадцать ПЧ $\{7; 11; 13; 17; 19; 23; 29; 31; 37; 41; 43; 47\}$.

2. Обсудим величину буферной зоны – отрезка $D_n = [p_n + 2\mu_n, B_n]$, на котором все нечетные числа взаимно простые с любым $p_t \in a_n$ тоже ПЧ. Часто принимают $B_n = p_n^2$. На самом деле B_n значительно больше и зависит от расстояния $p_{n+1} - p_n = 2\mu_n$. Анализ дает $B_n = (p_n + 2\mu_n)^2 - 2 = p_n^2 + 4p_n\mu_n + 4\mu_n^2 - 2$. Если мы не знаем μ_n , то ее можно найти с помощью (1 - 2) или взять $\mu_n = 1$ для определения минимального B_n . Например, a_4 дает $D_4 = [13, 167]$. На этом отрезке все нечетные числа не кратные $p_t \in \{3; 5; 7; 11\}$ простые. Этот анализ позволяет при небольшом количестве ПЧ a_n найти большой массив ПЧ.

Поскольку $T(N; a_n)$ при $N \leq B_n$ как раз и дает количество таких чисел, то точная формула всех ПЧ, включая «2», при знании первых n ПЧ a_n на отрезке $[2, N]$ описывается известной формулой

$$\pi(N; a_n) = \frac{N+1}{2} + n - P(N; a_n). \quad (3)$$

3. Далее рассмотрим количество ПЧ при наборе a_n на произвольном отрезке $[N_1, N]$. Оба числа нечетные и $N_1 > p_n$, $N \leq B_n$. Применение (1-2) дает такую, полученную нами, функцию

$$\pi([N_1, N]) = \frac{N-N_1+2}{2} - \sum_{t=1}^n (-1)^{t+1} \sum_{s=1}^{C(n,t)} [F_{ts}; (\Pi_{ts})] \quad (4)$$

В (4) $F_{ts} = N - N_1 + r_{ts} + (1 - 2\text{sign } r_{ts}) \cdot \Pi_{ts}$. Четный остаток $r_{ts} \in [0, (2 \cdot \Pi_{ts}) - 2]$ находится из равенства $N_1 = r_{ts} + (2\tau + 1) \cdot \Pi_{ts}$. Параметр $\tau = -1; 0; 1; 2; \dots$ берется при минимальном остатке r_{ts} . При $3 < N_1 < \Pi_{ts}$ $\tau = -1$ и $F_{ts} = N - N_1 + r_{ts} - \Pi_{ts}$.

При $3 < N_1 \equiv 0 \pmod{(2\tau + 1)\Pi_{ts}}$ $r_{ts} = 0$ и $F_{ts} = N - N_1 + \Pi_{ts}$.

Пример. Имеем $a_3 = \{3; 5; 7\}$, $\mu_3 = 2$, $D_3 = [11, 119]$, $N_1 = 15$; $N = 53$, отрезок $[15, 53]$ входит в буферную зону. $\Pi_{11} = 3$, $\Pi_{12} = 5$, $\Pi_{13} = 7$, $\Pi_{21} = 15$, $\Pi_{22} = 21$, $\Pi_{23} = 35$, $\Pi_{31} = 105$; $r_{11} = r_{12} = 0$, $r_{13} = 8$, $r_{21} = 0$, $r_{22} = 36$, $r_{23} = 50$; $r_{31} = 120$; $F_{11} = 41$, $F_{13} = 43$, $F_{13} = 39$, $F_{21} = F_{22} = F_{23} = F_{31} = 53$. $\pi([15, 53]) = 20 - 7 - 4 - 3 + 2 + 1 + 1 - 0 = 10$. Это ПЧ $\{17; 19; 23; 29; 31; 37; 41; 43; 47; 53\}$.

4. Функция (4) позволяет не только определять количество ПЧ на отрезке, но также находить сами новые ПЧ. Если $\pi([N, N]) = 0$, то число N составное и разложение прямо записано в (4). Например, при $N = 51$, $\pi([51, 51]) = 1 - 1 - 0 - 0 + 0 + 0 + 0 - 0 = 0$, т. е. $N = 51$ число составное и содержит «3» один раз. Также можно найти все ПЧ на отрезке по требованию $\pi([N_2, N_2]) = 1$, $N_2 \leq N$. Например, $\pi([53, 53]) = 1 - 0 - 0 - 0 + 0 + 0 + 0 - 0 = 1$ указывает на простоту «53». Имеет место неравенство

$$\pi([N_1, N]) \geq \frac{N-N_1+2}{2} - \sum_{s=1}^n \left\lfloor \frac{N-N_1+p_s}{2p_s} \right\rfloor,$$

которое можно использовать для оценки количества ПЧ. (4) дает быстрое доказательства ряда свойств ПЧ, например, постулата Бертрана: $p_{n+1} < 2p_n + 1$.

Авторы благодарят проф., д.ф.м.н., главного научного сотрудника РФЯЦ-ВНИИЭФ А.И. Голубева, проф., д.ф.м.н., начальника отдела ВНИИЭФ Ю.Н. Дерюгина, за обсуждение и поддержку результатов.

Список литературы

1. Кнут Д. Разложение на простые множители. М., Вильямс, 2007 г.
2. Нестеренко Ю.В. Введение в криптографию, Питер, 2001.
3. Сизый С.В. Лекции по теории чисел, М. ФИЗМАТГИЗ, 2007.
4. Сушкевич А.К. Теория чисел, Харьков, ХГУ, 1956.
5. Dicson L.E. History of the Theory of Numbers, v. II, CPCS, New York, 1971.
6. Окунев Л.Я. Краткий курс теории чисел, М., ГИФМЛ, 1956.

01.01.02

Ж.Е. Еграшкина

ФГБОУ ВПО Ульяновский государственный университет,
кафедра информационной безопасности и теории управления, kartoxena@rambler.ru

ТОЧНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ВИДЕ НЕЧЕТКИХ ЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ТАКАГИ-СУГЕНО

В работе изучена возможность построения алгоритма представления широкого класса нелинейных систем обыкновенных дифференциальных уравнений в виде нечетких линейных моделей типа Такаги-Сугено.

Ключевые слова: нелинейные обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ), нечеткая система, линейная модель Такаги-Сугено.

Введение

Построение динамической модели сложной нелинейной системы часто является единственным доступным способом получения информации о ее поведении. Выбор вида модели сложной системы и используемый в рамках математического моделирования аппарат в значительной мере зависят именно от качества информации и типа неопределенности. Нечеткая логика позволяет осуществлять декомпозицию задачи моделирования и исследования сложной системы; в результате получается несколько «локальных» линейных задач. Это открывает широкие возможности применения линейной теории устойчивости и управления и исследования нелинейных систем с использованием формализованных процедур.

Существует два основных подхода к построению линейных нечетких моделей для исходной нелинейной модели: идентификация на основе использования данных о системе, полученных в результате измерений или компьютерного моделирования, и аналитическое построение нечеткой модели, которая точно или приближенно представляет данную нелинейную динамическую систему. Второй подход естественно применять в случае, если имеется аналитическое описание рассматриваемой системы в виде, например, нелинейной системы обыкновенных дифференциальных уравнений или дифференциальных уравнений с запаздыванием. При этом использование непрерывных моделей типа Такаги-Сугено позволяет сохранить непрерывность модели и перейти от исходной нелинейной системы ДУ к совокупности линейных систем ДУ.

Указанный переход можно осуществить различными методами, которые делятся на два основных направления: в первом случае получаются точные представления исходной модели, а во втором – приближенные [1,2]. В то время как аппроксимации могут быть получены в результате применения конструктивных методов, универсального алгоритма перехода к точному представлению в общем случае не существует. В работе рассматривается некоторый класс нелинейных систем ОДУ, для которых точное представление в виде линейной нечеткой системы может быть получено в результате автоматически выполняемой вычислительной процедуры.

1. Основные определения и предположения.

Пусть x - вектор n -мерного действительного пространства R^n с нормой $|\cdot|$, x_i обозначает i -ю координату вектора x , t – время, функция $x(t)$ описывает закон изменения состояния системы во времени и принимает значения в некоторой компактной области $D \subset R^n$, содержащей начало координат, $u(t) \in R^m$ – управляющий (входной) сигнал. Далее, пусть $f(x)$ – непрерывно дифференцируемая нелинейная вектор-функция, определенная в области D , такая, что $f(0)=0$, $B(x)$ – матрица размера $m \times n$, элементы которой являются непрерывно дифференцируемыми

функциями фазовых переменных в области D . Область D задается исходя из «физических» ограничений на фазовые переменные, начало координат соответствует равновесному состоянию системы при отсутствии внешних воздействий.

Рассмотрим систему обыкновенных дифференциальных уравнений вида

$$\dot{x}(t) = f(x(t)) + B(x(t))u(t), \quad (1)$$

где штрих обозначает производную по времени.

Задача состоит в представлении системы (1) в виде непрерывной нечеткой модели Такаги-Сугено [1,2].

Нечетким множеством A , определенным в некоторой области X , называется множество упорядоченных пар $A = \{x, M(x) | x \in X\}$, где $M(x)$ – функция принадлежности, характеризующая «степень принадлежности» элемента x к множеству A , и принимающая любое значение в множестве $[0,1]$.

Нечеткая логическая система производит однозначное преобразование вектора входных сигналов в вектор выходных сигналов.

Входным и выходным сигналам в нечеткой логической системе могут соответствовать не только числовые, но и лингвистические переменные, принимающие значения из некоторого терм-множества – множества слов или словосочетаний некоторого естественного или искусственного языка. Любой элемент терм-множества называется термом.

База знаний нечеткой логической системы состоит из продукционных правил, определяющих зависимость между входными и выходными терм-множествами, и функций принадлежности, показывающих степень соответствия реальных величин понятиям, определяемым терм-множествами. Продукционные правила представляют собой набор инструкций типа: ЕСЛИ условие, ТО следствие.

На каждом этапе расчета в нечеткой логической системе применяется следующий алгоритм:

1. Фазификация входных величин, которая заключается в переводе точных значений входных сигналов в значение лингвистических переменных с использованием функций принадлежности.

2. Нечеткий логический вывод.

3. Дефазификация (получение реальных значений выходных переменных).

Модель Такаги–Сугено описывается продукционными правилами, которые представляют собой локальные линейные отношения вход–выход нелинейной системы. Применяемые правила являются нечеткими только в части ЕСЛИ, тогда как в части ТО содержатся функциональные зависимости.

Непрерывная динамическая модель Такаги-Сугено задается правилами вида:

ЕСЛИ $z_1(t)$ есть M_{i1} и ...и $z_p(t)$ есть M_{ip} ,

ТО $\dot{x}(t) = A_i x(t) + B_i u(t)$, $i=1,2,\dots,r$, (2)

где M_{ij} – нечеткое множество, r – число нечетких правил, $A_i \in R^{n \times n}$, $B_i \in R^{n \times m}$ – постоянные матрицы, $z(t) = (z_1(t), \dots, z_p(t))$ – вектор известных переменных посылок, которые являются функциями фазовых переменных. Здесь, как и во многих работах, предполагается, что $z(t)$ не зависит от входного сигнала $u(t)$ – это необходимо для того, чтобы избежать сложного процесса дефазификации при построении нечеткого регулятора.

Каждому i -му правилу соответствует функция принадлежности $M_i(z) = \prod_{k=1}^p M_{ik}(z_k)$, где $M_{ik}(z_k)$ – степень принадлежности переменной z_k множеству M_{ik} . Пусть множество значений z_k разбивается на v_k непересекающихся нечетких множеств. Обозначим $M_k^j(z_k)$ функцию принадлежности j -му множеству. Предполагается, что для каждого k функции принадлежности удовлетворяют условиям:

$$M_k^j(z_k) \geq 0, \quad \sum_{j=1}^{v_k} M_k^j(z_k) = 1, \quad (3)$$

и аналогичные условия выполняются для функций $M_i(z)$.

Тогда с помощью центроидного метода, используемого в процедуре дефаззификации, система (1) представляется в виде [1,2]:

$$x'(t) = \sum_{i=1}^{2^p} M_i(z)(A_i x(t) + B_i u(t)) \quad (4)$$

Справедливо следующее утверждение [2]: любая гладкая нелинейная функция $f: R^n \rightarrow R^n$, определенная и дважды непрерывно дифференцируемая в компактной области и удовлетворяющая условию $f(0) = 0$, может быть аппроксимирована с любой степенью точности вместе со своей производной посредством линейных систем Такаги–Сугено.

В следующем разделе для некоторого класса функций $f(x)$ будет предложен алгоритм получения точного представления системы (1) в виде (4).

2. Преобразование нелинейной системы.

Из формулы (4) следует, что решение поставленной задачи сводится к нахождению $z_1(t)$, ... $z_p(t)$, матриц A_i , B_i и функций принадлежности.

Построение нечеткой системы делится на два этапа. Первый – это представление системы (1) в виде

$$x'(t) = A(x(t))x(t) + B(x(t))u(t) \quad (5)$$

В книге [3] показывается, что система $x'(t) = f(x(t))$ в наших предположениях может быть переписана в виде $x'(t) = A(x(t))x(t)$, где матрица $A(x)$ определяется через матрицу Якоби:

$$A(x) = \int_0^1 J(x\omega) d\omega$$

$$J(x) = \frac{\partial f(x)}{\partial x^T}. \quad (6)$$

Таким образом, получаем представление системы (1) в виде (5).

Построение представления (5) согласно формуле (6) требует интегрирования в квадратурах, что значительно усложняет процедуру. Очевидно, такое представление не единственно. На практике матрицу $A(x)$ чаще всего строят «творчески», ориентируясь на конкретный вид рассматриваемой системы, а не на определенный алгоритм. Далее мы рассмотрим некоторый класс функций $f(x)$, для которых предложим алгоритм построения представления (5).

Предположим сначала, что правая часть i -го уравнения системы (1) разбивается на слагаемые вида: $g_{ij}(x) * x_j^{k_{ij}}$, где $g_{ij}(x)$ – непрерывная в начале координат функция, $k_{ij} \geq 1$, $i, j = 1, 2, \dots, n$.

Тогда для представления системы (1) в виде (5) необходимо: найти в первом уравнении системы (1) слагаемые, содержащие $x_1(t)$, вынести $x_1(t)$ за скобку, при этом оставшийся множитель будет первым элементом матрицы $A(x(t))$ – $a_{11}(x(t))$; среди оставшихся слагаемых находим содержащие множитель $x_2(t)$ и определяем $a_{12}(x(t))$, и так далее, до переменной $x_n(t)$. Если слагаемых, содержащих $x_j(t)$, нет, то полагаем $a_{1j}(x(t)) = 0$. Ту же самую процедуру повторяем с остальными уравнениями.

Таким образом, система (1) переписывается в виде (5).

Заметим, что при построении матрицы $A(x)$ можно выбрать и другой порядок. Например, в каждом уравнении начинать с поиска слагаемого, содержащего не первую, а последнюю переменную, или, скажем, в j -ом уравнении сначала выделять слагаемое, содержащее x_j . При этом получится, конечно, другая матрица $A(x)$.

После представления системы (1) в виде (5) переходим ко второму этапу построения нечеткой модели Такаги–Сугено.

Обозначим непостоянные элементы матриц $A(x(t))$ и $B(x(t))$ через z_k , где $k = 1, \dots, p$, и запишем эти матрицы в виде зависимостей от z_k : $\bar{A}(z_1, \dots, z_p)$ и $\bar{B}(z_1, \dots, z_p)$. Вычислим максимальное и минимальное значения z_k с учетом ограничений на вектор x . Обозначим их соответственно как a_k , b_k . Используя полученные значения максимума и минимума, запишем z_k в виде:

$$z_k = M_k^1(z_k) \times a_k + M_k^2(z_k) \times b_k, k = 1, \dots, p.$$

Отсюда, с учетом равенства $M_k^1(z_k) + M_k^2(z_k) = 1$, вычисляем функции принадлежности:

$$M_k^1(z_k) = \frac{z_k - b_k}{a_k - b_k}, \quad M_k^2(z_k) = \frac{a_k - z_k}{a_k - b_k}.$$

Назовем нечеткое множество, соответствующее функции принадлежности M_k^1 , «около a_k », и нечеткое множество, соответствующее функции принадлежности M_k^2 , – «около b_k », где $k=1, \dots, p$. Тогда получаем следующие правила нечеткой модели:

Правило 1.

ЕСЛИ z_1 около a_1 и z_2 около a_2 и ... и z_p около a_p ,

ТО $x'(t) = A_1 x(t) + B_1 u(t)$, где $A_1 = \overline{A}(a_1, \dots, a_p)$, $B_1 = \overline{B}(a_{l+1}, \dots, a_p)$.

Правило 2.

ЕСЛИ z_1 около a_1 и z_2 около a_2 и ... и z_p около b_p ,

ТО $x'(t) = A_2 x(t) + B_2 u(t)$, где $A_2 = \overline{A}(a_1, \dots, a_l)$, $B_2 = \overline{B}(a_{l+1}, \dots, b_p)$.

Правило 3.

ЕСЛИ z_1 около a_1 и z_2 около a_2 и ... и z_{p-1} около b_{p-1} и z_p есть a_p ,

ТО $x'(t) = A_3 x(t) + B_3 u(t)$, где $A_3 = \overline{A}(a_1, \dots, a_l)$, $B_3 = \overline{B}(a_{l+1}, \dots, b_{p-1}, a_p)$.

И так далее. Всего правил будет 2^p .

При дефаззификации получаем $x'(t) = \sum_{l=1}^{2^p} M_l(z) (A_l x(t) + B_l u(t))$, где

$$M_1(z) = M_1^1(z_1) \times M_2^1(z_2) \times \dots \times M_{p-1}^1(z_{p-1}) \times M_p^1(z_p),$$

$$M_2(z) = M_1^1(z_1) \times M_2^1(z_2) \times \dots \times M_{p-1}^1(z_{p-1}) \times M_p^2(z_p),$$

$$M_3(z) = M_1^1(z_1) \times M_2^1(z_2) \times \dots \times M_{p-1}^2(z_{p-1}) \times M_p^1(z_p),$$

...

$$M_{2^p}(z) = M_1^2(z_1) \times M_2^2(z_2) \times \dots \times M_{p-1}^2(z_{p-1}) \times M_p^2(z_p).$$

При этом выполняются условия $M_k(z) \geq 0$ и $\sum_{k=1}^{2^p} M_k(z) = 1$.

Полученная нечеткая система является точным представлением системы (1) в области D .

Пусть теперь правая часть i -го уравнения системы (1) может содержать также слагаемые вида: $h_{ij}(x)l_{ij}(x_j)$, где $h_{ij}(x)$, $l_{ij}(x_j)$ – непрерывные в начале координат функции, $i, j=1, 2, \dots, n$, $l_{ij}(x_j)$ – непрерывно дифференцируемая монотонная функция, удовлетворяющая условиям $l_{ij}(0)=0$,

$$a_{ij} < \frac{l_{ij}(y)}{y} < A_{ij} \text{ на отрезке } D_j = \{x_j: x \in D\}.$$

Преобразование таких слагаемых осуществляем следующим образом. Возьмем в качестве величин z_k функции $l_{ij}(x_j)$. Для каждого z_k , максимальное и минимальное значения соответствующей функции $\frac{l_{ij}(y)}{y}$ на отрезке D_j (в точке $y=0$ берем предельное значение, то есть $l'_{ij}(0)$), обозначим соответственно как a_k , b_k , и запишем z_k в виде:

$$z_k = (M_k^1(z_k) \times a_k + M_k^2(z_k) \times b_k) x_j.$$

Отсюда с учетом равенств $M_k^1(z_k) + M_k^2(z_k) = 1$ функции принадлежности при $z_k \neq 0$ имеют вид:

$$M_k^1(z_k) = \frac{z_k - b_k l_{ij}^{-1}(z_k)}{(a_k - b_k) l_{ij}^{-1}(z_k)}, \quad M_k^2(z_k) = \frac{a_k l_{ij}^{-1}(z_k) - z_k}{(a_k - b_k) l_{ij}^{-1}(z_k)},$$

где l_{ij}^{-1} – функция, обратная к l_{ij} , то есть $l_{ij}^{-1}(z_k) = x_j$.

В силу монотонности произведение $a_k b_k$ неотрицательно. Если $l'_{ij}(0)=0$, то либо $a_k > 0$, $b_k = 0$, и тогда в пределе получаем $M_k^1(0) = 0$, $M_k^2(0) = 1$, либо $a_k = 0$, $b_k < 0$, и тогда

$$M_k^1(0) = 1, \quad M_k^2(0) = 0. \quad \text{Если же } l'_{ij}(0) \neq 0, \quad \text{то} \quad M_k^1(0) = \frac{1 - b_k (l_{ij}^{-1})'(0)}{(a_k - b_k) (l_{ij}^{-1})'(0)},$$

$$M_k^2(0) = \frac{a_k (l_{ij}^{-1})'(0) - 1}{(a_k - b_k) (l_{ij}^{-1})'(0)}. \quad \text{Очевидно, полученные функции удовлетворяют условию (3).}$$

Множители $h_{ij}(x)$ следует, если возможно, выразить через уже введенные z_k (например, через z_k выражаются все x_j , являющиеся аргументами функций l_{ij} , поскольку $x_j = l_{ij}^{-1}(z_k)$), либо взять в качестве дополнительных переменных z_k .

Далее записываем правила нечеткой модели по аналогии с рассмотренным выше случаем.

Заметим, что сделанные предположения относительно правой части системы (1) обеспечивают независимость элементов матриц $A(x)$ и $B(x)$ от u , и, следовательно, независимость функций принадлежности от управлений.

Приведенный алгоритм, осуществляющий преобразование системы (1), реализован на языке программирования Pascal в интегрированной среде разработки Borland Delphi 7. На основе построения локальных секторов нелинейностей определяются функции принадлежности и предикатные правила нечеткой модели.

3. Примеры

Для иллюстрации конкретных шагов по построению нечетких моделей рассмотрим два примера.

Пример 1. Рассмотрим нелинейную систему

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = x_1(t) + 9x_2^2(t) \sin(x_1(t)) \\ \dot{x}_2(t) = 5x_1(t) + x_2^3(t) \end{cases} \quad (7)$$

в области $x_1(t) \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$, $x_2(t) \in [-1, 1]$.

Следуя предложенному алгоритму, систему (7) перепишем в виде

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 9x_2(t) \sin(x_1(t)) \\ 5 & x_2^2(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{pmatrix}, \quad (8)$$

$9x_2(t) \sin(x_1(t))$ и $x_2^2(t)$ обозначим как $z_1(t)$ и $z_2(t)$. Тогда система (8) представляется в виде

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & z_1(t) \\ 5 & z_2(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{pmatrix}.$$

Найдем теперь минимальное и максимальное значения $z_1(t)$ и $z_2(t)$, при условии, что

$$x_1(t) \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right], \quad x_2(t) \in [-1, 1].$$

$$\min_{x_1, x_2} z_1 = -9, \quad \max_{x_1, x_2} z_1 = 9$$

$$\min_{x_1, x_2} z_2 = 0, \quad \max_{x_1, x_2} z_2 = 1$$

Выражая функции принадлежности, получим:

$$M_1^1(z_1(t)) = \frac{z_1(t) + 9}{18}, \quad M_1^2(z_1(t)) = \frac{9 - z_1(t)}{18},$$

$$M_2^1(z_2(t)) = z_2(t), \quad M_2^2(z_2(t)) = 1 - z_2(t).$$

В итоге нелинейная система (7) представляется нечеткой моделью Такаги-Сугено, задаваемой с помощью четырех правил:

Правило 1. ЕСЛИ $z_1(t)$ около 9 и $z_2(t)$ около 1, ТО $x'(t) = A_1x(t)$.

Правило 2. ЕСЛИ $z_1(t)$ около 9 и $z_2(t)$ около 0, ТО $x'(t) = A_2x(t)$.

Правило 3. ЕСЛИ $z_1(t)$ около -9 и $z_2(t)$ около 1, ТО $x'(t) = A_3x(t)$.

Правило 4. ЕСЛИ $z_1(t)$ около -9 и $z_2(t)$ около 0, ТО $x'(t) = A_4x(t)$.

Здесь $A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 9 \\ 5 & 1 \end{pmatrix}, A_2 = \begin{pmatrix} 1 & 9 \\ 5 & 0 \end{pmatrix}, A_3 = \begin{pmatrix} 1 & -9 \\ 5 & 1 \end{pmatrix}, A_4 = \begin{pmatrix} 1 & -9 \\ 5 & 0 \end{pmatrix}.$

Найдем теперь матрицу $A(x)$ для системы (7) согласно алгоритму из [3]:

$$f_1(x) = x_1 + 9x_2^2 \sin(x_1); \quad f_2(x) = 5x_1 + x_2^3.$$

$$J_{11}(x) = \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_1} = 1 + 9x_2^2 \cos(x_1), \quad J_{12}(x) = \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_2} = 18x_2 \sin(x_1),$$

$$J_{21}(x) = \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_1} = 5, \quad J_{22}(x) = \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_2} = 3x_2^2.$$

Находим элементы матрицы $A(x)$:

$$A(x) = \{a_{ij}(x)\} = \int_0^1 J_{ij}(x\omega) d\omega, \quad \text{где } i, j = 1..n.$$

$$a_{11}(x) = \int_0^1 J_{11}(x\omega) d\omega = \int_0^1 (1 + 9(x_2\omega)^2 \cos(x_1\omega)) d\omega = 1 + 9x_2^2 \left(\frac{1}{x_1} \sin(x_1) + \frac{2}{x_1^2} \cos(x_1) - \frac{2}{x_1^3} \sin(x_1) \right).$$

$$a_{12}(x) = \int_0^1 J_{12}(x\omega) d\omega = \int_0^1 (18x_2\omega \sin(x_1\omega)) d\omega = -18x_2 \left(\frac{1}{x_1} \cos(x_1) - \frac{1}{x_1^2} \sin(x_1) \right).$$

$$a_{21}(x) = \int_0^1 J_{21}(x\omega) d\omega = \int_0^1 5 d\omega = 5.$$

$$a_{22}(x) = \int_0^1 J_{22}(x\omega) d\omega = \int_0^1 (3(x_2\omega)^2) d\omega = x_2^2.$$

Заметим, что элементы матрицы $A(x)$ неограниченны в начале координат, поэтому построение нечеткой системы Такаги-Сугено невозможно.

Главным недостатком точного представления системы (1) в виде (2) является экспоненциальный рост числа правил с увеличением числа p .

Поэтому целесообразно попытаться «сэкономить» переменные z_k , выразив, если есть такая возможность, некоторые z_k через другие. Рассмотрим данный подход на конкретном примере:

Пример 2. Пусть дана нелинейная система

$$\begin{cases} x_1'(t) = x_2^2(t)x_1(t) \\ x_2'(t) = \frac{5\sin(x_1(t))}{4 + 2\cos(x_1(t))} + x_2^4(t) \end{cases} \quad (9)$$

Будем предполагать, что $x_1(t) \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right], x_2(t) \in [-1, 1]$. Перепишем систему в виде:

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = z_1(t)x_1(t) \\ \dot{x}_2(t) = z_2(t)z_3(t) + (z_1(t))^{3/2}x_2(t), \text{ где} \\ z_1(t) = x_2^2(t); \\ z_2(t) = \frac{5}{4 + 2\cos(x_1(t))}; \\ z_3(t) = \sin(x_1(t)). \end{cases}$$

Найдем минимальное и максимальное значения $z_1(t)$ и $z_2(t)$, при условии, что $x_1(t) \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$, $x_2(t) \in [-1, 1]$.

$$\begin{aligned} \min_{x_1, x_2} z_1 &= 0, & \max_{x_1, x_2} z_1 &= 1 \\ \min_{x_1, x_2} z_2 &= \frac{5}{6}, & \max_{x_1, x_2} z_2 &= \frac{5}{4} \end{aligned} \quad (10)$$

Выражая функции принадлежности, получим:

$$\begin{aligned} M_1^1(z_1(t)) &= z_1(t), & M_1^2(z_1(t)) &= 1 - z_1(t), \\ M_2^1(z_2(t)) &= \frac{12z_2(t) - 10}{5}, & M_2^2(z_2(t)) &= \frac{15 - 12z_2(t)}{5}. \end{aligned}$$

Найдем теперь максимальное и минимальное значения функции $\frac{\sin(x_1)}{x_1}$ при $x_1(t) \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$ и перепишем z_3 в виде:

$$z_3 = \sin(x_1(t)) = (M_3^1(z_3) \times 1 + M_3^2(z_3) \times \frac{2}{\pi})x_1(t).$$

Тогда

$$\begin{aligned} M_3^1(z_3) &= \begin{cases} \frac{z_3 - \frac{2}{\pi} \arcsin(z_3)}{\left(1 - \frac{2}{\pi}\right) \arcsin(z_3)}, & \text{при } z_3 \neq 0, \\ 1, & \text{иначе.} \end{cases} \\ M_3^2(z_3) &= \begin{cases} \frac{\arcsin(z_3) - z_3}{\left(1 - \frac{2}{\pi}\right) \arcsin(z_3)}, & \text{при } z_3 \neq 0, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \end{aligned}$$

Назовем нечеткое множество, соответствующее функции принадлежности M_3^1 , «нулевое», а нечеткое множество, соответствующее функции принадлежности M_3^2 – «ненулевое».

Тогда нелинейная система (9) представляется нечеткой моделью Такаги-Сугено, задаваемой с помощью правил вида:

Правило 1.

ЕСЛИ z_1 около 1 и z_2 около $\frac{5}{4}$ и z_3 нулевое, ТО $\dot{x}(t) = A_1 x(t)$.

Правило 2.

ЕСЛИ z_1 около 1 и z_2 около $\frac{5}{4}$ и z_3 ненулевое, ТО $x'(t) = A_2 x(t)$.

Правило 3.

ЕСЛИ z_1 около 1 и z_2 около $\frac{5}{6}$ и z_3 нулевое, ТО $x'(t) = A_3 x(t)$.

И так далее. Всего $2^3 = 9$ правил.

$$\text{Здесь } A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{5}{4} & 1 \end{pmatrix}, A_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{5}{2\pi} & 1 \end{pmatrix}, A_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{5}{6} & 1 \end{pmatrix} \text{ и т.д.}$$

Список литературы

1. Guerra T.M., Babuška R., Lendek Z., Schutter B. Stability Analysis and Nonlinear Observer Design Using Takagi-Sugeno Fuzzy models // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. - 198 p. - ISBN 978-3-642-16775-1.
2. Tanaka K., Wang H.O. Fuzzy control systems design and analysis : A linear matrix inequality approach. – A Wiley-Interscience publication, 2001. – 305 p. – ISBN 0-471-32324-1.
3. Барбашин, Е.А. Введение в теорию устойчивости / Е.А. Барбашин //.- М.: Наука, 1967. – 224 с.

01.01.02

А.В. Zubov, Л.А. Бондаренко, Н.С. Ужegov

Санкт-Петербургский государственный университет, факультет Прикладной математики – процессов управления, кафедра теории управления, Санкт-Петербург, ddemidova@mail.ru

КРИТЕРИИ ЛИНЕЙНОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ СКАЛЯРНЫХ И ВЕКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ

Статья посвящена одной из главных проблем современного этапа развития науки, техники и технологии, фундаментальным исследованиям в области моделирования, управления, качественного и количественного анализа динамики сложных систем [1].

Ключевые слова: *вектор, функция, точка, линейная независимость, уравнение, система, пространство, матрица, элемент.*

Введение

В связи с техническими прогрессом необходимо разрабатывать новые качественные и количественные методы исследования поведения решений динамических систем, построения программных управлений, заниматься поиском условий устойчивого, надежного и безопасного функционирования сложных динамических систем, имеющих различные особенности. В настоящее время создание новых технологий, сложных информационных и технических систем не может обойтись без развития фундаментальной науки в различных отраслях знаний [2].

Анализ направлений развития науки, существующие научные публикации и тематика международных научных форумов, убедительно говорят о том, что приоритетными задачами, стоящими перед человечеством в XXI веке будут, например, следующие:

- создание новых космических технологий и ракетно-космических систем;
- создание нетрадиционных энергетических технологий, в т.ч. переработки газа и нефти;
- создание общемировой динамической системы связи с использованием спутниковых и лазерных систем;
- глобальное решение транспортной проблемы;
- создание новых биотехнологий для решения продовольственной проблемы;
- создание многофункциональных гибких автоматизированных систем.

Рассмотрим множество вещественных скалярных функций $B_i(t)$, $(i = 1, \dots, n)$, суммируемых с квадратом на промежутке $[0, T]$, $B_i(t) \in L^2[0, T]$.

Теорема 1. [1] Для того чтобы векторные функции $B_i(t)$, $(i = 1, \dots, n)$ были линейно независимы в промежутке $[t_1, t_2]$, необходимо и достаточно, чтобы существовали точки $\tau_1, \dots, \tau_n \in [t_1, t_2]$ такие, что среди строк (столбцов) матриц $B(\tau_j)$ ($B^*(\tau_j)$) было n - линейно независимых.

Доказательство. Необходимость. Пусть существует не более k точек $\tau_1, \dots, \tau_n \in [t_1, t_2]$ таких, что среди строк матрицы $B(\tau_i)$ имеется только k линейно независимых и $k < n$. Тогда любая строка матрицы $B(t)$ для любого $t \in [t_1, t_2]$ является их линейной комбинацией, т.е. принадлежит линейному подпространству L , натянутому на эти k линейно независимых вектора. Так как $k < n$, то существует вещественный вектор $C \neq 0$, ортогональный к этому подпространству $C \perp L$. Таким образом, должно выполняться равенство $B(t)C = 0$ при всех $t \in [t_1, t_2]$, ибо любая строка матрицы $B(t)$ принадлежит подпространству L , и, следовательно, ортогональна вещественному вектору C . Это противоречит линейной независимости векторных функций $B_i(t)$, $(i = 1, \dots, n)$ [3].

Достаточность. Пусть существуют точки $\tau_1, \dots, \tau_n \in [t_1, t_2]$ такие, что среди строк матрицы $B(\tau_i)$, $(i = 1, \dots, n)$ есть ровно n линейно независимых. Допустим, что векторные функции $B_i(t)$, $(i = 1, \dots, n)$ - линейно зависимы. Тогда существует вещественный вектор $C \neq 0$ такой, что справедливо равенство $B(t)C = 0$ при всех $t \in [t_1, t_2]$. Подставим в это уравнение величины $t = \tau_1, \dots, t = \tau_n$. Получим объединённую систему линейных уравнений, ранг которой равен n , так как n строк матрицы этой объединённой системы являются по условию линейно независимыми. Отсюда следует, что существует единственное решение этой системы $C = 0$. Полученное противоречие доказывает, что векторные функции $B_i(t)$, $(i = 1, \dots, n)$ линейно зависимы. Теорема доказана.

Пусть G - матрица размера $(n \times r)$, элементами которой являются вещественные функции ограниченной вариации, заданные на промежутке $[0, T]$. Введем матрицу

$$H(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} dG(\tau) B(\tau).$$

Справедлива теорема.

Теорема 2. [2] Для того чтобы непрерывные функции $B_i(t)$ были линейно независимы в промежутке $[t_1, t_2] \subset [0, T]$, необходимо и достаточно, чтобы существовала матрица G , для которой матрица $H(t_1, t_2)$ невырожденная [4].

Доказательство. Необходимость. Пусть векторные функции $B_i(t)$ - линейно независимы на промежутке $[t_1, t_2]$. Обозначим через $B^+(t)$ матрицу, элементы которой совпадают с элементами матрицы $B^*(t)$, когда они положительны и равны нулю в остальных случаях. Через $B^-(t)$ обозначим матрицу, элементы которой совпадают с элементами матрицы $(-1) \cdot B^*(t)$ в тех случаях, когда они положительны и равны нулю в остальных точках промежутка $[t_1, t_2]$. Очевидно, что имеет место равенство $B^*(t) = B^+(t) - B^-(t)$.

Введем матрицу G , имеющую вид

$$G(t) = \int_{t_0}^t B^+(t) dt - \int_{t_0}^t B^-(t) dt.$$

Отсюда

$$dG(t) = B^*(t), \text{ а } H(t_1, t_2) = A(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} B^* B dt.$$

Легко видеть, что элементы матрицы $G(t) - \{g_{ij}(t)\}$ представляют собой разность неубывающих функций и, следовательно, являются функциями ограниченной вариации в промежутке $[t_1, t_2]$. Так как выполняются условия теоремы 1, то матрица $A(t_1, t_2)$ - положительно определённая и, следовательно, невырожденная. Таким образом, построена матрица G , для которой матрица $H(t_1, t_2) = A(t_1, t_2)$ - невырожденная [5].

Достаточность. Пусть существует матрица G такая, что матрица $H(t_1, t_2)$ - невырожденная. Допустим, что векторные функции $B_i(t)$ - линейно зависимы, тогда существует вещественный вектор $C \neq 0$ такой, что справедливо равенство $B(t)C = 0$ при всех $t \in [t_1, t_2]$. Помножим это равенство слева на $dG(t)$ и проинтегрируем в пределах от $[t_1, t_2]$, получим

$$H(t_1, t_2)C = \int_{t_1}^{t_2} dG(t) B(t) C = 0.$$

Так как по условию теоремы матрица $H(t_1, t_2)$ - неособенная, эта система имеет единственное решение $C = 0$. Полученное противоречие доказывает, что векторные функции $B_i(t)$ являются линейно независимыми. Теорема доказана.

Замечание 1. Если векторные функции $B_i(t)$ не являются непрерывными, то достаточные условия теоремы 2 остаются в силе, т.е. для линейной независимости этих векторных функций достаточно, чтобы существовала матрица G такая, что матрица $H(t_1, t_2)$ является невырожденной [6].

Пример 1. Рассмотрим скалярный случай ($r=1$) в качестве иллюстрации того, что необходимые условия теоремы 2 не будут выполняться. Пусть $b_1(t) = b_2(t)$ всюду в промежутке $[t_1, t_2]$ кроме точки $\bar{t}$, $b_1(\bar{t}) = b_2(\bar{t})$. Функции $b_1(t)$ и $b_2(t)$ - линейно независимы в промежутке $[t_1, t_2]$, но не являются непрерывными. Убедимся, что не существует матрицы G такой, что матрица $H(t_1, t_2)$ - невырожденная. Действительно, пусть такая матрица существует $G(t) = (g_1(t), g_2(t))^*$, тогда

$$H(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} dG(t)B(t) = \int_{t_1}^{t_2} \begin{pmatrix} b_1(t)dg_1 & b_2(t)dg_1 \\ b_1(t)dg_2 & b_2(t)dg_2 \end{pmatrix}.$$

Отсюда вычисляя определитель, получим

$$\det H(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} b_1(t)dg_1 \cdot \int_{t_1}^{t_2} b_2(t)dg_2 - \int_{t_1}^{t_2} b_1(t)dg_2 \cdot \int_{t_1}^{t_2} b_2(t)dg_1 = 0.$$

Справедлива теорема.

Теорема 3. [3] Для того чтобы векторные функции $B_1(t), \dots, B_n(t)$ были линейно независимы в промежутке $[t_1, t_2] \subset [0, T]$, необходимо и достаточно, чтобы существовала совокупность $e_1, \dots, e_m$ каких либо однородных аддитивных операций над этими векторными функциями, чтобы ранг матрицы линейной системы

$$\sum_{i=1}^n c_i e_j[B_i(t)] = 0, \quad (j = 1, \dots, m), \quad t \in [t_1, t_2]$$

был в точности равен n .

Доказательство. Необходимость. Пусть векторные функции $B_i(t)$ - линейно независимы в промежутке $[t_1, t_2] \subset [0, T]$, тогда по теореме 1 существуют точки $\tau_1, \dots, \tau_n$ такие, что среди строк матриц $B(\tau_i)$ есть n линейно независимых. Тогда достаточно взять, $e_j : e_j(B_i(t)) \equiv B_i(t)$ и получим, что ранг исходной системы линейных уравнений в точности равен n , так как эта система содержит n линейно независимых строк [7].

Достаточность. Пусть условия теоремы выполняются, но векторные функции $B_i(t)$ являются линейно зависимыми. Тогда существует вещественный вектор $C \neq 0$ такой, что $B(t)C = 0$ для всех $t \in [t_1, t_2]$. Применим к этому равенству линейные аддитивные операции $e_1, \dots, e_m$. Полученная совместная линейная система

$$e_j[B(t)C] = \sum_{i=1}^n c_i e_j[B_i(t)] = 0, \quad (j = 1, \dots, m), \quad t \in [t_1, t_2]$$

имеет ранг равный n , то есть её единственным решением является вектор $C = 0$. Полученное противоречие доказывает линейную независимость векторных функций $B_i(t)$ [8].

Пример 2. Пусть в промежутке $[t_1, t_2] \subset [0, T]$, заданы скалярные функции, имеющие вид $b_i(t) = t^{i-1}$, ($i = 1, 2, \dots, n$) и линейные аддитивные операции дифференцирования

$$e_j[b_i(t)] = \frac{d^{j-1}b_i(t)}{dt^{j-1}},$$

тогда систему уравнений

$$\sum_{i=1}^n c_i e_j[b_i(t)] = 0, (j = 1, 2, \dots, n)$$

можно переписать в виде

$$\begin{pmatrix} 1 & t & \dots & t^{n-1} \\ 0 & 1 & \dots & t^{n-2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} C = 0.$$

Очевидно, что определитель матрицы системы равен единице для любого $t \in [t_1, t_2]$. Таким образом, по теореме 2, скалярные функции $b_i(t) = t^{i-1}$, $(i = 1, 2, \dots, n)$ линейно независимы в произвольном промежутке $[t_1, t_2] \subset [0, T]$.

Пример 3. Рассмотрим линейную систему обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянной матрицей $\dot{X} = PX$. Известно, что любое её решение имеет вид $X(t) = e^{Pt} X(0)$, где

$$e^{Pt} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(Pt)^n}{n!}$$

- экспоненциал матрицы Pt . Обозначим компоненты любого решения этой системы через $b_i(t)$, т.е. $X(t) = (b_1(t), \dots, b_n(t))^*$.

Покажем, что линейная независимость векторов $X(0), PX(0), \dots, P^{n-1}X(0)$ является необходимым и достаточным условием того, что функции $b_i(t)$ являются линейно независимыми в любом промежутке вещественной оси.

Действительно, для некоторого вещественного вектора C рассмотрим уравнение $C^* X(t) = C^* e^{Pt} X(0) = 0$. Используя операции дифференцирования, по аналогии с предыдущим примером получим объединенную систему $C^* e^{Pt} D = 0$, где $D = (X(0), PX(0), \dots, P^{n-1}X(0))$ - постоянная матрица. Если эта матрица неособенная, то в силу того, что матрица e^{Pt} неособенная для произвольного t получим, что система $C^* e^{Pt} D = 0$ имеет единственное решение $C = 0$. Отсюда вытекает, что компоненты вектора $X(t) = (b_1(t), \dots, b_n(t))^*$ являются линейно независимыми функциями [9].

С другой стороны, если компоненты векторной функции $X(t) = (b_1(t), \dots, b_n(t))^*$ линейно независимы, то векторные функции $X(t), \dot{X}(t), \dots, X^{(n-1)}(t)$ также линейно независимы. Это вытекает из линейной независимости строк матрицы Вронского [11]

$$W(t) = (X(t), \dot{X}(t), \dots, X^{(n-1)}(t)),$$

т.к. из того, что $C^* W(t) = 0$, следует равенство $C^* X(t) = 0$. Отсюда, в силу линейной независимости компонент вектора $X(t) = (b_1(t), \dots, b_n(t))^*$ имеем $C = 0$. Заметим, что $\dot{W} = PW$, но тогда $W = e^{Pt} D$. Если D - особенная матрица, то существует вещественный вектор $C \neq 0$, такой, что $DC = 0$, но тогда можно написать $W(t)C = e^{Pt}(DC) = 0$, что противоречит независимости векторных функций $X(t), \dot{X}(t), \dots, X^{(n-1)}(t)$ (т.е. тому, что матрица $W(t)$ - неособенная) [10].

Выводы

Решение перечисленных ранее проблем не может быть осуществлено без серьезной научной проработки и создания математических моделей и методов исследования динамики

функционирования сложных систем с учетом надежности и безопасности, исследования взаимных соотношений между отказоустойчивостью и эффективностью и т.д., с различного рода особенностями и условиями.

Полученные результаты можно применять для решения вопроса о структурной минимизации [2,3,4].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (пр. № 10-04-000624).

Список литературы

1. *Азбелев Н.В.* Элементы современной теории функционально-дифференциальных уравнений. Методы и приложения / Н.В. Азбелев, В.П. Максимов, Л.Ф. Рахматуллина. – М.: Институт компьютерных исследований – 2002. – 384 с.
2. *А.В. Зубов.* Аналитическая природа случайных последовательностей / А.В. Зубов, И.В. Зубов, С.В. Зубов, И.С. Стрекопытов, М.В. Стрекопытова. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2010. - № 104. – С. 84-89.
3. *Дикусар В.В.* Структурная минимизация стационарных систем управления и наблюдения / В.В. Дикусар, А.В. Зубов, Н.В. Зубов. // Известия Российской Академии наук. Теория и системы управления. – 2010.-№ 4. – С. 13-17.
4. *Дикусар В.В.* Критерий управляемости стационарных систем / В.В. Дикусар, А.В. Зубов, Н.В. Зубов. // Доклады Академии наук, 2010. – Т. 430. - № 1. – С. 13-14.
5. *Барбашин Е.А.* Введение в теорию устойчивости / Е.А. Барбашин. – М.: Наука. – 1967. – 223 с.
6. *Беллман Р.* Дифференциально-разностные уравнения / Р. Беллман, К.Л. Кук. – М.: Мир, 1967.
7. *Зубова А.Ф.* Математические методы исследования надежности колебательных систем / А.Ф. Зубова. – СПб.: - СПбГУ, - 2002. – 516 с.
8. *Зубов Н.В.* Двусторонние матричные дифференциальные уравнения и матричное управление Ляпунова / Н.В. Зубов, Л.Д. Блистанова // XXIII Международная научная конференция. Математические методы в технике и технологиях ММТТ-23. Сборник трудов. Том 1. Секция 1. – Саратов. - Изд-во СГТУ. – 2010.- С. 32-36.
9. *Зубов С.В.* Предельное поведение движений / С.В. Зубов.// XXIII Международная научная конференция. Математические методы в технике и технологиях ММТТ-23. Сборник трудов. Том 1. Секция 1. – Саратов. - Изд-во СГТУ. – 2010.- С. 45.
10. *Зубова О.А.* Анализ равновесных движений и задача идентификации / О.А. Зубова, М.В. Стрекопытова. – СПб.: -СПбГУ, - 2013. – 256с.
11. *Зубов А.В.* Теория устойчивости и теория квазипериодических систем / А.В. Зубов, Н.В. Зубов, С.А. Стрекопытов. – СПб.: - ВВМ, - 2010.- 322 с.

01.01.02

А.В. Zubov, Л.Г. Коляда, В.Б. Орлов

Санкт-Петербургский государственный университет, факультет Прикладной математики -
Процессов управления, кафедра теории управления, Санкт-Петербург, ddemidova@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕПРЕРЫВНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ

Данная статья посвящена созданию математических методов исследования нелинейных динамических систем: построению решений динамических систем, удовлетворяющих различным краевым условиям, исследованию решений динамических систем с последействием; построению программных управлений и движений, удовлетворяющих краевым и начальным условиям; синтезу этих управлений; решению проблем стабилизации программного движения в случае прямого и непрямого регулирования.

Ключевые слова: множество, условие, проблема, стабилизация, матрица, положительная определенность, скаляр.

Введение

В настоящее время, в промышленно развитых странах, развитие современных средств производства и транспорта, в первую очередь, характеризуется созданием все более сложных технических систем и технологических процессов. При эксплуатации этих технических систем и технологических процессов, в связи с увеличением числа составляющих их элементов и усложнением взаимосвязей между ними, естественным образом, на практике, увеличивается интенсивность отказов, что приводит к увеличению числа крупных технических и техногенных катастроф. В последнее время это практически подтверждается увеличением числа различных аварий и катастроф в развитых странах (отказы на АЭС, массовое отключение электричества, аварии на транспорте и т.д.). В связи с этим возникает задача обеспечения безопасности динамики функционирования технических систем и технологических процессов, зависящих от многих параметров и характеризующихся нелинейными связями.

Условия положительной определенности матрицы динамической системы

В дальнейшем, при исследовании проблемы непрерывной стабилизации нам потребуется найти условия, при которых матрица

$$A(t, +\infty, \lambda) = \int_t^{+\infty} B^*(\tau) B(\tau) \exp(-\lambda \tau) d\tau, \quad \lambda > 0, \quad (1)$$

является положительно определенной.

Рассмотрим вначале множество вещественных скалярных функций $b_i(t)$, $(i = 1, \dots, n)$, определенных при $t \geq 0$ и удовлетворяющих условию

$$b_i(t) < h \exp(\mu t), \quad t \geq 0, \quad h > 0, \quad \mu > 0. \quad (2)$$

Будем использовать прежние обозначения $B(t) = (b_1(t), \dots, b_n(t))^*$.

Справедливы следующие теоремы.

Теорема 1. Для того чтобы непрерывные функции $b_i(t)$, $(i = 1, \dots, n)$, удовлетворяющие условиям (2), были линейно независимы на интервале $[t, +\infty)$, $t \geq 0$ необходимо и достаточно, чтобы матрица $A(t, +\infty, \lambda)$ при $\lambda > 2\mu$ была положительно определенной.

Доказательство. Необходимость. Пусть функции $b_i(t)$ $(i = 1, \dots, n)$, удовлетворяющие условиям (2), линейно независимы на некотором интервале $[t, +\infty)$, $t \geq 0$, тогда для любого вещественного вектора $C \neq 0$ выполняется неравенство $B^*(\bar{t})C \neq 0$ хотя бы для одного значения $\bar{t} \in [t, +\infty)$. Из непрерывности функции $B^*(t)C$ вытекает, что в некоторой

окрестности этой точки это неравенство также имеет место, т.е. эта функция сохраняет знак. С другой стороны, в силу неравенства (2) справедливо соотношение

$$(B^*(t)C)^2 < \|C\|^2 h^2 \exp(2\mu t), \quad t > 0.$$

Отсюда следует, что имеет место неравенство

$$C^* A(t, +\infty) C = \int_t^{+\infty} C^* B(\tau) B^*(\tau) C \exp(-\lambda \tau) d\tau = \int_t^{+\infty} (B^* C)^2 \exp(-\lambda \tau) d\tau > 0.$$

Несобственный интеграл стоящий слева в этом неравенстве является сходящимся, т.к. мажорируется несобственным интегралом

$$\|C\|^2 h^2 \int_t^{+\infty} \exp((2\mu - \lambda)\tau) d\tau = \frac{\|C\|^2 h^2 \exp((2\mu - \lambda)t)}{\lambda - 2\mu} \leq \frac{\|C\|^2 h^2}{\lambda - 2\mu}.$$

В силу произвола выбора вещественного вектора $C \neq 0$ из этого неравенства следует то, что матрица $A(t, +\infty, \lambda)$ - положительно определенная. Заметим здесь, что положительная определенность матрицы $A(t, +\infty, \lambda)$ эквивалентна положительной определенности матрицы $A(0, +\infty, \lambda)$.

Достаточность. Пусть матрица $A(t, +\infty, \lambda)$ - положительно определённая. Предположим, что функции $b_i(t)$ ($i=1, \dots, n$), удовлетворяющие условиям (2), линейно зависимы на интервале $[t, +\infty)$, $t \geq 0$, тогда существует вещественный вектор $C \neq 0$ такой, что $B^*(\tau)C = 0$ для всех $\tau \in [t, +\infty)$. Следовательно, справедливо равенство [1]

$$C^* A(t, +\infty) C = \int_t^{+\infty} C^* B(\tau) B^*(\tau) C \exp(-\lambda \tau) d\tau = \int_t^{+\infty} (B^* C)^2 \exp(-\lambda \tau) d\tau = 0.$$

Полученное равенство противоречит положительной определённости матрицы $A(t, +\infty, \lambda)$. Таким образом, мы показали, что функции $b_i(t)$ ($i=1, \dots, n$) - линейно независимы на интервале $[t, +\infty)$, $t \geq 0$ [2]. Теорема доказана.

Теорема 2. Для того чтобы функции $b_i(t)$ ($i=1, \dots, n$) были линейно независимы на интервале $[t, +\infty)$, $t \geq 0$, необходимо и достаточно, чтобы существовали точки $\tau_1, \dots, \tau_n \in [t_1, t_2]$ такие, что постоянные векторы $B(\tau_j)$, ($j=1, \dots, n$) были линейно независимы, т.е. являлись базисом в E^n [12].

Доказательство этой теоремы можно провести по полной аналогии с доказательством теоремы 1.

Рассмотрим теперь вещественные векторные функции $B_1(t), \dots, B_n(t)$, заданные на интервале $[t, +\infty)$, $t \geq 0$, $B_i(t) = (b_{i1}(t), \dots, b_{in}(t))^*$, ($i=1, \dots, n$) и имеющие размерность r . Будем считать, что компоненты этих функций $b_{ij}(t)$ удовлетворяют условиям (2) [2].

Введем в рассмотрение матрицу $B(t)$, столбцами которой являются векторные функции $B_i(t)$, и матрицу $A(t, +\infty, \lambda)$

$$B(t) = (B_1(t), \dots, B_n(t)), \quad A(t, +\infty, \lambda) = \int_t^{+\infty} B^*(\tau) B(\tau) \exp(-\lambda \tau) d\tau.$$

Справедливы теоремы.

Теорема 3. Для того чтобы непрерывные векторные функции, $B_i(t) = (b_{i1}(t), \dots, b_{in}(t))^*$, ($i=1, \dots, n$), компоненты которых $b_{ij}(t)$ удовлетворяют условиям (2), были линейно независимы на интервале $[t, +\infty)$, $t \geq 0$ необходимо и достаточно, чтобы матрица $A(t, +\infty, \lambda)$ была положительно определённой [11].

Доказательство этой теоремы можно провести по полной аналогии с доказательством теоремы 2 с заменой скалярной величины $\sum_{i=1}^n c_i b_i(t)$ на вектор $B(t)C$ [4].

Теорема 4. Для того чтобы векторные функции $B_i(t)$, $(i = 1, \dots, n)$, компоненты которых $b_{ij}(t)$ удовлетворяют условиям (2), были линейно независимы на интервале $[t, +\infty)$, $t \geq 0$ необходимо и достаточно, чтобы существовали точки $\tau_1, \dots, \tau_n \in [t, +\infty)$ такие, что среди строк (столбцов) матриц $B(\tau_j)$ ($B^*(\tau_j)$) было n - линейно независимых.

Доказательство этой теоремы можно провести по полной аналогии с доказательством теоремы 3 [5].

Некоторые способы представления допустимых управлений

Пусть $B_1(t), \dots, B_n(t)$ вещественные векторные функции размерности r , заданные на промежутке $[0, T]$, и такие, что $B_i(t) \in L^2[0, T]$, т.е. эти векторные функции суммируемы с квадратом

$$\int_0^T B_i^*(t) B_i(t) dt < \infty.$$

Будем рассматривать интересующие нас управления $U = U(t)$, как функции, принадлежащие этому же пространству, т.е. $U(t) \in L^2[0, T]$.

Справедлива теорема [3].

Теорема 5. Если векторные функции $B_1(t), \dots, B_n(t)$ - непрерывны и линейно независимы на промежутке $[0, T]$, то для любой функции $U(t) \in L^2[0, T]$ справедливо единственное представление

$$U(t) = \sum_{i=1}^n c_i B_i(t) + V(t), \quad (3)$$

где $c_1, \dots, c_n$ - постоянные величины, а $V(t) \in L^2[0, T]$ - произвольная функция, удовлетворяющая условию

$$\int_0^T B_i^*(t) V(t) dt = 0, \quad (i = 1, \dots, n). \quad (4)$$

Доказательство. Так как векторные функции $B_1(t), \dots, B_n(t)$ - линейно независимы, то по теореме 3 матрица $A(0, T)$ является положительно определенной и тем самым невырожденной. Очевидно, что равенства (3), (4) можно записать в векторной форме, если ввести вектор $C = (c_1, \dots, c_n)^*$ и матрицу $B(t)$, определенную выше [6]

$$U(t) = B(t)C + V(t), \quad (5)$$

где

$$\int_0^T B^*(t) V(t) dt = 0. \quad (6)$$

Если помножить обе части равенства (5) слева на $B^*(t)$ и проинтегрировать в пределах от 0 до T , то получим

$$\int_0^T B^*(t) U(t) dt = \int_0^T B^*(t) B(t) C dt + \int_0^T B^*(t) V(t) dt = A(0, T) C. \quad (7)$$

Откуда вытекает равенство [7]

$$C = A^{-1}(0, T) \int_0^T B^*(t) U(t) dt. \quad (8)$$

Подставляя выражение (8) в разложение (5) получим, что

$$U(t) = B(t)A^{-1}(0, T) \int_0^T B^*(t)U(t)dt + V(t). \quad (9)$$

Покажем, что получено единственное представление векторной функции $U = U(t)$ в виде (5). Предположим противное, т.е. существование двух различных представлений (5)

$$U(t) = B(t)C_1 + V_1(t) \text{ и } U(t) = B(t)C_2 + V_2(t). \quad (10)$$

Вычитая из первого равенства второе, а затем, умножая слева на матрицу $B^*(t)$ и интегрируя в пределах от 0 до T , получим $A(0, T)(C_1 - C_2) = 0$, т.к. матрица $A(0, T)$ - невырожденная, то эта система имеет единственное решение $C_1 = C_2$. Отсюда и из равенств (10) вытекает, что $V_1(t) = V_2(t)$. Теорема доказана.

Замечание. Заметим, что теорема 1 остается в силе, если $B_i(t) \in L^2[0, T]$ и матрица $A(0, T)$ - невырожденная. Если же матрица $A(0, T)$ является вырожденной, т.е. непрерывные векторные функции $B_1(t), \dots, B_n(t)$ - линейно зависимы на промежутке $[0, T]$ или имеют разрывы на этом промежутке, то разложение (5), (6) остается в силе, но уже не будет единственности этого представления [8].

Действительно, обозначим через S матрицу, образованную из матрицы $A(0, T)$ и состоящую из всех k линейно независимых строк этой матрицы. Через H обозначим вектор, образованный компонентами вектора

$$\int_0^T B^*(t)U(t)dt$$

с теми же номерами, что и линейно независимые строки матрицы $A(0, T)$ образующие матрицу S . Тогда, считая, что представление (5), (6) имеет место можно выписать укороченное уравнение (7)

$$H = SC. \quad (11)$$

Будем искать его решение C в виде разложения по линейно независимым строкам матрицы S

$$C = S^* \Gamma + \bar{C}, \quad (12)$$

где $\bar{C}$ вектор, ортогональный строкам матрицы S , т.е. $S\bar{C} = 0$. Подставляя выражение (12) в уравнение (11), получим $H = SS^* \Gamma$. Отсюда решение уравнения (11) имеет вид

$$C = S^*(SS^*)^{-1}H + \bar{C}. \quad (13)$$

Это вытекает из того, что матрица SS^* размера $(k \times k)$ будет положительно определенной и тем самым невырожденной. Справедливость этого утверждения вытекает из того, что для любого вектора $\Gamma \neq 0$ в силу линейной независимости строк матрицы S (столбцов матрицы S^*) выполняется неравенство $S^* \Gamma \neq 0$. Из этого неравенства следует другое неравенство $\Gamma^* SS^* \Gamma = (S^* \Gamma)^2 > 0$, т.е. матрица SS^* является положительно определенной и, следовательно, невырожденной [9].

Подставляя полученное решение уравнения (11) в виде (13) в разложение (5), получим

$$U(t) = B(t)S^*(SS^*)^{-1}H + V(t) + \bar{V}(t), \text{ где } \bar{V}(t) = B(t)\bar{C}. \quad (14)$$

Очевидно, что справедливо соотношение

$$\int_0^T B^*(t)\bar{V}(t)dt = \int_0^T B^*(t)B(t)\bar{C}dt = A(0, T)\bar{C}. \quad (15)$$

Наличие у вектора C произвольной ненулевой составляющей $\bar{C}$, ортогональной к строкам матрицы $A(0, T)$ ($S\bar{C} = 0$), и создает неоднозначность представления (5), т.к. вектор C определен с точностью до вектора $\bar{C}$, являющегося его слагаемым [10].

Выводы

В связи с вышеизложенным, одной из важнейших проблем современного производства, является развитие фундаментальных научных исследований в области обеспечения динамической безопасности функционирования сложных технических систем и технологических процессов. В первую очередь, это касается использования, в качестве объекта исследования, адекватных динамических моделей и создания математических методов исследования их динамической безопасности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (пр. № 10-08-000624).

Список литературы

1. *Азбелев Н.В.* Элементы современной теории функционально-дифференциальных уравнений. Методы и приложения / Н.В. Азбелев, В.П. Максимов, Л.Ф. Рахматуллина. – М.: Институт компьютерных исследований – 2002. – 384 с.
2. *А.В. Зубов.* Аналитическая природа случайных последовательностей / А.В. Зубов, И.В. Зубов, С.В. Зубов, И.С. Стрекопытов, М.В. Стрекопытова. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2010. - № 104. – С. 84-89.
3. *Дикусар В.В.* Структурная минимизация стационарных систем управления и наблюдения / В.В. Дикусар, А.В. Зубов, Н.В. Зубов. // Известия Российской Академии наук. Теория и системы управления. – 2010.-№ 4. – С. 13-17.
4. *Дикусар В.В.* Критерий управляемости стационарных систем / В.В. Дикусар, А.В. Зубов, Н.В. Зубов. // Доклады Академии наук, 2010. – Т. 430. - № 1. – С. 13-14.
5. *Андреев Ю.Н.* Управление конечномерными линейными объектами / Ю.Н. Андреев. – М.: Наука, 1976.
6. *Барбашин Е.А.* Введение в теорию устойчивости / Е.А. Барбашин. – М.: Наука. – 1967. – 223 с.
7. *Беллман Р.* Дифференциально-разностные уравнения / Р. Беллман, К.Л. Кук. – М.: Мир, 1967.
8. *Зубов С.В.* Анализ равновесных движений и расчетная устойчивость / С.В. Зубов, М.В. Стрекопытова. – СПб.: СПбГУ, 2010. – 446 с.;
9. *Зубов И.В.* Анализ систем управления и способы представления программных управлений / И.В. Зубов. – СПб.: ВВМ, 2014. – 150 с.;
10. *Зубов А.В.* Управление динамическими системами / А.В. Зубов, О.А. Шабурова. – СПб.: Изд-во НИИ Химии СПбГУ, 2005. – 83 с.;
11. *Зубов Н.В.* Математические методы исследования устойчивости и надежности технических систем / А.В. Зубов, Н.В. Зубов, С.В. Зубов, А.Ф. Зубова. – СПб.: ВВМ, 2011. – 362 с.;
12. *Зубов С.В.* Математические методы качественного анализа систем управления и устойчивость расчетных движений / А.В. Зубов, С.В. Зубов. – СПб.: АООТ «Мобильность-плюс», 2012. – 357 с.

01.01.02

А.В. Зубов, Г.И. Пупышева, И.С. Виташевская

Санкт-Петербургский государственный университет, факультет Прикладной математики –
Процессов управления, кафедра Теории управления, Санкт-Петербург, ddemidova@mail.ru

УРАВНЕНИЕ ДЛЯ РЕГУЛЯРНОГО ИНТЕГРАЛА

Данная статья посвящена новому подходу к нахождению нового типа структурных особенностей нелинейных систем – интегральных многообразий и исследованию уравнений для регулярного интеграла.

Ключевые слова: *функция, производная, система уравнений, дифференциальный оператор, максимальное число, интеграл.*

Введение

Численное моделирование динамики системы приводит к необходимости аналитического исследования структурных свойств, в число которых входит наличие стационарных интегральных многообразий.

Рассмотрим метод нахождения голоморфных интегралов уравнений динамики систем, не являющихся особыми. Основным инструментом исследования нелинейных систем в последние десятилетия стало численное интегрирование с использованием компьютеров. Однако непосредственное численное интегрирование далеко не всегда способно дать действительную картину поведения решений. Это связано с тем, что дискретные итерационные последовательности, получаемые в результате численного интегрирования уравнений движения, не учитывают основные структурные особенности моделируемой системы, в число которых входят наличие стационарных и нестационарных инвариантных множеств, их свойства и характер предельного поведения траекторий системы. Все это требует тщательного аналитического исследования уравнений динамики для обнаружения этих свойств. Кроме того, сами алгоритмы дискретизации требуют такого их изменения, чтобы указанные структурные свойства непрерывной модели сохранялись и у дискретной модели, уже пригодной для компьютерной реализации. Известно [1], что проблему, связанную с соответствием геометрических представлений, полученных на основе компьютерного моделирования, динамике системы с аттракторами, Смейл [9] считал одной из важнейших математических проблем современности [1].

Работа посвящена новому подходу к нахождению важнейшего типа структурных особенностей нелинейных систем – интегральных многообразий. Наиболее важными структурными особенностями систем являются интегральные многообразия, наличие которых должно учитываться при численном моделировании, так как интегральная кривая не покидает интегрального многообразия, и методы интегрирования должны быть модифицированы таким образом, чтобы существующее интегральное многообразие оставалось инвариантным множеством и для дискретизованной траектории.

Постановка задачи

Пусть динамика изучаемой системы описывается системой уравнений

$$\dot{X} = F(X), \quad (1)$$

где $X = (x_1, \dots, x_n)$, $F = (f_1, \dots, f_n)$ – непрерывно дифференцируемая по своим аргументам векторная функция, относительно которой будем предполагать выполнение некоторых условий, обеспечивающих существование, единственность и продолжимость на полубесконечном интервале $(t_0, +\infty)$ решений системы (1), начинающихся в некоторой области $X_0 \in D_0 \subset E_n$, вещественного евклидова пространства E_n . Из общей теории [1] известно, что такая система имеет в общем случае $n-1$ стационарных первых интегралов

$g_1, \dots, g_{n-1}$. Общие методы нахождения этих интегралов не известны, как не известны и методы интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений, которые были бы столь же универсальными, как правила дифференцирования. Развитие различных подходов, позволяющих отыскивать такие интегралы как в достаточно частных, так и в относительно общих случаях, является классической математической и чрезвычайно важной задачей [2].

Первый интеграл – это функция, постоянная вдоль решения. Пусть $g(X)$ – искомый интеграл. Тогда выполнено соотношение

$$\nabla g \cdot F = 0, \quad (2)$$

Здесь и далее символ $\cdot$ означает скалярное произведение векторов. Так, $a \cdot b = \sum_i a_i b_i$, где $a, b \in E_n$, $a = (a_1, \dots, a_n)$, $b = (b_1, \dots, b_n)$.

Заметим, что уравнение (2) представляет собой линейное однородное дифференциальное уравнение в частных производных первого порядка с коэффициентами, являющимися правыми частями системы (1). Теория интегрирования таких уравнений в случае одного уравнения приводит нас к системе уравнений характеристик, которой для уравнения (2) является система (1). Но в случае, когда имеется несколько таких уравнений, существует стандартная процедура, основанная на применении скобок Пуассона и позволяющая за определенное конечное число операций либо построить полную систему уравнений, находящихся в инволюции, либо сделать вывод об отсутствии решений у такой системы уравнений в частных производных. Однако получение хотя бы еще одного линейного уравнения в частных производных является в общем случае задачей неразрешенной [4].

Если L_1, L_2 – линейные дифференциальные операторы от неизвестной функции u , то функция, удовлетворяющая уравнениям

$$\begin{aligned} L_1(u) &= 0, \\ L_2(u) &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

удовлетворяет и уравнению

$$L_3(u) = L_1(L_2(u)) - L_2(L_1(u)) = 0, \quad (4)$$

причем оператор $L_3(u)$ также является линейным дифференциальным оператором. Это впервые заметил Пуассон, и выражение $L_1(L_2(u)) - L_2(L_1(u))$ носит название *скобка Пуассона*.

Г.К. Якоби отмечал [7], что Пуассон не заметил того, что оператор $L_3(u)$ может получиться линейно независимым с системой (3), тогда процесс конструирования подобных операторов можно продолжить до того момента, когда будет получено максимальное число линейно независимых уравнений $L_1(u) = 0, \dots, L_m(u) = 0$; тогда уравнение (2) имеет $n - m$ независимых решений.

В нашем случае

$$L_1(u) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial u}{\partial x_i} f_i.$$

В задачах механики другие интегралы строятся из соображений симметрии или законов сохранения. В общем случае такие примеры не применимы. Однако можно попытаться построить оператор $L_2(u)$ исходя из достаточно общих предположений об интервале u – однозначности, дифференцируемости, аналитичности [1].

Поскольку общие методы нахождения интегралов не известны, будем, не ограничивая общности, искать стационарный интеграл в рамках достаточно общих предположений о его существовании, однозначности, непрерывной дифференцируемости и представимости в виде

$$x_1 = g(x_2, \dots, x_n), \quad (5)$$

т.е. функции, разрешенной относительно одной из компонент вектора X . Это предположение является скорее общим, чем частным. Выражение (5) может описывать как обыкновенный интеграл системы (1), так и особый [3].

По теореме Н.М. Гюнтера [2], в аналитическом случае особый интеграл вида (5), если существует, либо обращает все коэффициенты f_i в нуль, либо делает по крайней мере один из этих коэффициентов не голоморфным. Отсюда следует, что если (5) – голоморфный интеграл, то он может быть особым в том случае, если многообразие (5) состоит из точек покоя системы (1), что всегда легко устанавливается чисто алгебраическими методами. Отсюда следует, что многообразия, содержащие только точки покоя, в аналитическом случае являются единственно возможными особыми интегралами. Другим важным следствием из этой теоремы является то, что все возможные голоморфные интегралы вида (5), не обращающиеся в нуль все коэффициенты f_i (проверяется алгебраически), являются обыкновенными интегралами, т.е. удовлетворяют уравнению (2) [2].

Рассмотрим функцию

$$u = x_1 + g(x_1, \dots, x_n). \quad (6)$$

Продифференцируем ее и в силу системы (1) получим

$$f_1 - \sum_{i=2}^n g_{x_i} f_i = 0. \quad (7)$$

Здесь и далее $(\cdot)_x = \partial(\cdot)/\partial x$.

Л е м м а. Для любой дважды непрерывно дифференцируемой по своим аргументам функции $u(x_1, \dots, x_n)$ на решениях системы (1) выполнено соотношение

$$\frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{du}{dt} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial u}{\partial x_k} \right) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial u}{\partial x_i} \frac{\partial f_i}{\partial x_k}. \quad (8)$$

Доказательство. В справедливости (8) можно убедиться непосредственной подстановкой

$$\frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{du}{dt} \right) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial u}{\partial x_i} f_i \right) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial^2 u}{\partial x_i \partial x_k} f_i + \sum_{i=1}^n \frac{\partial u}{\partial x_i} \frac{\partial f_i}{\partial x_k}. \quad (9)$$

С другой стороны,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial u}{\partial x_k} \right) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial^2 u}{\partial x_k \partial x_i} f_i. \quad (10)$$

Пользуясь свойством дважды непрерывной дифференцируемости функции $u(x_1, \dots, x_n)$, имеем [4]

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_k \partial x_i} = \frac{\partial^2 u}{\partial x_i \partial x_k}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (11)$$

Сравнивая (9), (10), (11), получаем (8) [3].

Доказательство закончено.

Теорема 1. Непрерывно дифференцируемый интеграл (6) системы (1) удовлетворяет дифференциальному уравнению

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial u}{\partial x_i} \frac{\partial f_i}{\partial x_1} = 0. \quad (12)$$

Доказательство. По предположению функция u является интегралом, т.е. удовлетворяет соотношению $\nabla u \cdot F = 0$. Следовательно, выполнено и соотношение $\partial(\nabla u \cdot F)/\partial x_k = 0$. Поскольку, с другой стороны, справедливо $du_{x_k}/dt = 0$, то соотношение (8) доказывает справедливость утверждения теоремы.

Доказательство закончено.

Следствие. Если функция u интегралом не является, но удовлетворяет уравнению (12), то, делая в системе (1) замену переменных, с новой переменной u можно исключить зависимую переменную x_1 по крайней мере из одной правой части системы (1).

Действительно, вводя по формуле (6) новую зависимую переменную, удовлетворяющую (12), получаем, что правая часть получившегося нового уравнения

$$\dot{u} = \varphi(X)$$

не зависит от x_1 , так как при выполнении (12) справедливо

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x_1} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{du}{dt} \right) = \frac{d}{dt} \frac{\partial u}{\partial x_1} = 0.$$

Таким образом, можно сделать определенный шаг к разделению переменных в системе (1) [5].

Итак, мы получили два линейных однородных дифференциальных уравнения в частных производных первого порядка, которым удовлетворяет интеграл (5), если он существует.

Важным является случай $n = 3$. Тогда можно использовать то, что получающаяся система двух уравнений содержит только две производные неизвестной функции. Сначала эту систему нужно решить как алгебраическую относительно неизвестных производных, а затем, проверяя условие интегрируемости, определить, имеет ли эта система решение в предлагаемом виде [4].

Теорема 1 дает важный инструмент для нахождения инвариантных множеств общих систем.

Рассмотрим следующий пример. Рассмотрим систему уравнений (E.N. Lorenz, 1963) [8]

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -\sigma x + \sigma y, \\ \dot{y} &= rx - y - xz, \\ \dot{z} &= xy - bz.\end{aligned}\tag{13}$$

Эта система описывает так называемый странный аттрактор Лоренца. Который является наиболее упоминаемым математическим объектом двух последних десятилетий. Изучению «странного» поведения интегральных кривых этой системы обязаны хаотическая динамика (теория хаоса [4]). Так называемыми «классическими» значениями параметров являются $\sigma = 10, r = 28, b = 8/3$. Параметры σ, r, b имеют определенный физический смысл и являются положительными величинами. Результат численного интегрирования (а основным методом исследования системы (1) является именно численное интегрирование) можно увидеть на рис. 1 [5].

Система (1) имеет три неустойчивых положения равновесия: точки с координатами $(0,0,0)$ и $(\pm\sqrt{\beta(\rho-1)}, \pm\sqrt{\beta(\rho-1)}, \rho-1)$.

Система (1) знаменита еще тем, что она является «флагманским» примером среди тех нелинейных систем, которые вошли в круг исследования в последние два десятилетия. Эти системы характеризуются наличием нескольких неустойчивых положений равновесия, обладающие компактными глобально притягивающими множествами. Причем наличие компактных глобально притягивающих множеств для таких систем или только предполагалось, или считалось «доказанным» на основе численных экспериментов. Эти математические модели имеют не только теоретическое, но и практическое значение [5].

Однако в прикладных вопросах теории управления аттракторы используются еще весьма слабо, что, кстати, отметил и Смейл [9]. Это связано в первую очередь с тем, что математические доказательства свойств аттракторов в применении к изучению даже тех практически значимых моделей, которые уже известны, либо отсутствуют, либо пока не известны широкому кругу специалистов в области систем управления.

Кроме того, в применении аттракторов в задачах управления есть важный «гносеологический» аспект. Для широкого применения подобных моделей нужны не только строгие математические доказательства, но и достаточная понятность методов их получения.

Действительно, очень заманчивым было бы расширение классов управляемых систем на нелинейные системы, имеющие только неустойчивые положения равновесия. Ранее такие системы из рассмотрения практически исключались [6].

Пример из электродинамики, рассмотренный выше, показывает, что математическая модель, использующая аттрактор, является необходимым математическим аппаратом описания такого класса задач.

Из общей теории известно [3], что нелинейные системы с несколькими положениями равновесия не могут иметь асимптотически устойчивое в целом положение равновесия. Это обстоятельство требует более внимательного изучения вопроса об области притяжения таких систем. Другим важным обстоятельством является то, что граница области притяжения не может уже состоять из целых траекторий, так как положения равновесия не являются асимптотически устойчивыми.

Важнейшей задачей является установление области притяжения инвариантного множества M системы. В практических задачах множество M - это множество возможных состояний управляемой системы в режиме стабилизации [7].

Теорема 1 дает для системы (13) следующие неочевидные функции, производные которых в силу системы не будут зависеть по крайней мере от одной из фазовых переменных:

$$\begin{aligned} u_1 &= z - \frac{by}{x} + C, \quad u_2 = y + \frac{x}{\sigma} + C, \quad u_3 = z - \frac{x^2}{2\sigma} + C, \\ u_4 &= y^2 + (z - r)^2 + C, \quad u_5 = x + \sigma \arctg\left(\frac{y}{r - z}\right) + C. \end{aligned} \quad (14)$$

Очевидная функция $u_6 = x + C$ сразу видна из первого уравнения (13). Функция u_4 сразу является функцией Ляпунова, позволяющей решить вопрос о существовании и устойчивости инвариантного множества. Вычислим ее производную в силу системы (13):

$$\dot{u}_4 = -2y^2 - \left(z - \frac{r}{2}\right)^2. \quad (15)$$

Из последнего соотношения видно, что функция u_4 строго убывает на решениях системы, пока траектория находится вне эллипса, уравнение которого дается соотношением $\dot{u}_4 = 0$ или

$$2y^2 + \left(z - \frac{r}{2}\right)^2 = 0. \quad (16)$$

При «классических» значениях параметров построим границу инвариантного множества – эллипс $u_4 = C = \text{const}$, касающийся эллипса (16) снаружи. Вычисления дают это уравнение $u_4 = 12544/15$.

Из (14), (15) получаем, что проекция любой траектории, начинающейся вне большого эллипса, всегда достигает и пересекает границу эллипса $u_4 = 12544/15 + \varepsilon$, где ε - сколь угодно малое, но конечное число, и остается внутри него. Траектории, начинающиеся внутри большого эллипса, не могут пересечь его границы [11].

Комбинация функций u_3, u_4 дает нам следующую функцию Ляпунова:

$$V_2 = u_4 - 2ru_3 = \frac{r}{\sigma}x^2 + y^2 + (z - 2r)^2. \quad (17)$$

Ее производная в силу системы определяется соотношением

$$\dot{V}_2 = -2rx^2 - 2y^2 - 2b(z - r)^2 + 2br^2. \quad (18)$$

Строим эллипсоид $V_2 = \text{const}$, включающий эллипсоид $\dot{V}_2 = 0$. Глобально устойчивому инвариантному множеству соответствует область пересечения цилиндра $u_4 = 12544/15$ и эллипсоида $V_2 = \text{const} \approx 3,3 \cdot 10^3$. Можно проводить и дальнейшую локализацию притягивающего множества, строя подходящие функции, но заметим, что, поскольку одни области являются притягивающими, а другие – «отталкивающими», то областью, где будет происходить установившееся колебательное движение, будет окрестность точек, что подтверждается и численным интегрированием [8].

Следует отметить, что в задачах управления наиболее важными являются вопрос о существовании и устойчивости инвариантного множества и вопрос о гарантированной области притяжения [12]. Вопрос о характере возникающего колебательного движения – периодического, почти периодического или рекуррентного – не является задачей, рассматриваемой в настоящей работе. Следует только отметить: если бы предельный режим в данном случае представлял собой периодическое решение (предельный цикл), то граница области притяжения, согласно общей теории, состояла бы из целых траекторий, т.е. была бы интегральным многообразием.

Построенная функция V_2 и ход предыдущих рассуждений позволяют нам считать доказанным следующее утверждение [9].

Теорема 2. Все решения системы (13) при положительных значениях параметров σ, r, b ограничены, т.е. система (13) устойчива по Лагранжу. Система (13) имеет компактное асимптотически устойчивое в целом инвариантное множество в смысле общей системы [13].

Выводы

В статье показано, что флагманский пример теории хаоса – модель Э. Лоренца [8] – представляет собой систему, имеющую глобально устойчивое инвариантное в смысле общей системы множество. Предложен метод последовательной локализации инвариантных в смысле общих систем множеств, основанный на построении функций Ляпунова, позволяющих определить области притяжения, может быть, и по части координат. Показано, что в предположении линейности первого стационарного интеграла хотя бы по одной из фазовых переменных его нахождение может быть осуществлено процедурой применения скобок Пуассона, для осуществления которой второе уравнение дается теоремой 1. Эта же теорема указывает способ замены переменных, при которой уравнение для новой переменной не зависит по крайней мере от одной из фазовых координат [10].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (пр. № 10-08-000624).

Список литературы

1. *Зубов А.В.* Динамическая безопасность управляемых систем / А.В. Зубов, Н.В. Зубов. – Изд-во НИИ Химии СПбГУ, СПб., 2009. – 172 с.
2. *А.В. Зубов.* Аналитическая природа случайных последовательностей / А.В. Зубов, И.В. Зубов, С.В. Зубов, И.С. Стрекопытов, М.В. Стрекопытова. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2010. - № 104. – С. 84-89.
3. *Дикусар В.В.* Структурная минимизация стационарных систем управления и наблюдения / В.В. Дикусар, А.В. Зубов, Н.В. Зубов. // Известия Российской Академии наук. Теория и системы управления. – 2010.-№ 4. – С. 13-17.
4. *Дикусар В.В.* Критерий управляемости стационарных систем / В.В. Дикусар, А.В. Зубов, Н.В. Зубов. // Доклады Академии наук, 2010. – Т. 430. - № 1. – С. 13-14.
5. *Гюнтер Н.М.* Интегрирование уравнений первого порядка в частных производных / Н.М. Гюнтер. – М.-Л.:ОНТИ, 1934.
6. *Зубов А.В.* Математические методы качественного анализа систем управления и устойчивость расчетных движений / А.В. Зубов, С.В. Зубов. – ВВМ, СПб., 2011. – 323 с.
7. *Зубов А.В.* Об одном подходе к анализу системы линейных алгебраических уравнений /А.В. Зубов, В.И. Зубов, П.А. Зубов, М.В. Стрекопытова // «Еругинские чтения». Тезисы докладов XIV Международной научной конференции по дифференциальным уравнениям. – Новополюк, 12-14 мая. – 2011. – С. 50.
8. *Зубова А.Ф.* Вычислительный метод В.И. Зубова / А.Ф. Зубова, М.Н. Зубова, М.В. Стрекопытова // «Еругинские чтения». Тезисы докладов XIV Международной научной конференции по дифференциальным уравнениям. – Новополюк, 12-14 мая. – 2011. – С. 32.
9. *Зубов А.В.* Математические методы качественного анализа систем управления и устойчивость расчетных движений / А.В. Зубов, С.В. Зубов. – АООТ «Мобильность-плюс», СПб. - 2012. – 357 с.
10. *Блистанова Л.Д.* Проблемы устойчивости матриц и вычислительных алгоритмов / Л.Д. Блистанова, Г.А. Зеленков, И.В. Зубов, Н.В. Зубов. – СПб.: Изд-во НИИ Химии СПбГУ, 2007.- 150 с.
11. *Якоби К.Г.* Лекции по динамике / К.Г. Якоби. – М.-Л.: ОНТИ, -1936.
12. *Lorenz E.N.* Deterministic non-periodic flow / E.N. Lorenz // J. Atmos. Sci. – 1963.-V.20.- P. 130-141.
13. *Smale S.* Mathematical problems for the next century / S. Smale. // Math. Intelligencer. – 1998. – V. 20. –P. 715.

01.00.00

А.Н. Макарова

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт Транспорта, кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
Тюмень, makarova-a-n@mail.ru

ИНТЕРВАЛЬНЫЙ МЕТОД ГЕНЕРИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

В статье рассматривается проблема генерирования случайных чисел, обосновывается ее актуальность. Проводится анализ существующих методов генерирования, раскрываются их недостатки. Описывается интервальный метод генерирования, приводится блок-схема его алгоритма и метод его использования.

Ключевые слова: имитационная модель, случайные числа, выборка, метод генерирования случайных чисел, алгоритм, псевдослучайность, последовательность случайных чисел, закон распределения.

Для разработки и использования имитационных моделей, особенно для моделей, в которых используется метод Монте-Карло, необходимо иметь выборки случайных чисел [1, 2]. Существуют различные способы их получения. Все методы генерирования случайных чисел можно разделить на аппаратные и программные. В табл. 1 приведены наиболее распространенные алгоритмы генерирования случайных величин.

К недостаткам приведенных методов относятся, во-первых, псевдослучайность, то есть при каждом цикле расчетов последовательность чисел повторяется, во-вторых, низкое качество выборок, то есть недостаточная адекватность нужному закону, а также ориентированность на определенный закон распределения. Для некоторых законов, например ТР [4], аналогичные методы не разработаны.

Таблица 1

Алгоритмы моделирования наиболее часто встречающихся законов распределения случайных величин [3]

Закон распределения	Плотность вероятности	Формула
Показательный закон	$f(t) = \mu e^{-\mu t}$	$t_i = -\frac{1}{\mu} \ln y_i$
Закон Релея	$f(t) = 2\mu^2 t e^{-\mu^2 t^2}$	$t_i = \frac{1}{\mu} \sqrt{-\ln y_i}$
Закон Вейбулла	$f(t) = n\mu^n t^{n-1} e^{-\mu^n t^n}$	$t_i = \frac{1}{\mu} \sqrt[n]{-\ln y_i}$
Закон равномерной плотности	$f(x) = \frac{1}{b-a}$	$x_i = (b-a)y_i + a$
Нормальный закон	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$	$x_i = \arg\Phi^*(y_i) \times \sigma(x) + \bar{x}$
Логарифмически нормальный закон	$f(t) = \frac{1}{\sigma(\ln x)\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \ln \bar{x})^2}{2\sigma^2 \ln x}}$	$x_i = \arg\ln\{\ln x''' \times \sigma(\ln x) + \ln \bar{x}\}$
Закон Пуассона (время между двумя событиями)	$P(\lambda, t) = \frac{(\lambda t)^m}{m!} e^{-\lambda t}$	$t_i = -\frac{1}{\lambda} \ln y_i$
Гамма-распределение (сумма нескольких показательных законов)	$f(t) = \frac{\lambda^a}{\Gamma(a)} t^{a-1} e^{-\lambda t}$, где a – число складываемых законов; λ – параметр	$t_i = -\frac{1}{\lambda} \sum_{l=1}^a \ln y_i$

Закон распределения	Плотность вероятности	Формула
Закон Эрланга	$f(t) = \frac{4t}{n^2} e^{-\frac{2t}{m}}$	$e^{\frac{2t}{m}} (\frac{2t}{m} + 1) = y_i$

На основе проведенного анализа было принято решение о разработке нового метода генерирования случайных чисел, распределенных по любому заданному закону, названного интервальным методом. Он лишен указанных недостатков. Блок-схема его алгоритма представлена на рис. 1.

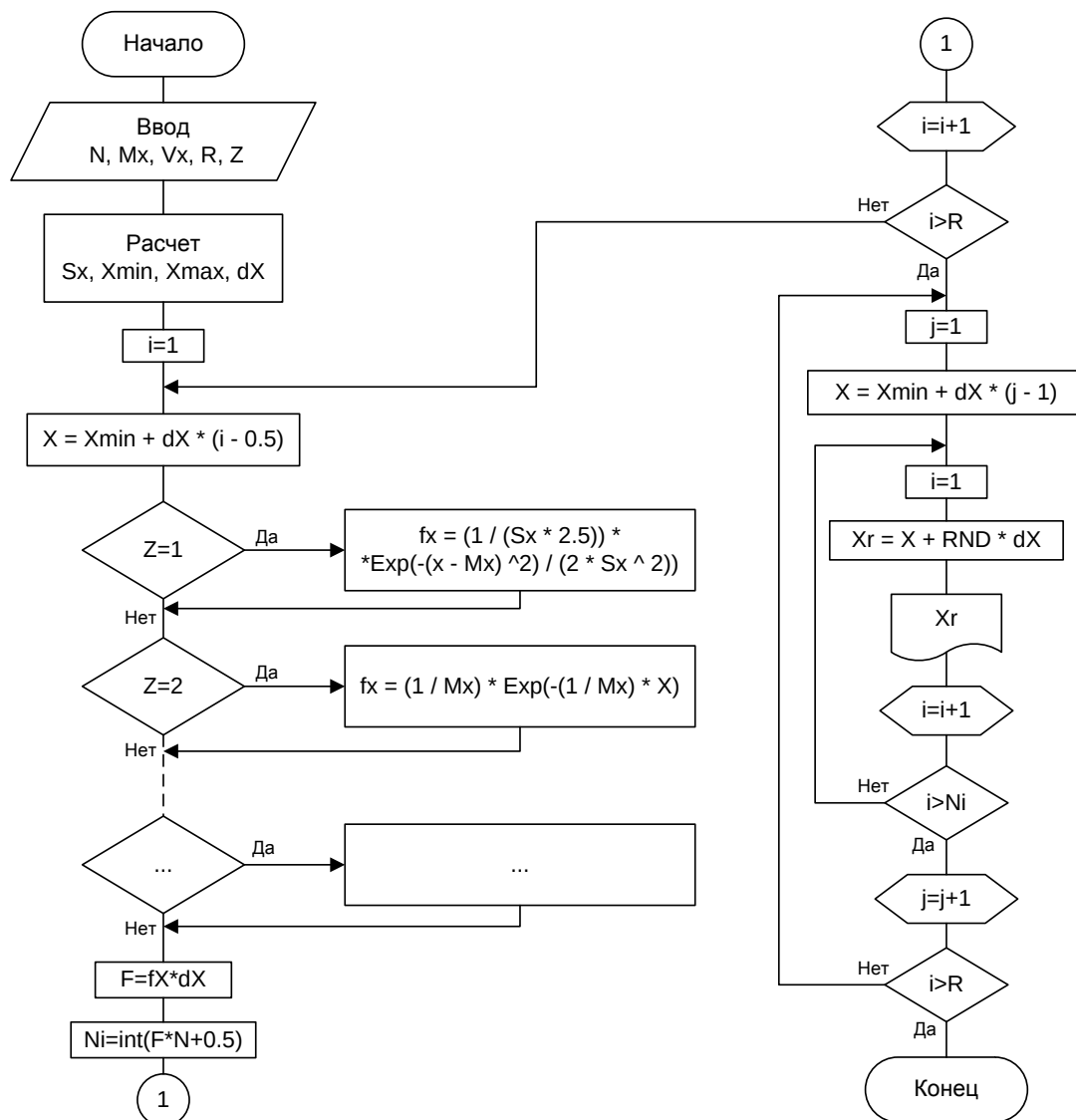


Рис. 1. Блок-схема алгоритма генерирования случайных чисел интервальным методом:

N – объем выборки; Mx – математическое ожидание; Vx – коэффициент вариации; Sx – среднее квадратическое отклонение; R – количество интервалов; Z – номер закона распределения (1 – нормальный, 2 – экспоненциальный; 3 – Вейбулла); dX – длина интервала; X – середина интервала; F – вероятность попадания в интервал; Ni – количество попаданий в интервал; Xr – случайное число

Алгоритм генерирования реализован программой в среде Visual Basic Application в следующих операциях. Сначала с листа Microsoft Excel вводятся исходные данные: объем выборки N , математическое ожидание Mx , коэффициент вариации Vx , количество интервалов R и номер закона распределения Z . Затем производится расчет среднего квадратического отклонения Sx , длины интервала dX , а также минимального и максимального значений случайной величины по следующим формулам:

$$Sx = Mx \cdot Vx;$$

$$X_{\min} = Mx \cdot (1 - 3 \cdot Vx); \text{ If } X_{\min} < 0 \text{ Then } X_{\min} = 0;$$

$$X_{\max} = Mx \cdot (1 + 3 \cdot Vx);$$

$$dX = (X_{\max} - X_{\min}) / R.$$

Далее начинается цикл расчетов по номеру интервала. В цикле производится расчет середин интервалов по формуле:

$$X = X_{\min} + dX \cdot (j - 0.5).$$

После этого осуществляется расчет дифференциальной функции распределения в середине каждого интервала (по выбранному закону Z), а также расчет вероятности попадания в интервал ($F = fX \cdot dX$) и количества попаданий в интервал ($N_i = \text{int}(F \cdot N + 0.5)$).

Счетчик номера интервалов увеличивается на единицу, и проверяется, не превышает ли номер интервала максимальное значение R: если не превышает, то происходит возврат к началу цикла; в обратном случае начинается цикл генерирования равномерно распределенных чисел в интервале. Производится расчет середин интервалов, и начинается цикл по номеру случайного числа в интервале по формуле:

$$X_r = X + \text{RND} \cdot dX.$$

Число записывается на лист Microsoft Excel.

Счетчик номера случайного числа увеличивается на единицу, и проверяется, не превышает ли номер случайной величины максимального значения N_i : если номер не превышает этого значения, то цикл повторяется; в обратном случае производится проверка превышения номера интервала над максимальным значением R. Если номер интервала не превышает данного значения, то происходит возврат к началу цикла, в противном случае расчеты завершаются.

На рис. 2 приведены примеры выборок случайных чисел, сгенерированных по предложенному методу.

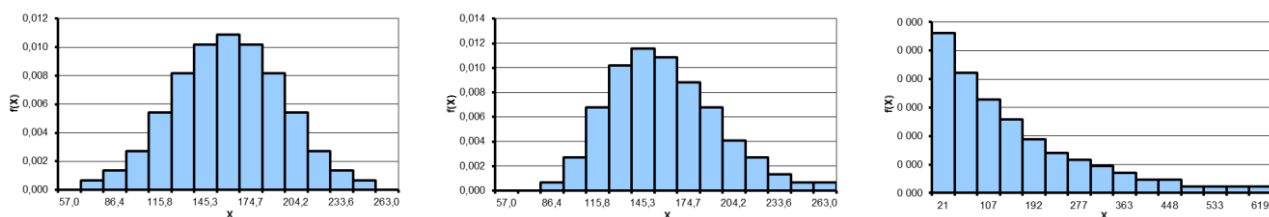


Рис. 2. Выборки случайных чисел, сгенерированные интервальным методом

Описанный метод генерирования позволяет получать выборки случайных чисел, распределенных по выбранному закону, отличающиеся высоким качеством и адекватностью.

Список литературы

1. Захаров, Н.С. Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 2000. – 525 с.
2. Захаров, Н.С. Оценка надежности автомобилей с учетом вариации фактической периодичности технического обслуживания [Текст] / Н.С. Захаров, В.Г. Логачев, А.Н. Макарова // Известия Тульского государственного университета. – 2012. – № 12. Ч 2. – С. 186–191.
3. Завадский, Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта методом имитационного моделирования [Текст] / Ю.В. Завадский. – М.: Транспорт, 1977. – 72 с.
4. Захаров, Н.С. Использование ТР-распределения при моделировании процессов изменения качества автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров // Известия вузов. Нефть и газ. - 1999. - №3. - С. 105-111.
5. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 576 с.
6. Кнут, Д.Э. Искусство программирования [Текст] / Д.Э. Кнут. – 3-е изд. Т. 2. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 682 с.

01.04.14

С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков

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

ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ПСЕВДОКРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК

На основе феноменологической теории критических явлений и гипотезы Бенедика обоснована структура масштабного уравнения состояния в переменных плотность-температура, удовлетворяющего требованиям современной физики критических явлений. Установлено, что предложенное масштабное уравнение не уступает по точности линейной модели Скофилда-Литстера-Хо.

Ключевые слова: уравнение состояния, изохорная теплоемкость, изобарная теплоемкость, свободная энергия, масштабные функции.

Покажем, что на основе гипотезы Бенедика [1] и идей, лежащих в основе феноменологической теории Мигдала [2], может быть получено непараметрическое масштабное уравнение состояния в переменных плотность-температура, по своим расчетным характеристикам не уступающее параметрическому уравнению Скофилда-Литстера-Хо. Гипотеза Бенедика заключается в том, что поведение некоторых термодинамических характеристик на критической и околокритических изохорах в асимптотической окрестности критической точки описывается похожими зависимостями. Например, поведение изобарной C_p , изохорной теплоемкости C_v и изотермической сжимаемости K_T в окрестности критической точки передается степенными законами [3]:

$$C_v(\rho, T)|_{\rho \neq \rho_c} \sim \left| \frac{T - T_1(\rho)}{T_c} \right|^{-\alpha}, \quad K_T(\rho, T)|_{\rho \neq \rho_c} \sim \left| \frac{T - T_2(\rho)}{T_c} \right|^{-\gamma}, \quad (1)$$

$$C_p(\rho, T)|_{\rho \neq \rho_c} \sim \left| \frac{T - T_3(\rho)}{T_c} \right|^{-\gamma}, \quad (2)$$

где γ – критический индекс изотермической сжимаемости; α – критический индекс изохорной теплоемкости; T – абсолютная температура; ρ – плотность; T_c критическая температура; ρ_c – критическая плотность; $T = T_1(\rho)$ – уравнение геометрического места точек, в которых расходится изохорная теплоемкость; $T = T_2(\rho)$ – уравнение геометрического места точек, в которых расходится изотермическая сжимаемость; $T = T_3(\rho)$ – уравнение геометрического места точек, в которых расходится изобарная теплоемкость.

Рассмотрим следующее представление масштабной гипотезы:

$$\Delta S \cdot (C_p)^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} = \varphi_0 + \varphi_2 \cdot \left(\Delta \rho \cdot (C_p)^{\frac{\beta}{\gamma}} \right)^2. \quad (3)$$

Здесь $\Delta S = \rho T_c / p_c (s(\rho, T) - s_0(\rho, T))$; s – энтропия; $s_0(\rho, T)$ – регулярная функция температуры; p_c – критическое давление; β – критический индекс кривой сосуществования; $\Delta \rho = \rho / \rho_c - 1$; φ_0 и φ_2 – постоянные коэффициенты.

В асимптотической окрестности критической точки из (2) получим:

$$C_p(\rho, T) = A |\Delta \rho|^{-\gamma/\beta} (x + x_p)^{-\gamma}, \quad (4)$$

где $x = \tau / |\Delta\rho|^{1/\beta}$ – масштабная переменная; $\tau = T / T_c - 1$; x_p – параметр, значение которого определяется из уравнения:

$$\frac{T_{C_p}(\rho) - T_c}{T_c} = -x_p |\Delta\rho|^{1/\beta}. \quad (5)$$

Заметим, что линия сингулярности изобарной теплоемкости $T_{C_p}(\rho)$ имеет структуру, аналогичную структуре линии насыщения.

Подставим (4) в уравнение (3) и, воспользовавшись термодинамическим равенством $F = -\int SdT$, найдем выражение для свободной энергии Гельмгольца F :

$$\frac{\rho}{\rho_c} F(\rho, T) = |\Delta\rho|^{\delta+1} a_1(x) + \frac{\rho}{\rho_c} F_1(T) + \frac{\rho_c}{\rho_c} A_1(T), \quad (6)$$

где масштабная функция $a(x)$ имеет вид:

$$a_1(x) = A_0(x + x_p)^{2-\alpha} + B_0(x + x_p)^\gamma + C_0, \quad (7)$$

где A_0 , B_0 и C_0 – постоянные.

Обобщением (3) и (4), согласно зависимостям (1), являются выражения:

$$\frac{\rho T_c}{\rho_c} (s(\rho, T) - s_0(\rho, T)) = \sum_{n=1}^3 (X_n)^{\frac{\alpha-1}{\beta}} \left(\Phi_{0n} + \Phi_{2n} (\Delta\rho)^2 (X_n)^{\frac{2\beta}{\chi_n}} \right), \quad (8)$$

$$X_n(\rho, T) = A_n |\Delta\rho|^{-\chi_n/\beta} (x + x_n)^{-\chi_n}, \quad (9)$$

где $X_1(\rho, T) = C_v$; $X_2(\rho, T) = K_T$; $X_3(\rho, T) = C_p$.

Преобразуем выражения (8) и (9) по выше описанной методике к виду, аналогичному (6). В результате получим обобщенное масштабное уравнение:

$$\frac{\rho}{\rho_c} F(\rho, T) = |\Delta\rho|^{\delta+1} a_0(x) + \frac{\rho}{\rho_c} F_0(T) + \frac{\rho_c}{\rho_c} A_0(T), \quad (10)$$

где

$$a_0(x) = \sum_{i=1}^3 A_i (x + x_i)^{2-\alpha} + \sum_{i=1}^3 B_i (x + x_i)^\gamma + C_0. \quad (11)$$

Таким образом, получено физически обоснованное масштабное уравнение (10), (11) в переменных плотность-температура, которое удовлетворяет всем степенным законам, следующим из масштабной гипотезы, и не содержит интегралов от дифференциальных биномов. Обратим внимание, что линия $x = -x_1$ ($\rho \neq \rho_c$) описывает не спинодаль, а линию псевдокритических точек, положение которых на термодинамической поверхности определяется равенствами Рыкова [4]:

$$(\partial T / \partial s)_v = 0 \Leftrightarrow (\partial \rho / \partial p)_T = 0. \quad (12)$$

Полученный результат дает физическое обоснование методу псевдокритических точек [4], который получил широкое распространение при построении как масштабных [5, 6], так и широкодиапазонных уравнений состояния [7]. В частности, в рамках метода нескольких «псевдоспинодальных» кривых [8], разработанного на основе (12), сконструирована масштабная функция свободной энергии [9]:

$$a(x) = A_1 (x + x_1)^{2-\alpha} + A_2 (x + x_2)^{2-\alpha} + B_1 (x + x_3)^\gamma + C. \quad (13)$$

Функция (13) относится к классу степенных зависимостей (11).

Установим такие значения параметров функции (13), чтобы она наиболее полно передавала масштабные функции линейной модели Скофилда-Литстера-Хо (ЛМ):

$$\Delta\mu = r^{\beta\delta}\theta(1-\theta^2), \quad (14)$$

где $\tau = r(1-b^2\theta^2)$, $\Delta\rho = kr^{\beta}\theta$.

Определим коэффициенты A_1 , A_2 , B_1 на основе равенств:

$$f(x)|_{x \rightarrow \infty} = f_l(\theta)|_{\theta \rightarrow 0} \text{ и } h(x)|_{x \rightarrow \infty} = h_l(\theta)|_{\theta \rightarrow 0}, \quad (15)$$

где $f(x)$, $h(x)$ и $f_l(x)$, $h_l(x)$ – масштабные функции изохорной теплоемкости и химического потенциала, полученные в данной работе и на основе линейной модели (14), соответственно.

Постоянную C найдем из условия $h(x = -x_0) = 0$ и тем самым обеспечим выполнение требования равенства химических потенциалов $\mu^+ = \mu^-$ на жидкостной и паровой ветвях линии насыщения $x = -x_0$.

Параметры x_1 , x_2 , x_3 найдем из системы равенств:

$$h(x=0) = h_l(\theta=1/b), \quad s(x=-x_0) = s_l(\theta=1), \quad s(x=0) = s_l(\theta=1/b). \quad (16)$$

Здесь $s(x) = -a'(x)$, $s_l(x)$ – масштабная функция энтропии, рассчитанная, на основе ЛМ (14).

При решении системы уравнений (15)–(16) получены следующие значения искомых параметров: $\varphi_1 = 3.0038$, $\varphi_2 = 16.498$, $\varphi_3 = 6.4290$ ($\varphi_i = x_i / x_0$). Значения параметров φ_i определяются только критическими индексами. В данном случае $\alpha = 0.112$ и $\gamma = 1.24$. Остальные критические индексы рассчитаны из равенств Гриффитса: $2 - \alpha = \beta\delta + \beta$, $\gamma = \beta\delta - \beta$.

На основе сравнения масштабных функций, рассчитанных на базе выражения (13), с масштабными функциями ЛМ установлено, что максимальное отклонение между ними в диапазоне $0 \leq |\theta| \leq 1$ составляет не более 1%. Таким образом, масштабная функция (13) с параметрами, рассчитанными по предложенной методике, не уступает ЛМ, описывает спинодаль в соответствии с равенством $(\partial p / \partial \rho)_T = 0$ [8] и может быть рекомендована для расчета сингулярных составляющих как масштабных, так и широкодиапазонных уравнений состояния.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что масштабная функция в физических переменных (13) является в той же мере физически обоснованной, что и масштабные функции ЛМ.

Список литературы

1. Бенедек Дж. Спектроскопия оптического смещения и ее применения к задачам физики, химии, биологии и техники // УФН. 1972. Т. 106. С. 481.
2. Мигдал А.А. Уравнение состояния вблизи критической точки // ЖЭТФ. 1972. Т. 62. № 4. С. 1559–1573.
3. Лысенков В.Ф., Попов П.В., Рыков В.А. Параметрические масштабные уравнения состояния для асимптотической окрестности критической точки // Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. – М.: Изд-во ИВТАН. 1992. № 1 (93). – 78 с.
4. Рыков В.А. Определение «псевдоспинодальной» кривой на основе термодинамических равенств $(\partial T / \partial s)_v = 0$ и $(\partial v / \partial p)_T = 0$ // Журнал физической химии. 1985. Т. 59. № 11. С. 2905.
5. Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В. Непараметрическое масштабное уравнение состояния, не содержащее дифференциальных биномов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 7.
6. Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков В.А. Асимметричное масштабное уравнение состояния хладагента R23 // Вестник Международной академии холода. 2012. № 4. С. 26–28.
7. Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А., Рыков С.В. Единое неаналитическое уравнение состояния перфторпропана, удовлетворяющее масштабной теории критических явлений // Вестник Международной академии холода. 2013. № 3. С. 22–26.
8. Рыков В.А. Уравнение состояния в критической области, построенное в рамках метода нескольких «псевдоспинодальных» кривых // Журнал физической химии. 1985. Т. 59. № 10. С. 2605–2607.
9. Рыков А.В., Кудрявцев Д.А., Рыков В.А. Метод расчета параметров масштабной функции свободной энергии // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 5. С. 50–53.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.04

¹Т.А. Роздяловская, ²А.Н. Чудинов, ¹Ю.С. Чекрышкин¹Институт технической химии УрО РАН,
лаборатория «Окислительного катализа в расплавах электролитов», Пермь, rozdta@mail.ru²Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
химико-технологический факультет, Пермь, can_16@mail.ru**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ ХЛОРИД-ИОНОВ
В РАСПЛАВЛЕННОЙ СИСТЕМЕ $\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$**

В работе представлены результаты исследования реакции окисления хлорид-ионов в расплавленных смесях хлоридов цинка и магния при барботаже кислорода или воздуха при температуре 600 °С. Установлена зависимость количества образующегося хлора от мольного отношения хлоридов в смеси. Показано, что количество выделившегося хлора прямо пропорционально значениям эффективной поляризующей силы катионов. Рассчитаны константы скорости реакции окисления смеси хлоридов по хлору. Реакция окисления смеси хлоридов имеет нулевой порядок по хлору. Выделены смешанные оксиды Zn–Mg, определены дисперсность, химический состав и удельная поверхность для некоторых образцов.

Ключевые слова: расплавленные хлориды магния и цинка, окисление хлорид ионов, тонкодисперсные оксиды получение.

Оксиды магния и цинка – важные функциональные материалы, применяемые во многих областях науки и техники. Например, оксид цинка, будучи оптически прозрачным широкозонным полупроводником, используется для производства компонентов полупроводниковых приборов, датчиков, УФ-фильтров, солнечных батарей и т.д. Оксид магния в промышленности применяется для производства огнеупоров, цементов, очистки нефтепродуктов, как наполнитель при производстве резины. Сверхлегкая окись магния применяется как очень мелкий абразив для очистки поверхностей, в частности, в электронной промышленности.

Особое внимание в последние десятилетия привлекают нанодисперсные формы оксидов. Известен ряд методов получения тонкодисперсных оксидов: гидротермальный синтез, пиролиз аэрозолей, газофазное осаждение, плазмохимический синтез, химическое осаждение термически нестабильных соединений в растворах с дальнейшим их разложением. Описаны способы получения двойных (и более сложных) оксидов металлов в солевых расплавах за счет взаимодействия простых оксидов и (или) расплавленных кислородсодержащих солей-прекурсоров (нитратов, карбонатов и др. нетермостойких солей) в расплавах бескислородных солей [1–4].

В последнее время получило развитие новое перспективное направление синтеза нанодисперсных порошков оксидов металлов – синтез в расплавленных солевых системах [5–6]. Применение расплавов в качестве реакционной среды позволяет вести процесс при низких температурах 600–800 °С в сравнении с другими методами получения оксидов [7–9]; варьировать морфологию и структуру продуктов реакции [8, 10].

В то же время, число исследований, посвященных получению оксидов металлов из их хлоридов невелико [11–14]. Таким образом, изучение процессов взаимодействия хлоридов металлов с кислородом представляет интерес с точки зрения синтеза тонкодисперсных порошков оксидов соответствующих металлов. В настоящей работе исследована реакция

окисления хлорид-ионов путем барботирования воздуха или кислорода через расплав $\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$.

Экспериментальная часть.

В экспериментах использовали хлориды магния и цинка, иодид калия – марки «хч». Мольное соотношение хлоридов в смеси $\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$ варьировали: 1:1, 1:2 и 1:3.

Процесс получения оксидов проводили следующим образом: навеску хлоридов массой 30 г помещали в корундовый стакан ($h = 80$ мм, $d_{\text{внеш.}} = 40$ мм), который ставили в кварцевый реактор ($h = 300$ мм, $d_{\text{внеш.}} = 45$ мм) и нагревали в трубчатой печи сопротивления до заданной температуры.

Реакционную смесь предварительно доводили до расплавленного состояния, после чего начинали подачу газа. Отходящие газы с целью улавливания газообразного хлора пропускали через склянку Дрекселя с раствором иодида калия (20 г KI/250 мл H_2O). В зависимости от интенсивности выделения молекулярного хлора каждые 30 или 60 мин с момента начала подачи газа отбирали пробу раствора и титровали 0,01 н. раствором тиосульфата натрия до обесцвечивания пробы.

Для выделения образовавшихся при окислении оксидов охлажденный до комнатной температуры плав растворяли в водно-этанольном растворе (1:1) при нагревании с последующим центрифугированием и фильтрованием. Остаточное содержание Cl^- в воде определяли методом капиллярного электрофореза на приборе Agilent G1600 AX. Затем порошки оксидов сушили при температуре 130 °С и прокаливали при 300 и 650 °С. Дисперсность порошков оксидов после выделения и прокаливания определяли на атомно-силовом микроскопе Solver Pro.

Полученные оксиды были исследованы на электронном микроскопе Hitachi-3400 с приставкой для энергодисперсионного анализа (ЭДА) с целью определения формы и размера частиц и их элементного состава.

Фазовый состав в образцах полученных оксидов определяли методом РФА на приборе Shimadzu XRD 7000 с Cu-K_α излучением, напряжение на трубке – 40 кВ, ток – 30 мА. На основании значений полуширины дифракционных отражений исследуемого образца $\text{FWHM}_{\text{экспер}}$ и крупнокристаллического эталона $\text{FWHM}_{\text{этал}}$ определен средний размер кристаллического блока D (нм) в полученном оксиде магния по уравнению Селякова-Шерпера [15]:

$$D = K \lambda / \beta \cos \theta_{HKL},$$

где K – коэффициент, равный 0,94 для рентгенографического анализа [15],

λ – длина волны, для медного анода $\lambda = 0,15406$ нм, β – величина физического уширения линии,

$$\beta = \sqrt{\text{FWHM}_{\text{экспер}}^2 - \text{FWHM}_{\text{этал}}^2}$$

Для определения значения $\text{FWHM}_{\text{этал}}$ использовали данные РФА крупнокристаллических порошков оксидов магния и цинка.

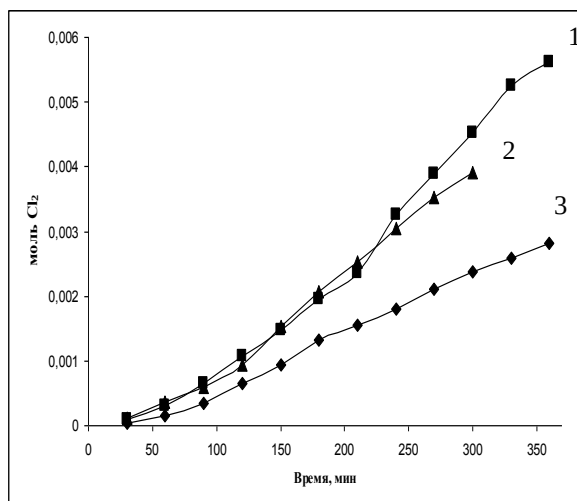
Удельную поверхность, диаметр и объем пор определяли с помощью системы ASAP 2020 (Micromeritics, США) после дегазации исследуемого материала в вакууме при 350 °С в течение 3 ч. Удельную поверхность рассчитывали по методу БЭТ в интервале относительных давлений 0,05–0,37 P/P_0 . Общий объем пор находили из количества азота, адсорбированного при относительном давлении $P/P_0 \approx 0,99$.

Результаты и обсуждение.

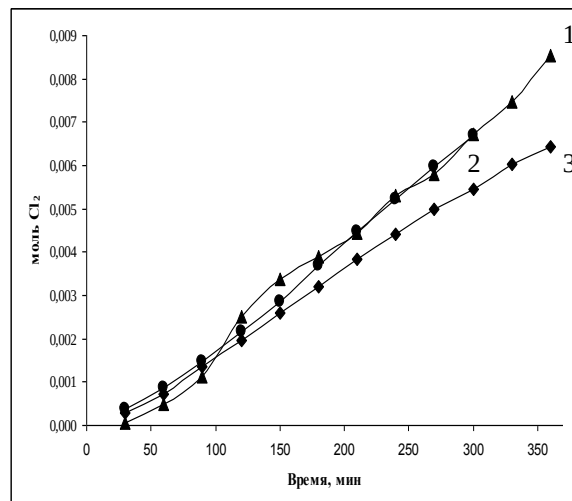
Исследован процесс окисления хлорид-ионов в расплавленной смеси хлоридов магния и цинка при мольном отношении исходных хлоридов 1:1, 1:2, 1:3. Реакция окисления описывается уравнением



Динамика выделения хлора из расплавов $\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$ при температуре 600 °С и барботаже воздуха или кислорода со скоростью 2,5 л/ч приведена на рис. 1.



а



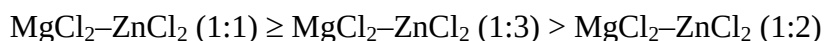
б

Рис. 1а. Динамика выделения хлора из $\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$ при барботаже воздуха (2,5 л/ч) через расплав при температуре 600 °С (мол. отн.): 1 – 1:1, 2 – 1:3, 3 – 1:2,.

Рис. 1б. Динамика выделения хлора из $\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$ при барботаже кислорода (2,5 л/ч) через расплав при температуре 600 °С (мол. отн.): 1 – 1:1, 2 – 1:3, 3 – 1:2,.

Погрешность экспериментов составила менее 10 % при 3–5 кратном повторе. Как видно из данных, приведенных на рис. 1а и 1б, в чистом кислороде реакция окисления Cl^- протекает интенсивнее, чем на воздухе, соответственно и количество образующихся оксидов больше.

Установлено, что количество выделившегося хлора зависит от мольного отношения хлоридов в смеси:



как при барботаже воздуха, так и кислорода (рис. 1 а, б). Следует отметить, что при барботаже кислорода (рис. 1б) количество образующегося хлора практически одинаково для систем $\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$ (1:1) и $\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$ (1:3). При барботаже воздуха через данные системы, на начальном этапе количество образующегося хлора практически одинаково, а затем скорость выделения хлора из расплава $\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$ (1:1) увеличивается (рис. 1а).

Ранее [16] было показано, что при окислении индивидуальных хлоридов магния и цинка реакция протекает с высокой скоростью, и процесс окисления будет лимитироваться стадией диффузии на границе контакта газ-расплав.

Таблица – Константы скорости реакции окисления Cl^- при барботаже воздуха или кислорода (2,5 л/ч) через расплав $\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$

Состав смеси	Т, °С	$k_0 \cdot 10^7$, моль/с	
		воздух	кислород
$\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$, 1:3	600	2,51±0,84	4,03±0,40
$\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$, 1:2	600	1,42±0,15	3,31±0,30
$\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$, 1:1	600	2,84±0,56	4,42±1,07

Рассчитаны константы скорости реакции окисления смеси хлоридов по количеству образующегося хлора. Показано, что реакция окисления смеси хлоридов имеет нулевой порядок по хлору, как и в случае окисления индивидуальных хлоридов (табл.).

Смешанные оксиды магния и цинка были выделены из отвержденных расплавов, определены дисперсность, химический состав и удельная поверхность для некоторых образцов.

Смесь $\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$, 1:1.

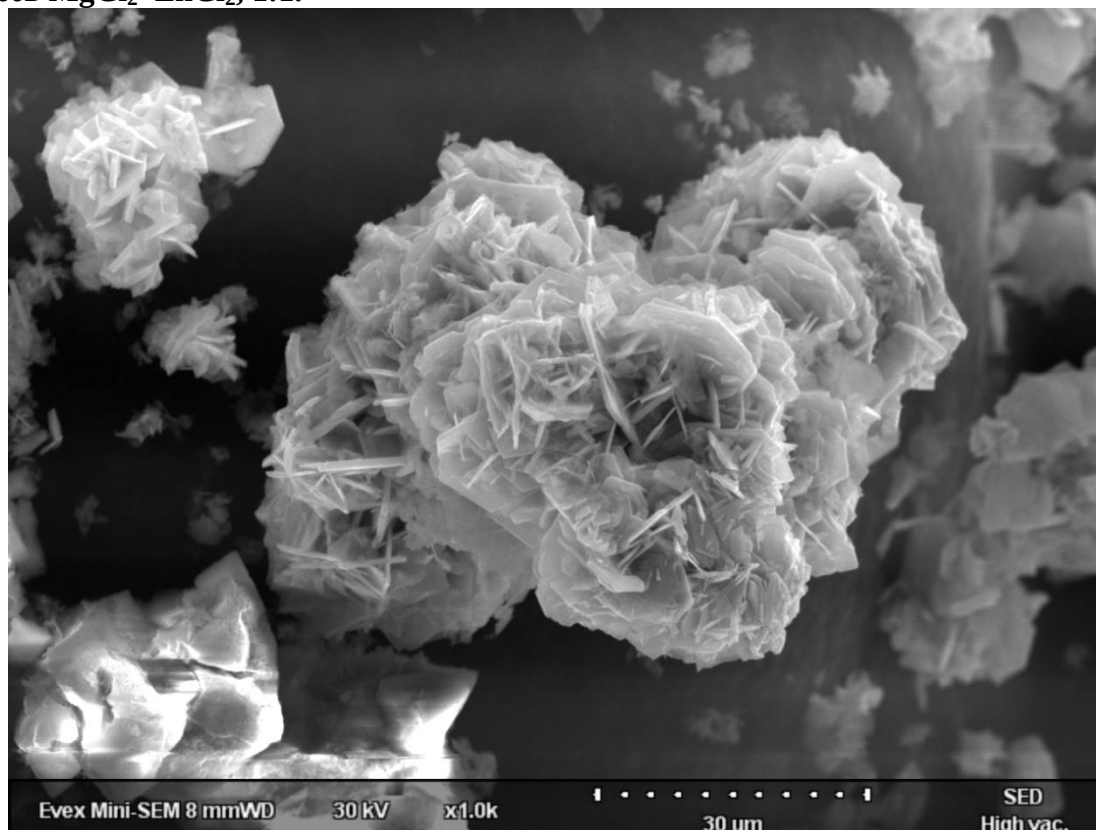


Рис. 2. Изображение порошка смеси оксидов Mg–Zn с электронного микроскопа

Проведен рентгенофазовый анализ образца смеси оксидов, полученной в результате барботаж кислорода через расплав хлоридов магния и цинка (рис. 3, 4).

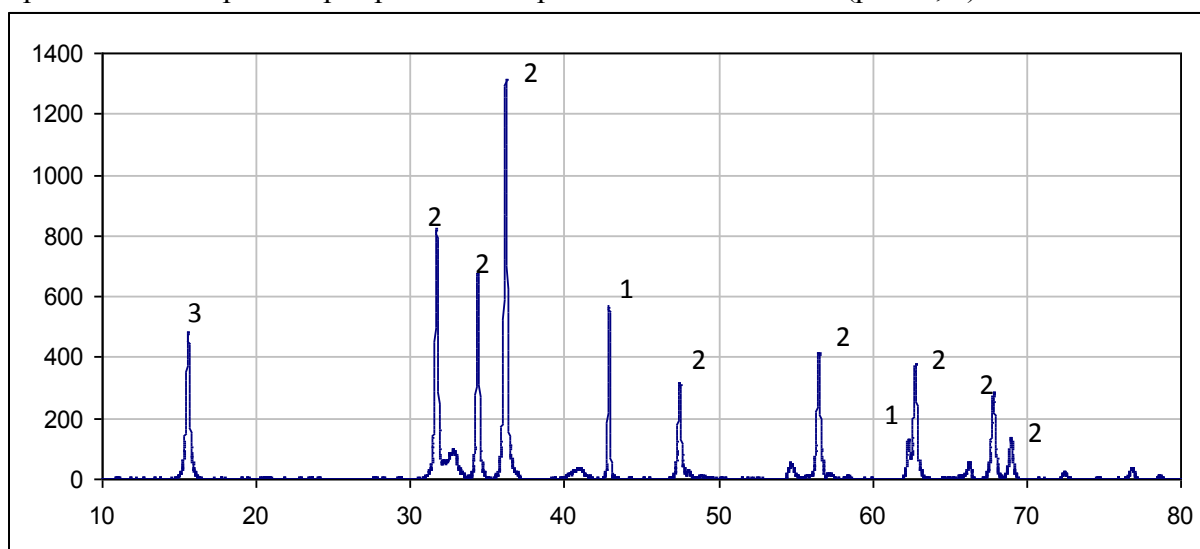


Рис. 3. Результаты РФА смеси MgO--ZnO (мол. отношение исходных хлоридов 1:1, барботаж O_2) после прокаливании в течение 5 ч при 300°C : 1 – MgO ; 2 – ZnO ; 3 – MgOHCl .

Помимо оксидов магния и цинка в образце обнаружены MgOHCl , ZnOHCl и $\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. На рентгенограмме образца (рис. 10) после его повторного прокаливания при температуре 650°C в течение 5 ч присутствуют рефлексы MgO , ZnO , ZnCl_2 и $\text{Zn}(\text{OH})_2$.

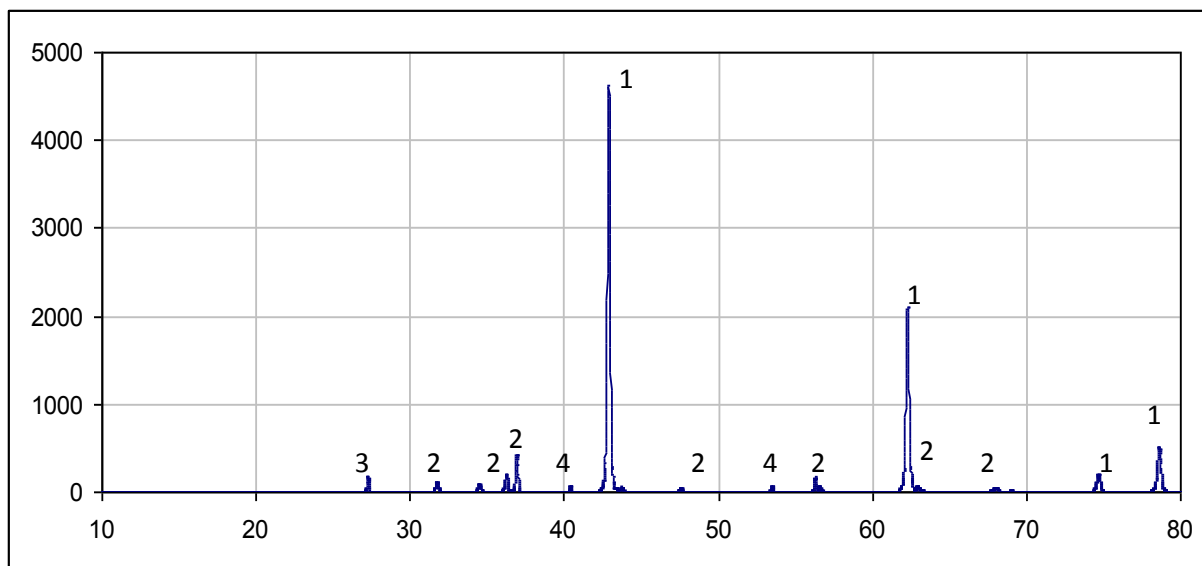


Рис. 4. Результаты РФА смеси MgO-ZnO (мол. отношение исходных хлоридов 1:1, барботаж O_2) после прокаливания в течение 5 ч при 650°C :
1 – MgO ; 2 – ZnO ; 3 – ZnCl_2 , 4 – $\text{Zn}(\text{OH})_2$.

Смесь $\text{MgCl}_2\text{-ZnCl}_2$, 1:2.

РФА образца полученной смеси оксидов Mg-Zn показал наличие MgO , ZnO , а также следующих соединений: MgOHCl , ZnOHCl , $\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Mg}_3(\text{OH})_4\text{Cl}_2$.

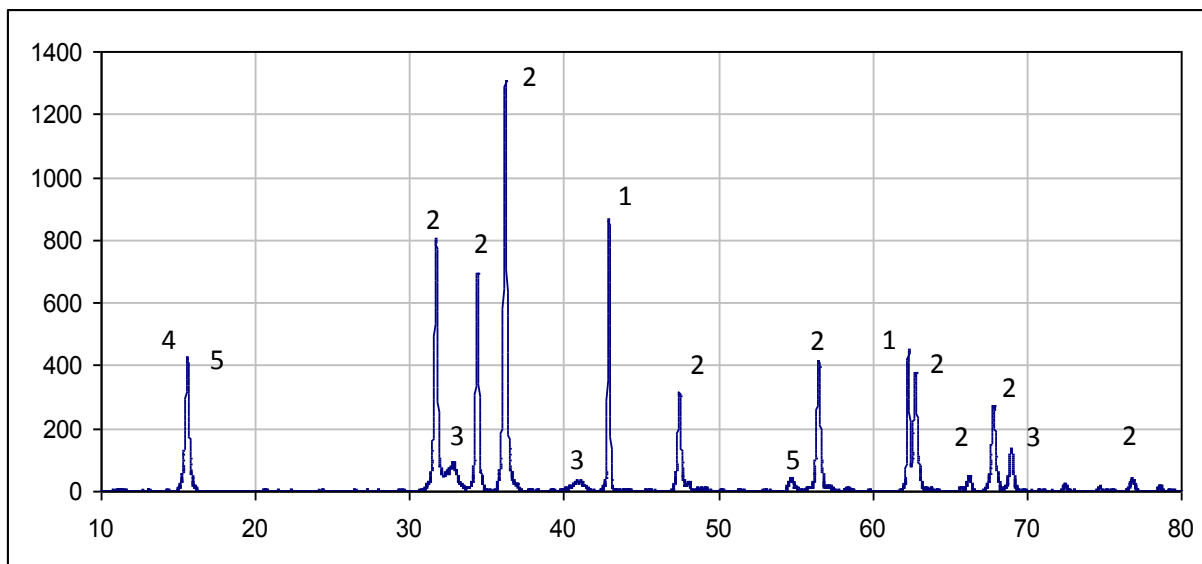


Рис. 5. Результаты РФА смеси MgO-ZnO (мол. отношение исходных хлоридов 1:2, барботаж O_2) после прокаливания в течение 5 ч при 300°C :
1 – MgO ; 2 – ZnO ; 3 – $\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 4 – $\text{Mg}_3(\text{OH})_4\text{Cl}_2$, 5 – MgOHCl .

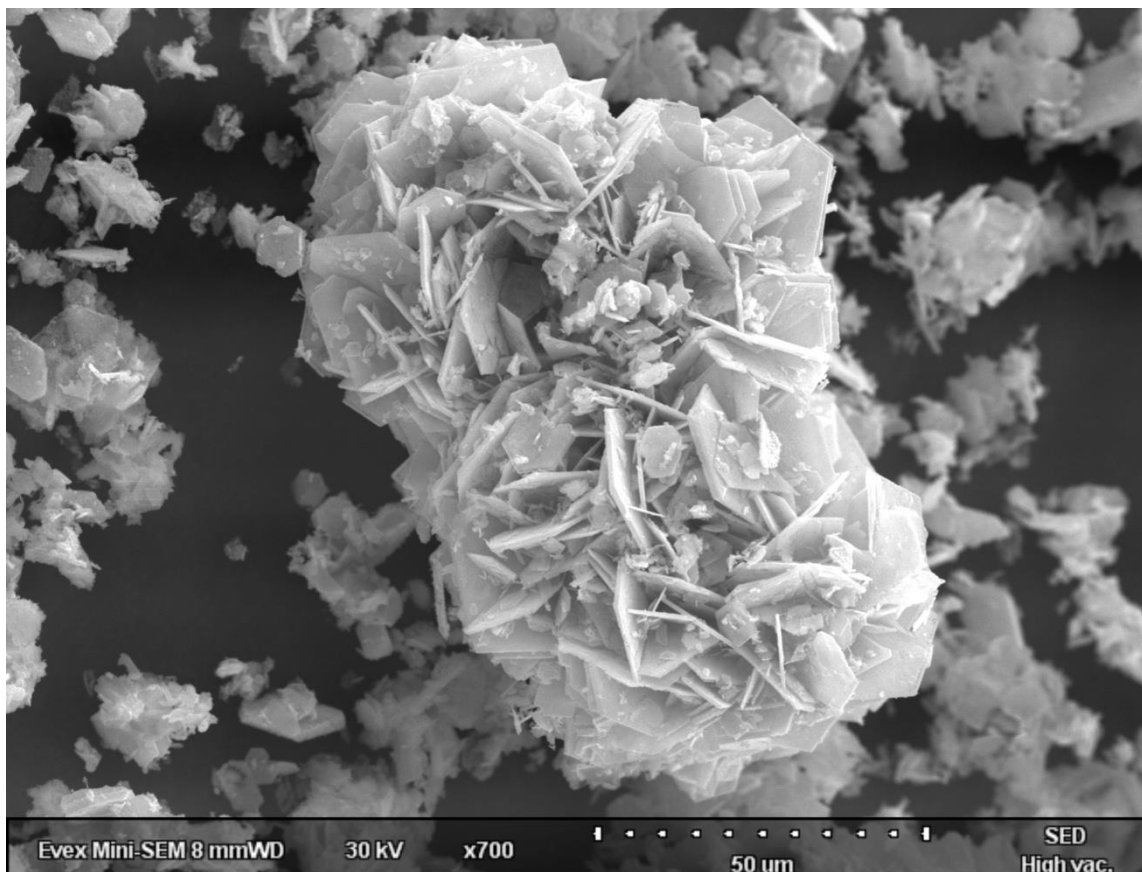


Рис. 6. Изображение порошка смеси оксидов Mg–Zn с электронного микроскопа

Этот факт свидетельствует о возможности регулирования содержания оксидов в процессе получения смесей оксидов магния и цинка, которые являются перспективными компонентами разнообразных материалов.

Определен средний размер кристаллического блока D (нм) в полученных оксидах магния и цинка по уравнению Селякова-Шеррера: $D_{\text{MgO}} = 62$ нм; $D_{\text{ZnO}} = 58$ нм. У смеси оксидов, полученной в результате окисления $\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$ (1:1, кислород), значения удельной поверхности и объема пор соответственно равны $3,02 \text{ м}^2/\text{г}$ и $0,01 \text{ см}^3/\text{г}$, средний размер пор равен 26 нм.

Размеры частиц смеси оксидов Mg–Zn, определенные с помощью атомно-силового микроскопа, находятся в пределах 30–200 нм.

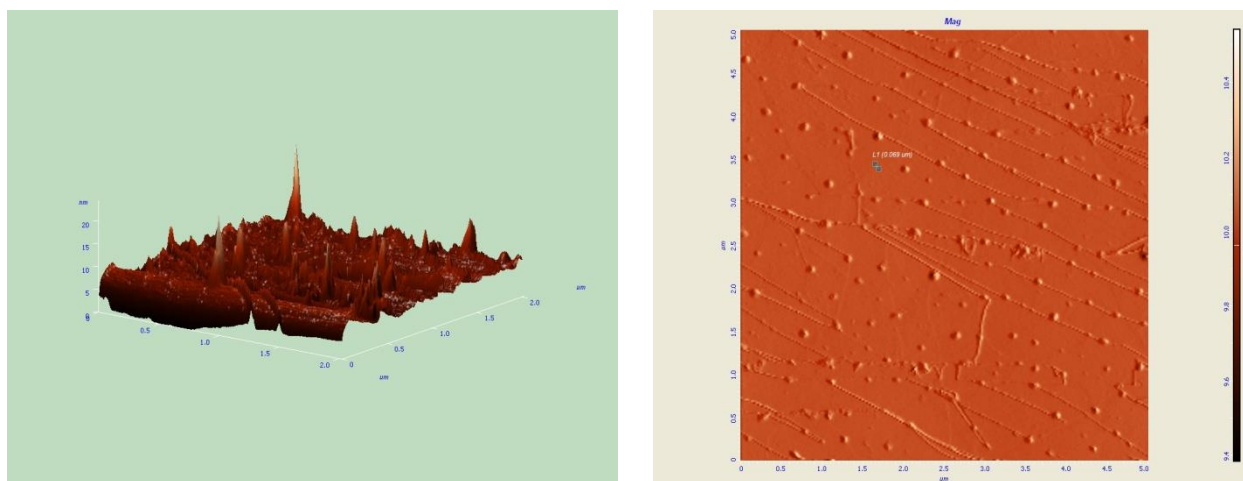


Рис. 7. Изображение графитовой подложки с нанесенными оксидами MgO–ZnO ($\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$ (1:1), барботаж кислорода)

На основании полученных результатов можно утверждать, что реакция окисления хлорид-ионов в расплавленных хлоридах представляет интерес для получения оксидов металлов. Данный метод позволяет получать как наноразмерные (в случае оксида цинка) так и более крупнокристаллические, но наноструктурированные частицы оксидов, например, оксид магния. При окислении хлорид-ионов в расплаве смеси хлоридов магния и цинка оксид магния образуется в первую очередь и может служить носителем для образующегося с меньшей скоростью оксида цинка.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №13-03-00166_a.

Список литературы

1. Park M., Choi C.L., Lim W.T., Lim M.C., Choi J., Heo N.H. Molten-salt method for the synthesis of zeolitic materials. Micropor. Mesopor. Mat. – 2000. – Vol. 37. – № 1–2. – P. 81.
2. Volkovich V., Griffiths T.R., Fray D.J., Fields M., Wilson P.D. Oxidation of UO_2 in molten alkali-metal carbonate mixtures: formation of uranates and diuranates. J. Chem. Soc., Faraday Trans. – 1996. – Vol. 92. – № 24. – P. 5059.
3. Wang T.X., Liu S.Z., Chen J. Molten salt synthesis of SrTiO_3 nanocrystals using nanocrystalline TiO_2 as a precursor. Powder Technol. – 2011. – Vol. 205. – № 1. – P. 289.
4. Bortolani F., Dorey R.A. Molten salt synthesis of PZT powder for direct write inks. J. Eur. Ceram. Soc. – 2010. – Vol. 30. – № 12. – P. 2073.
5. Елишина Л.А., Кудяков В.Я., Малков В.Б., Елишин А.Н. Высокотемпературный электрохимический синтез тонких, оксидных слоев и нанопорошков оксидов некоторых металлов. Физика и химия стекла, 2008. Т. 34. №5. С. 808.
6. Li Zushu, Zhang Shaowei, Lee William Edward. Molten salt synthesis of LaAlO_3 powder at low temperatures. J. Eur. Ceram. Soc. 2007. Vol. 27. № 10. P. 3201.
7. Roy B., Ahrenkiel S.P., Fuierer P.A. Controlling the Size and Morphology of TiO_2 Powder by Molten and Solid Salt Synthesis. J. Am. Ceram. Soc. – 2008. – Vol. 91 – № 8. – P. 2455.
8. Zhou Ch.-C., Liu F.-M., Peng D., Cai L., Zhong W. Effect of heat treatment on the highly corrosion-resistant $\text{Cu}_{70}\text{Ni}_{27.7}\text{Fe}_{2.3}$ alloy. J. Alloy Compd. – 2010. – Vol. 505 – № 2. – P. 573.
9. Ganguli A.K., Nangia S., Thirumal M., Gai P.L. A new form of MgTa_2O_6 obtained by the molten salt method. J. Chem. Sci. – 2006. – Vol. 118. – № 1. – P. 37.
10. Jiang Z.-Y., Xu T., Xie Z.-X., Lin Z.-W., Zhou X., Xu X., Huang R.-B., Zheng L.-S. Molten Salt Route toward the Growth of ZnO Nanowires in Unusual Growth Directions. J. Phys. Chem. B. – 2005. – Vol. 109. – № 49. – P. 23269.
11. Pat. 6994636 US, US B2. Method of Recovering Chlorine Gas from Calcium Chloride. Опыбл. 4.03.2004.
12. Kondo T., Sukigara T., Itoh K., Azuma N., Ueno A. Chlorine Gas Recovery from Waste PVC through CaCl_2 -Reaction between Molten CaCl_2 and Oxygen Gas. Ind. Eng. Chem. Res. – 2003. – Vol. 42. – № 24. – P. 6040.
13. Kopalko K., Godlewski M., Domagala J.Z., Lusakowska E., Minikayev R., Paszkowicz W., Szczerbakow A. Monocrystalline ZnO Films on $\text{GaN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ by Atomic Layer Epitaxy in Gas Flow. Chem. Mater. – 2004. – Vol. 16. – P. 1447.
14. Чекрышкин Ю.С., Чудинов А.Н., Роздяловская Т.А., Федоров А.А. Окисление хлоридов цинка и бария кислородом с целью получения хлора и мелкодисперсного оксида цинка. Журнал прикладной химии. 2010. Т. 83. № 8. С. 1355.
15. Шабанова Н.А., Попов В.В., Саркисов П.Д. Химия и технология нанодисперсных оксидов: Учебное пособие. – М.: Академкнига, 2007. – 309 с.
16. Чекрышкин Ю.С., Чудинов А.Н., Федоров А.А., Роздяловская Т.А. Окисление хлорид-ионов в расплавленных хлоридах щелочноземельных металлов, магния и цинка. Журнал неорганической химии. 2012. Т. 57. № 11. С. 1523.

02.00.04

К.С. Чемезова, Н.М. Хлынова

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
г. Тюмень, khlynova.natalia@gmail.com

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ ГИДРОКСИДА ТАЛЛИЯ НА СТЕКЛОУГЛЕРОДНОМ ЭЛЕКТРОДЕ

На вольтамперограммах электрорастворения осадков, образующихся на стеклоуглеродном электроде в растворах, содержащих ионы одновалентного таллия, регистрируется один пик тока. Площадь под пиком электрорастворения линейно зависит от концентрации ионов таллия в растворе и может быть использована для их определения. Рекомендованы оптимальные условия электроосаждения и электрорастворения осадков.

Ключевые слова: Электроосаждение, стеклоуглеродный электрод, ионы таллия, анодные пленки.

Электрохимическое концентрирование таллия в виде малорастворимого соединения на поверхности графитового электрода было предложено в работе [1] в связи с разработкой способов определения микроколичеств таллия методом инверсионной вольтамперометрии.

Стеклоуглеродный электрод имеет ряд преимуществ перед графитовым: он прост в изготовлении, легко поддается механической полировке, его можно использовать в более широком диапазоне pH. В настоящей работе исследована возможность и особенности образования и электрорастворения микроколичеств осадка (предположительно гидроксида таллия(III)) на поверхности стеклоуглеродного электрода.

Процесс образования соединения на электроде можно представить следующей схемой:



Процесс электрорастворения соединения с поверхности электрода при линейной развёртке потенциала протекает в обратном направлении:



Стеклоуглеродный дисковый электрод был изготовлен авторами из цилиндрического стержня, впрессованного в цилиндрический тefлоновый держатель; рабочей поверхностью электрода являлся торец цилиндрического стержня площадью $(4.2 \pm 0.1) \cdot 10^{-2}$ см². Выступающая наружу часть стержня стачивалась наждачной бумагой до плоскости тefлоновой оболочки. Последующая обработка заключалась в механической полировке торца на смоченном взвесью оксида хрома (III) в воде войлочном круге. Перед проведением серии измерений электрод заново полировали, споласкивали концентрированной H₂SO₄ и трижды перегнанной водой.

Поляризационные кривые электрорастворения предварительно сформированных на электроде осадков регистрировали на полярографе ПУ-1 с трехэлектродной схемой измерений. В качестве вспомогательного электрода и электрода сравнения использовали насыщенный хлорсеребряный электрод.

Стандартные растворы, содержащие ионы одновалентного таллия, готовили из реактивов марки ч.д.а., фоновые растворы – из реактивов марки о.с.ч; для приготовления растворов использовалась трижды перегнанная вода. Раствор в электрохимической ячейке тщательно деаэрировали аргоном марки х.ч., скорость протекания газа контролировали водяным манометром. Для перемешивания раствора и поддержания постоянных гидродинамических условий использовали магнитную мешалку.

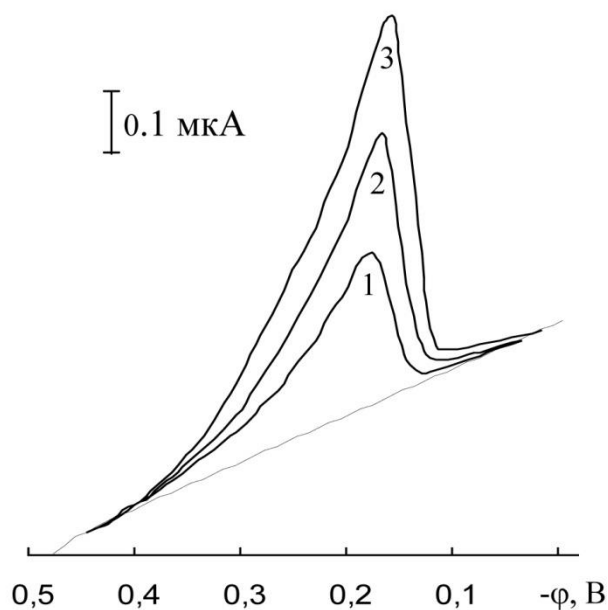


Рис. 1– Вольтамперограммы электрорастворения при различных концентрациях Tl^+ в растворе $0.02 \text{ M Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + x \text{ M H}_2\text{SO}_4$ ($\text{pH}=8.8$), $\phi_3=1.0 \text{ В}$; $t_3=200 \text{ с}$; $w=2 \text{ мВ/с}$; $C, \text{ M}$: 1 – $2 \cdot 10^{-6}$; 2 – $3 \cdot 10^{-6}$; 3 – $5 \cdot 10^{-6}$

Электроосаждение проводилось из растворов тетрабората натрия, содержащих $10^{-6} \div 10^{-4} \text{ M TlNO}_3$ при варьировании параметров: потенциала, времени электроосаждения, pH раствора. Установлено, что малорастворимое соединение на поверхности электрода образуется при потенциалах более положительных, чем 0.70 В и в диапазоне $\text{pH}=7.0 \div 9.2$.

На рис. 1 приведены типичные вольтамперограммы электрорастворения осадков, полученных на электроде при потенциале электроосаждения $\phi_3=1.0 \text{ В}$ в растворах, содержащих менее, чем $5 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л Tl}^+$.

Кривые имеют вид четко выраженных пиков тока, высота которых возрастает с увеличением концентрации ионов Tl^+ в растворе.

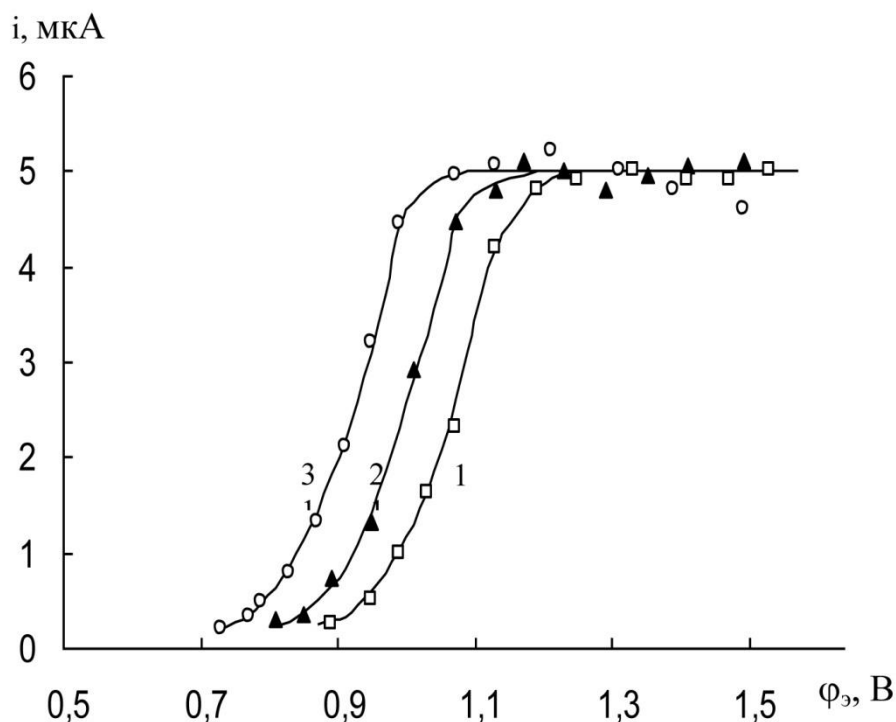


Рис. 2– Зависимости максимального тока электрорастворения от потенциала предварительного электролиза раствора 0.02 М $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ + x М H_2SO_4 , содержащего ионы Tl^+ , $w=2$ мВ/с; $C=1 \cdot 10^{-5}$ М; $t_3=300$ с; рН: 1 – 7.7; 2 – 8.8; 3 – 9.05

На рис. 2 приведены зависимости максимального тока электрорастворения образовавшегося на электроде соединения от потенциала предварительного электролиза. При увеличении потенциала электролиза количество соединения на электроде и высота пика электрорастворения сначала возрастают, а затем стремятся к постоянному значению, соответствующему предельному току диффузии ионов Tl^+ к поверхности электрода.

Как видно из рисунка, начальный потенциал электроосаждения с увеличением рН раствора сдвигается в область менее положительных значений. Следует отметить, что начальный потенциал электроосаждения зависит также и от концентрации ионов Tl^+ . Потенциал пика и ширина полупика электрорастворения практически не изменяются при изменении потенциала электролиза, из чего можно сделать вывод, что состав образующегося на электроде осадка остается постоянным при изменении потенциала электролиза.

С увеличением концентрации ионов Tl^+ в растворе количество образующегося на электроде соединения и максимальный ток его электрорастворения возрастают. Характер этих зависимостей меняется в различных диапазонах концентраций.

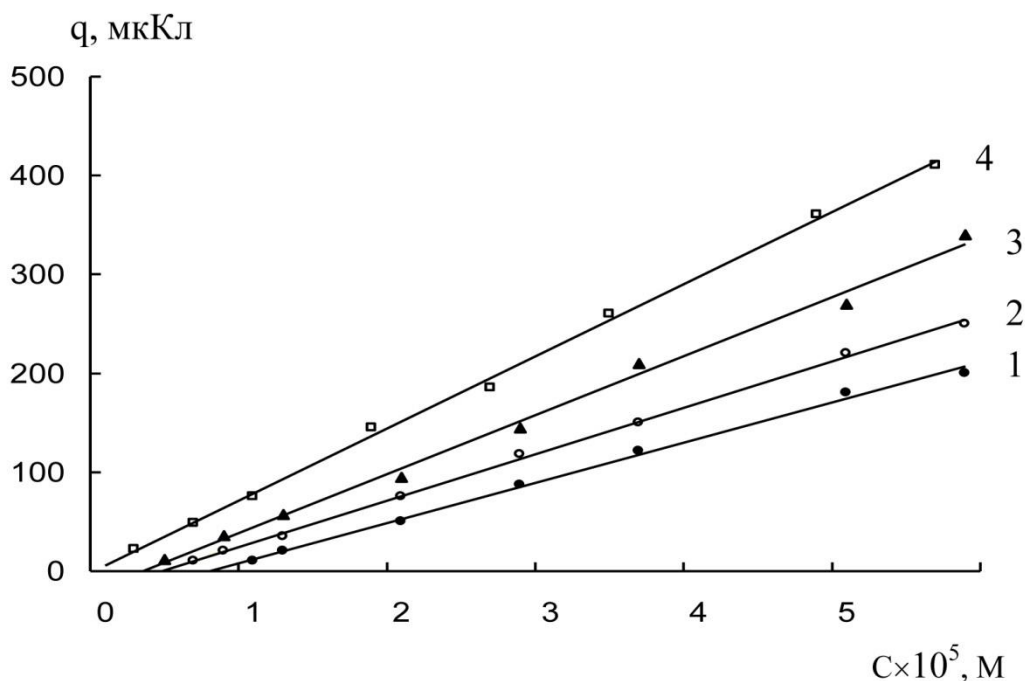


Рис. 3– Начальные участки зависимостей количества образовавшегося на электроде осадка от концентрации ионов Tl^+ в растворе $0.02 M Na_2B_4O_7 + x M H_2SO_4$.
 $t_s=200c$; pH: 1,2 – 8.4; 3,4 – 8.8; ϕ_s, B : 1,4 – 0.95; 2,3 – 1.0

В области достаточно малых концентраций ($10^{-6} \div 10^{-5} M$) при $q < 300 \div 400$ мкКл зависимости имеют линейный участок, но прямые не выходят из начала координат и отсекают на оси абсцисс отрезки, величины которых зависят от pH и потенциала электроосаждения (рис.3).

В области больших концентраций при $q > 600 \div 800$ мкКл наблюдается уменьшение скорости роста пленки на поверхности электрода: зависимости $q(C)$ отклоняются от линейных (рис.4).

Увеличение времени электроосаждения также приводит к возрастанию количества образовавшегося на электроде соединения и максимального тока его электрорастворения, причем эти зависимости выходят из начала координат.

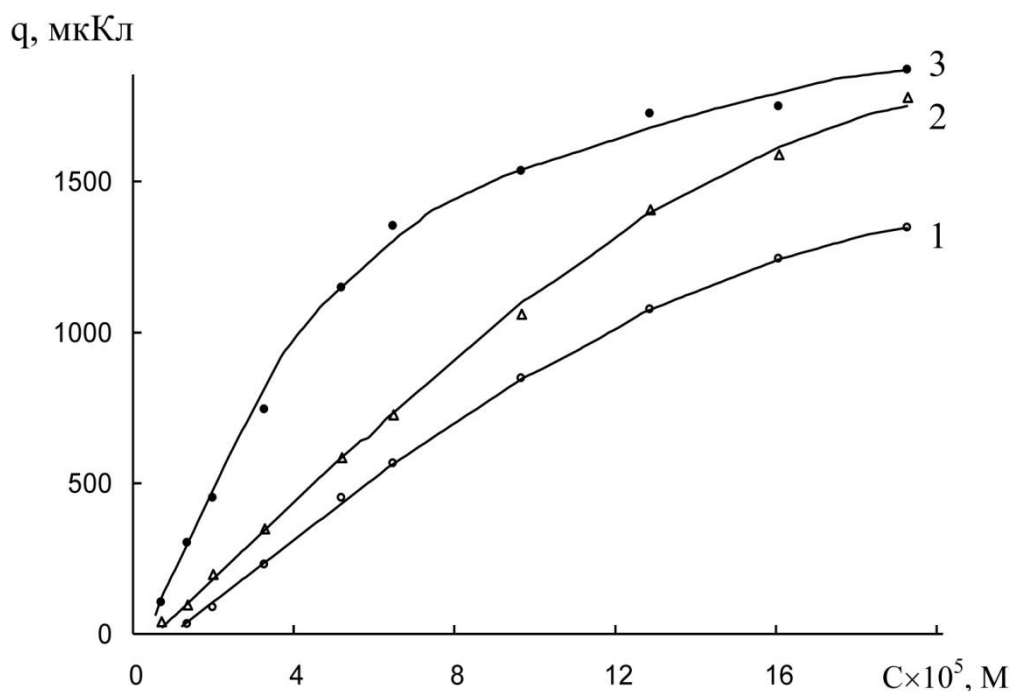


Рис. 4– Зависимости количества образовавшегося на электроде осадка от концентрации ионов Tl^+ в растворе $0.02\text{ M Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + x\text{ M H}_2\text{SO}_4$, $t, \text{с}$: 1,2 – 200; 3 – 300; pH : 1,2 – 8.8; 3 – 9.05; $\phi, \text{В}$: 1 – 0.95, 2,3 – 1.0.

Начальные участки зависимостей $q(t_3)$ – линейные, затем, если количество соединения на электроде достаточно велико, также имеет место уменьшение скорости роста пленки соединения и далее наблюдается явление, аналогичное пассивации электрода. Количество соединения на поверхности электрода, необходимое для прекращения роста пленки зависит от pH раствора и составило величину $1500 \div 2000$ мкКл при $\text{pH}=8.8$ и $2000 \div 2500$ мкКл при $\text{pH}=7.7$.

Характеру описанных выше зависимостей можно дать следующее объяснение. Когда количество осадка на электроде мало, он, вероятнее всего, распределен по поверхности в виде отдельных кристаллических зародышей. В этих условиях общая скорость процесса определяется диффузией ионов Tl^+ к поверхности электрода. При увеличении количества соединения на электроде происходит рост кристаллических зародышей, а затем их перекрывание, в результате чего на поверхности образуется плёнка. Торможение процесса электроосаждения гидроксида таллия может быть объяснено тем, что в условиях, когда малорастворимое соединение полностью покрывает поверхность электрода, на общую скорость процесса оказывают заметное влияние достаточно медленные процессы переноса вещества в пленке. Общая скорость процесса будет зависеть от толщины пленки и ее пористости [2].

Необходимо отметить, что все описанные выше закономерности являются характерными при электроосаждении микроколичеств малорастворимых соединений [3,4,5], и соответствуют теоретическим выводам, полученным нами при моделировании процессов электроосаждения малорастворимых соединений на индифферентном электроде [6,7].

Проведенные исследования позволили рекомендовать условия электроосаждения и электрорастворения осадка, оптимальные для определения ионов Tl^+ в водных растворах.

Площадь под пиком электрорастворения линейно зависит от концентрации ионов таллия (I) в растворе и может быть использована для их определения. В качестве оптимальных для определения ионов Tl^+ в водных растворах могут быть рекомендованы следующие условия электроосаждения и электрорастворения осадка:

индифферентный электролит - 0.02 М $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ + x М H_2SO_4 (pH = 7.7 ÷ 9.0).

потенциал предварительного электролиза $\varphi_3 = 1.1 \div 1.5$ В относительно потенциала насыщенного хлорсеребряного электрода,

продолжительность предварительного электролиза $t_3 = 2 \div 10$ мин, скорость катодной развертки потенциала $w = 2 \div 5$ мВ/с,

потенциал пика тока регистрируется в диапазоне – 0.22 ÷ - 0.1 В.

Статистическая обработка определений таллия (I) методом инверсионной вольтамперометрии на стеклоглеродном электроде в модельных водных растворах показала, что предложенный метод позволяет определять $1 \cdot 10^{-6}$ моль/л Tl^+ в растворе с относительным стандартным отклонением 0.1.

Список литературы

1. Брайнина Х.З., Нейман Б.Я. Твердофазные реакции в электроаналитической химии. – М.: Химия, 1982. – 264с.
2. Хлынова Н.М., Чemezova К.С. Особенности электроосаждения пористой анодной пленки на металлах в разбавленных растворах//Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №4. –С.87–93.
3. Хлынова Н.М., Чemezova К.С. Образование анодной фосфатной плёнки на серебряном электроде // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2010. – Т.53. – №12. – С.17-20.
4. Чemezova К.С., Хлынова Н.М. Образование гидроксида железа на поверхности графитового электрода // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2012. – Т.55. – №12. – С. 12-15.
5. Хлынова Н.М., Чemezova К.С. Анодные пленки в инверсионных электрохимических методах. – Тюмень: Нефтегазовый университет, 2005. –203с.
6. Чemezova К.С., Хлынова Н.М., Санникова О.В. Инверсионно-вольтамперометрическое определение металлов переменной валентности. Моделирование процесса электроосаждения // Известия ВУЗов. Нефть и газ. – 2000. – №2. – С.103–108.
7. Чemezova К.С., Хлынова Н.М., Захаров М.С. Электроосаждение пленки малорастворимого соединения на поверхности индифферентного и металлического электродов в условиях применения метода инверсионной вольтамперометрии // Журн. аналит. химии. – 2000. Т. – 55. – №11. – С.1149–1153.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.22.10

Г.В. Абакумов, С.Г. Петельская

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин», г. Тюмень,
Тюменское высшее военно-инженерное командное училище (военный институт)
имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова, г. Тюмень, satm_tsogu@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ ПРОГРАММУ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ ДЛЯ АВТОСЕРВИСНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассматривается вопрос влияния сезонных условий на производственную программу по техническому обслуживанию для автосервисного предприятия. Экспериментально установлена закономерность изменения в течение года требований на обслуживание. Рассмотрены направления использования полученных результатов.

Ключевые слова: *техническое обслуживание, производственная программа, сезонные условия.*

Техническое обслуживание (ТО) – неотъемлемая часть системы обеспечения работоспособности автомобилей. От качества и своевременности его проведения существенно зависит надежность машин. Полнота и своевременность выполнения ТО определяется соотношением потока требований на обслуживание и пропускной способности зоны ТО.

Если режим работы производства в течение года можно считать постоянным, то производственная программа по ТО существенно изменяется [1]. Причина изменения количества обслуживаний в единицу времени заключается в вариации интенсивности эксплуатации [2].

Изменение по времени потока требований на ТО ведет к вариации потребности в трудовых [3] и материальных [4, 6, 10] ресурсах. Для компенсации неравномерности объемов работ по ТО необходимо оптимизировать параметры зоны технического обслуживания [9].

Для решения проблем, связанных с сезонной неравномерностью потребности в ТО и ремонте машин, разработана теория процессов изменения качества автомобилей [5], предложены концептуальные модели [8], разработаны нормативы ресурсов элементов автомобилей с учетом сезонных условий [11, 12].

Однако все эти результаты получены для автомобилей транспортных предприятий с высокой концентрацией подвижного состава, а применительно к предприятиям автосервиса, обслуживающим автомобили частных владельцев, в полном объеме указанные исследования использовать невозможно. Это связано, во-первых, с другими закономерностями изменения интенсивности эксплуатации частных автомобилей, во-вторых, с конкуренцией на рынке сервисных услуг и сложностью предсказания количества обращений клиентов в то или иное предприятие.

Для устранения этого недостатка необходимо установить закономерность формирования потока требований на ТО автомобилей с учетом сезонных условий, подобрать модель для этой закономерности, экспериментально определить численные значения ее параметров.

Анализ закономерностей изменения в течение года интенсивностей эксплуатации отдельных автомобилей позволил разделить все случаи на три группы. Первый вариант закономерности – минимум интенсивности летом, зимой она существенно выше (рис. 1, линия 1). Такая закономерность характерна, в-частности, для северных районов, где

большая часть пробега автомобилей осуществляется по зимникам. Второй вариант закономерности – минимум интенсивности зимой, максимум – летом (рис. 1, линия 2). Такой случай типичен при использовании автомобиля преимущественно летом, в основном для поездок на дачу. Третий вариант – независимость интенсивности эксплуатации автомобиля от сезона (рис. 1, линия 3).

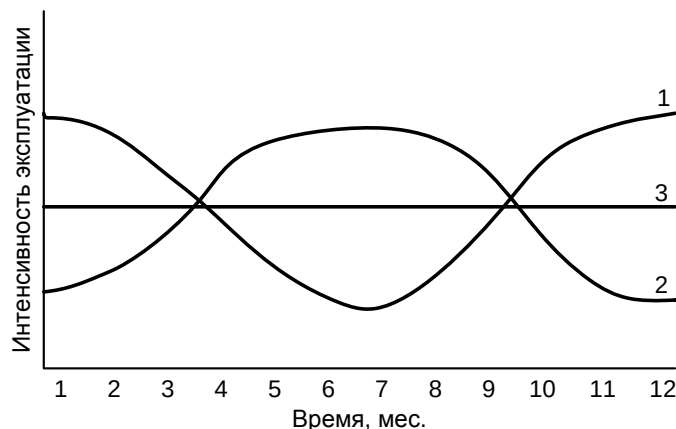


Рис. 1. Варианты закономерностей изменения интенсивности эксплуатации автомобилей частных пользователей

Форма кривой суммарной наработки всех автомобилей потенциальных клиентов сервисного предприятия зависит от соотношения количества и интенсивностей использования автомобилей каждой из трех выделенных групп. От закономерности изменения суммарной наработки зависит закономерность формирования потока требований на ТО.

Для проверки выдвинутых предположений собраны данные о фактическом количестве обслуживаний автомобилей VOLVO в течение 2011-2013 годов. На рис. 2 представлены эти данные после обработки методом скользящих средних. Здесь выделено общее количество обслуживаний $N_{то}$ и количество для транзитных автомобилей $N_{транз.}$

Результаты обработки данных представлены в табл. 1. Здесь представлены объемы работ по месяцам, как в нормо-часах, так и в относительных единицах (4-я колонка).

Эти коэффициенты можно использовать для планирования производственной программы по техническому обслуживанию на станции технического обслуживания.

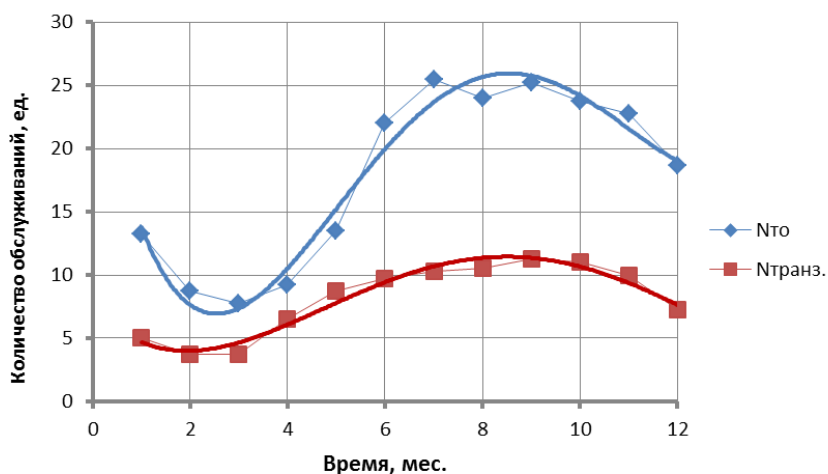


Рис. 2. Изменение в течение года программ по ТО (сглаженные данные)

Таблица 1

Изменение в течение года месячных объемов работ по ТО			
Месяцы	Среднее количество обслуживаний	Объем работ	
		нормо-часы	относительные единицы
1	9,1	32,9	0,70
2	6,3	22,5	0,48
3	5,8	20,7	0,44
4	7,9	28,4	0,61
5	11,1	40,1	0,86
6	15,9	57,2	1,22
7	17,9	64,4	1,37
8	17,3	62,1	1,33
9	18,3	65,7	1,40
10	17,4	62,6	1,34
11	16,4	59,0	1,26
12	12,9	46,6	0,99

Полученные результаты можно использовать для оптимизации количества постов технического обслуживания с учетом пиковых значений производственной программы, корректирования запасов материальных ресурсов, используемых при ТО, с учетом неравномерности потребности в них, а также для планирования потребности в трудовых ресурсах с учетом неравномерности их загрузки, оптимизации графиков отпусков.

Список литературы

1. Бедняк, М.Н. Моделирование процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей / М.Н. Бедняк. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 131 с.
2. Захаров, Н.С. Актуальные проблемы эксплуатации автомобилей и транспортно-технологических машин в нефтегазодобывающем регионе / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, К.В. Бугаев, Д.С. Быков, В.В. Ефимов, А.А. Панфилов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 6. – С. 77-79.
3. Захаров, Н.С. Влияние неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей на время простоя исполнителей технического обслуживания / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, В.Н. Карнаузов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2012. – № 12-2. – С. 167-173.
4. Захаров, Н.С. Влияние сезонной вариации факторов на интенсивность расходования ресурсов при эксплуатации транспортно-технологических машин / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.В., Вознесенский Л.В. Бачинин, А.Н. Ракитин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 1. – С. 75-79.
5. Захаров, Н.С. Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей / Н.С. Захаров : дисс. ... д-ра техн. – Тюмень, 2000. – 525 с.
6. Захаров, Н.С. Влияние сезонных условий на расходование ресурсов при эксплуатации автомобилей / Н. С. Захаров, Г. В. Абакумов, А. В. Вознесенский. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 116 с.
7. Захаров, Н.С. Закономерности формирования количества легковых автомобилей на улично-дорожной сети города / Н.С. Захаров, Е.Ф. Бояркина. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 160 с.
8. Захаров, Н.С. Модель восстановления транспортной подсистемы производственных систем нефтегазового комплекса // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1997. – № 6. – С. 157.
9. Захаров, Н.С. Определение параметров зоны технического обслуживания с учетом неравномерности поступления автомобилей / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, Е.С. Шевелев. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 132 с.
10. Зиганшин, Р. Моделирование потока требований на запасные части при эксплуатации специальной нефтепромысловой техники с учетом влияния сезонных факторов / Р. Зиганшин, А. Зиганшина, Н. Захаров, В. Савчугов // Логистика. – 2013. – № 4 (77). – С. 50-52.
11. Захаров, Н.С. Корректирование нормативов ресурса автомобильных шин с учетом условий эксплуатации : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1989. – 21 с.
12. Резник, Л.Г. Корректирование норм пробега шин / Л.Г. Резник, Н.С. Захаров // Автомобильный транспорт. – 1988. – № 11. – С. 29.

05.02.08

А.М. Абдуллина, Ф.Д. Байрамов д.т.н., Б.Ф. Байрамов

Набережночелнинский институт (филиал)
Казанского (Приволжского) федерального университета,
кафедра механики и конструирования,
Набережные Челны, bbairamov@gmail.com

ГИДРОПРИВОД С УПРАВЛЯЕМЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ НАСОСА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ДИНАМИКИ

Предложена система автоматического регулирования скорости движения выходного звена гидропривода за счёт изменения частоты вращения электродвигателя насоса. Проведено математическое моделирование динамики и получены условия устойчивости гидропривода с такой системой.

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

В гидроприводах возникает необходимость регулирования скорости движения выходного звена гидродвигателя (скорости движения поршня гидроцилиндра или частоты вращения вала гидромотора). На практике это обычно осуществляется двумя способами: дроссельным или объёмным регулированием расхода рабочей жидкости в гидроприводе. При дроссельном регулировании часть потока жидкости, поступающей от насоса, минуя гидродвигатель, непроизводительно сливается в гидробак. При объёмном регулировании регулирование расхода жидкости производится за счёт изменения рабочего объёма либо насоса, либо гидромотора, либо обоих гидромашин. В этом случае непроизводительный отвод жидкости отсутствует, следовательно, КПД гидропривода будет выше. Однако гидромашины с регулируемым объёмом значительно дороже нерегулируемых. Наиболее экономичным является регулирование расхода рабочей жидкости за счёт изменения частоты вращения двигателя насоса. В данной работе для привода насоса используется электродвигатель переменного тока.

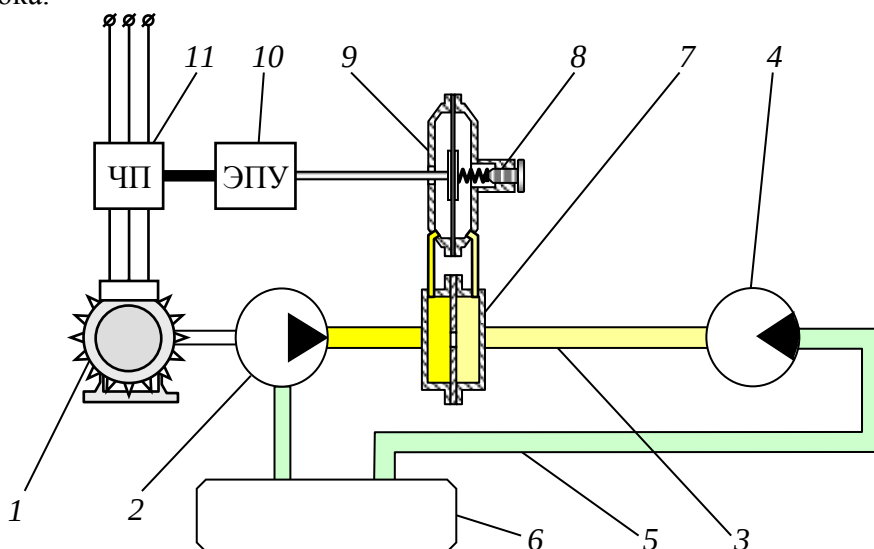


Рис. 1 – Схема гидропривода с гидромотором и регулятором расхода жидкости:

**1 – электродвигатель; 2 – насос; 3 – напорный трубопровод; 4 – гидромотор;
5 – сливной трубопровод; 6 – гидробак; 7 – датчик расхода; 8 – пружинный задатчик расхода; 9 – дифференциальный преобразователь давления; 10 – электромеханическое преобразующее устройство; 11 – частотный преобразователь.**

На рис. 1 представлена принципиальная схема гидропривода с гидромотором и автоматическим регулятором расхода жидкости. Датчик расхода, представляющий собой сужающую диафрагму, измеряет расход жидкости косвенно через перепад давления. Эта разность давления преобразуется в перемещение мембраны дифференциального преобразователя. Мембрана связана штоком с электромеханическим преобразующим устройством, в котором осуществляется преобразование перемещения штока мембраны в напряжение постоянного тока, пропорциональное этому перемещению. Это напряжение управляет частотным преобразователем. Под воздействием этого управляющего напряжения частотный преобразователь, изменяя частоту напряжения питания, регулирует скорость вращения вала двигателя. Таким образом, осуществляется регулирование расхода подаваемой жидкости. Расчётное значение расхода устанавливается соответствующей затяжкой пружины задатчика.

Математическая модель. Уравнения динамики для электродвигателя, насоса, напорного трубопровода, гидромотора, датчика расхода с дифференциальным преобразователем, ЭПУ в отклонениях от номинального режима работы гидропривода соответственно имеют вид [1 – 3]:

$$2 \cdot \pi \cdot J_D \cdot \frac{d\Delta n}{dt} = \left(\frac{\partial M_D}{\partial n} \right)_* \cdot \Delta n + \left(\frac{\partial M_D}{\partial u} \right)_* \cdot \Delta u - \Delta M_H; \quad (1)$$

$$\Delta p_H = \Delta p_{H0} - \left(\frac{\partial p_H}{\partial G} \right)_* \cdot \Delta G + \left(\frac{\partial p_H}{\partial n} \right)_* \cdot \Delta n; \quad (2)$$

$$\frac{l_T}{F_T} \cdot \frac{d\Delta G}{dt} = \Delta p_H - \Delta p_\Gamma - k_T \cdot \Delta G; \quad (3)$$

$$2 \cdot \pi \cdot J_\Gamma \cdot \frac{d\Delta n_\Gamma}{dt} = \Delta M_\Gamma - \Delta M_C; \quad (4)$$

$$S = k_1 \cdot \Delta G; \quad (5)$$

$$\Delta u = -k_2 \cdot S; \quad (6)$$

где $\Delta n = n - n_*$; $\Delta G = G - G_*$; $\Delta p_H = p_H - p_{H*}$; $\Delta p_\Gamma = p_\Gamma - p_{\Gamma*}$; $\Delta n_\Gamma = n_\Gamma - n_{\Gamma*}$; $\Delta u = u - u_*$; $\Delta M_H = M_H - M_{H*}$; $\Delta M_\Gamma = M_\Gamma - M_{\Gamma*}$; $\Delta M_C = M_C - M_{C*}$; индекс * указывает на значения величин в номинальном режиме; n , n_Γ – частоты вращения вала электродвигателя, гидромотора; G – расход рабочей жидкости в гидроприводе; p_{H0} , p_H – давления на входе в насос и на выходе из него; p_Γ – давление на входе в гидромотор; u – напряжение постоянного тока на выходе ЭПУ, которое является управляющим напряжением для частотного преобразователя; S – смещение мембраны дифференциального преобразователя; k_1 , k_2 – положительные коэффициенты пропорциональности; J_D , J_Γ – суммарные моменты инерции всех тел, кинематически связанных с валом электродвигателя и гидромотора; k_T – коэффициент, характеризующий сопротивление в трубопроводе; l_T , F_T – длина и площадь поперечного сечения трубопровода; M_D , M_H , M_Γ – крутящие моменты электродвигателя, насоса, гидромотора; M_C – момент сопротивления на валу гидромотора.

Момент M_H имеет вид [1] $M_H = \frac{G \cdot (p_H - p_{H0})}{n \cdot \eta \cdot \rho}$, где η – полный КПД насоса;

ρ – плотность жидкости. Разлагая функцию M_H в ряд Тейлора в окрестности номинального режима и ограничиваясь членами первой степени относительно малых приращений, найдём:

$$M_H = \left(\frac{\partial M_H}{\partial n} \right)_* \cdot \Delta n + \left(\frac{\partial M_H}{\partial G} \right)_* \cdot \Delta G + \left(\frac{\partial M_H}{\partial p_H} \right)_* \cdot (\Delta p_H - \Delta p_{H0}). \quad (7)$$

Из выражения момента гидромотора [1] $M_{\Gamma} = \frac{1}{2\pi} \cdot W_{\Gamma} \cdot (p_{\Gamma} - p_{\Gamma 0}) \cdot \eta_{\Gamma}$, где η_{Γ} , W_{Γ} – механический КПД и объём гидромотора, получим:

$$\Delta M_{\Gamma} = \frac{W_{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma}}{2 \cdot \pi} \cdot (\Delta p_{\Gamma} - \Delta p_{\Gamma 0}). \quad (8)$$

Расход жидкости G через гидромотор связан с частотой вращения его вала формулой [1] $G = \frac{W_{\Gamma} \cdot \rho \cdot \eta_{\Gamma}}{\eta_O}$, где η_O – объёмный КПД гидромотора. Отсюда

$$\Delta G = \frac{W_{\Gamma} \cdot \rho}{\eta_O} \cdot \Delta n_{\Gamma}. \quad (9)$$

В номинальном режиме будем считать, что $M_{D*} = M_{H*} = const$, $M_{\Gamma*} = M_{C*} = const$, все переменные постоянные, $S = \Delta u = 0$ и регулятор расхода жидкости находится в нейтральном положении.

Далее будем предполагать $\Delta p_{H0} = \Delta p_{\Gamma 0} = 0$, т.е. возмущениями давлений на входе в насос и в сливном трубопроводе пренебрегаем.

Система (1) – (9) описывает динамику гидропривода с гидромотором. Исключая переменные Δp_H , Δp_{Γ} , Δn_{Γ} , Δu , S , эту систему запишем в относительных отклонениях в безразмерной форме:

$$T_D \cdot \frac{dx_1}{dt} = -a_1 \cdot x_1 - a_2 \cdot x_2; \quad (10)$$

$$T_T \cdot \frac{dx_2}{dt} = a_3 \cdot x_1 - a_4 \cdot x_2 - \alpha,$$

$$\text{где } x_1 = \frac{\Delta n}{n_*}; \quad x_2 = \frac{\Delta G}{G_*}; \quad \alpha = \frac{\Delta M_C}{M_{C*}}; \quad T_T = \left(\frac{W_{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma} \cdot l_T}{2 \cdot \pi \cdot F_T} + \frac{2 \cdot \pi \cdot J_{\Gamma} \cdot \eta_O}{W_{\Gamma} \cdot \rho} \right) \cdot \frac{G_*}{M_{\Gamma*}};$$

$$T_D = \frac{2 \cdot \pi \cdot J_D \cdot n_*}{M_{D*}}; \quad a_1 = \left[- \left(\frac{\partial M_D}{\partial n} \right)_* + \left(\frac{\partial M_H}{\partial n} \right)_* + \left(\frac{\partial M_H}{\partial p_H} \right)_* \cdot \left(\frac{\partial p_H}{\partial n} \right)_* \right] \cdot \frac{n_*}{M_{D*}};$$

$$a_2 = \left[\left(\frac{\partial M_H}{\partial G} \right)_* + \left(\frac{\partial M_H}{\partial p_H} \right)_* \cdot \left(\frac{\partial p_H}{\partial G} \right)_* \right] \cdot \frac{G_*}{M_{D*}}; \quad a_3 = \left(\frac{\partial p_H}{\partial n} \right)_* \cdot \frac{W_{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma}}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{n_*}{M_{\Gamma*}};$$

$$a_4 = \left[\left(\frac{\partial p_H}{\partial G} \right)_* + k_T \right] \cdot \frac{W_{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma}}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{G_*}{M_{\Gamma*}}.$$

Здесь T_D , T_T – постоянные времени электродвигателя и объединённого звена «трубопровод + гидропривод», остальные величины – безразмерные коэффициенты усиления.

Устойчивость. Пусть момент сопротивления на валу гидромотора $M_C = M_{C*} = const$. Характеристическое уравнение системы (10) при $\alpha = 0$

$$\lambda^2 + \frac{a_4 \cdot T_D - a_1 \cdot T_T}{T_D \cdot T_T} \cdot \lambda + \frac{a_2 \cdot a_3 - a_1 \cdot a_4}{T_D \cdot T_T} = 0$$

будет иметь корни с отрицательными вещественными частями при выполнении неравенств

$$a_4 \cdot T_D > a_1 \cdot T_T; \quad a_2 \cdot a_3 > a_1 \cdot a_4, \quad (11)$$

которые согласно критерию Рауса – Гурвица, являются необходимыми и достаточными условиями асимптотической устойчивости системы (10), т.е. номинального режима работы гидропривода с гидромотором.

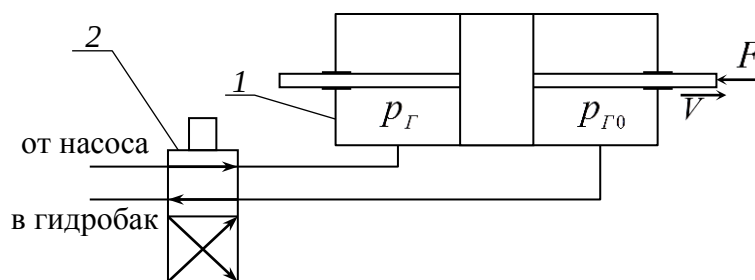


Рис. 2 – Схема гидроцилиндра 1 с гидрораспределителем 2.

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

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

$$m \cdot \frac{d\Delta V}{dt} = (\Delta p_{\Gamma} - \Delta p_{\Gamma 0}) \cdot \sigma - \Delta F, \quad (12)$$

где $\Delta V = V - V_*$; $\Delta p_{\Gamma} = p_{\Gamma} - p_{\Gamma*}$; $\Delta p_{\Gamma 0} = p_{\Gamma 0} - p_{\Gamma 0*}$; $\Delta F = F - F_*$; p_{Γ} , $p_{\Gamma 0}$ – давление на входе в гидроцилиндр и на выходе из него; m , V – масса и скорость движения поршня; σ – кольцевая площадь поршня.

Уравнение (9) заменится аналогичным уравнением

$$\Delta G = \sigma \cdot \rho \cdot \Delta V, \quad (13)$$

Динамика гидропривода с гидроцилиндром в отклонениях от номинального режима описывается уравнениями (1) – (3), (5) – (7), (12), (13). Исключая из них переменные Δp_H , Δp_{Γ} , ΔV , Δu , S и переходя к относительным отклонениям, получим систему уравнений в

безразмерной форме (10), где $\alpha = \frac{\Delta F}{F_*}$; $a_3 = \left(\frac{\partial p_H}{\partial n} \right)_* \cdot \frac{\sigma \cdot n_*}{F_*}$; $a_4 = \left[\left(\frac{\partial p_H}{\partial G} \right)_* + k_T \right] \cdot \frac{\sigma \cdot G_*}{F_*}$;

$$T_T = \left(\sigma \cdot \frac{l_T}{F_T} + \frac{m}{S \cdot \rho} \right) \cdot \frac{G_*}{F_*}, \text{ остальные величины те же, что и в (10).}$$

Условия устойчивости гидропривода с гидроцилиндром запишутся в таком же виде (11).

Выводы

1. Разработана принципиальная схема гидропривода с автоматическим регулированием скорости движения выходного звена гидродвигателя за счёт изменения частоты вращения электродвигателя насоса.

2. Условия (11) могут быть использованы при проектировании различных регулируемых гидроприводов для рационального выбора значений параметров, обеспечивающих устойчивые режимы работы.

Список литературы

1. Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А. Гидравлика и гидропривод. Ч. 2. Гидравлические машины и гидропневмопривод. – М.: МГИУ, 2005. – 352 с.
2. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.
3. Байрамов Ф.Д., Байрамов Б.Ф., Мардамышин И.Г. Математическое моделирование и устойчивость гидравлической системы с ветронасосным агрегатом // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2009. – № 4. – С. 103-106.

05.13.18

В.Н. Абузьяров

Филиал Московского технологического института «ВТУ» в г. Оренбурге,
Кафедра «Информатика и автоматизация»,
Оренбург, it@mti_orenburg.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье рассмотрены особенности автоматического управления температурой при производстве изделий из композиционных материалов, приведены достоинства и недостатки существующих регуляторов, а также рассмотрены возможности виртуальной электрической схемы, повышающей уровень управления процессом теплопередачи.

Ключевые слова: технологический процесс, регулятор, микроконтроллер, композиционные материалы, теплопередача, внутренняя энергия.

Высококачественные изделия, выполненные из композитов, составляют большую конкуренцию продукции из других материалов, в том числе и из металлов. Производство такой продукции и повышение уровня автоматизации является на сегодняшний день актуальной задачей [1].

В некоторых производствах, для локального технологического процесса, используют ПИД – регуляторы (пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы). Но в результате того, что в них используются сразу три составляющих: пропорциональная, дифференциальная и интегральная, то и ошибки от этих составляющих суммируются. Известно также, что регулируемая величина должна колебаться около заданной, так называемой «уставки». Вместе с тем существуют трудности с настройкой, а также не всегда удается достичь требуемого быстродействия и отыскивать неисправности [5].

В производстве изделий из композиционных материалов особое внимание должно уделяться не только подбору компонентов, но и жесткому выдерживанию параметров технологического процесса по температуре и давлению, что в силу инерционных свойств материала не всегда удается.

Рассмотрим программно-управляемую модель, представленную в соответствии с рисунком 1. Виртуальная электрическая схема позволяет производить различные эксперименты с нагревом и охлаждением композитов. При этом ожидаемые колебания температуры в реальном процессе должны быть меньшего диапазона, чем с использованием ПИД-регуляторов. Более того, перечисленные затруднения с обслуживанием легко устраняются обученным квалифицированным персоналом. Программа для данной схемы написана на языке С и ее можно легко изменить для задания различных режимов технологического процесса.

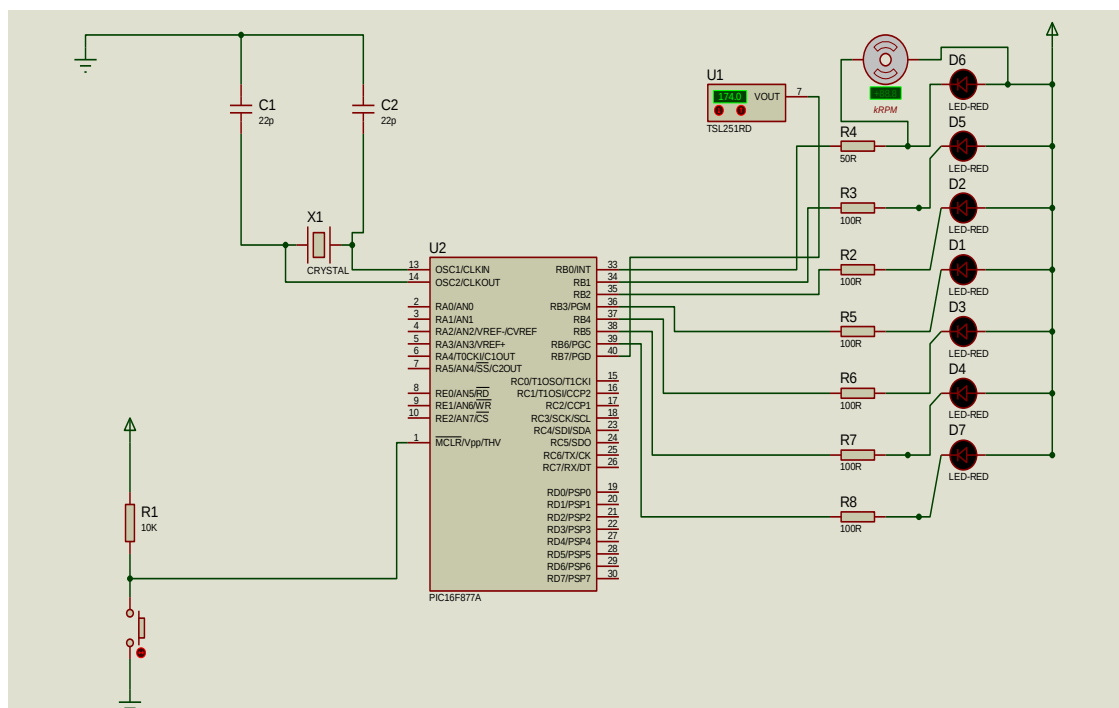


Рис 1. Виртуальная электрическая схема управления температурой

Здесь:

U1 – программируемый датчик температуры

U2– микроконтроллер PIC-16F877A

D1 – D6 – индикаторы

X1– тактовый генератор

В данной схеме управление завязано с мощными вентиляторами и за счет этого управляемость теплообменом существенно увеличивается.

При этом колебания требуемой температуры в реальном процессе должны быть незначительны. Изделия из композитов обладают стойкостью к коррозии, а также влагостойкостью и долговечностью.

Композиты изотропны, если имеют одинаковые свойства по всем направлениям. Анизотропны – в противном случае. Квазиизотропны, когда наблюдается анизотропия свойств композита в некоторых зонах, и изотропия во всех остальных

Анизотропные композиты вызывают наибольший интерес для исследования в связи с тем, что прочность в определенных направлениях может увеличиваться в десятки раз [1].

Таким образом, для получения композита с нужными параметрами очень важно управлять теплообменом.

Теплообмен в композиционных материалах подчиняется закону Фурье [2], где температура определяет среднюю скорость кинетической энергии частиц.

Внутренняя энергия вещества выражается с помощью удельной теплоемкости $c(\rho, T)$.

$$c(\rho, T) = \frac{\partial \varepsilon(\rho, T)}{\partial T}, \quad c(\rho, T) > 0, \quad (1)$$

где $c(\rho, T) > 0$

ρ – плотность вещества

n – число частиц в единице объема

$\varepsilon(\rho, T)$ – внутренняя энергия единицы массы вещества.

Однако внутренняя энергия композиционного материала связана как с кинетической, так и с потенциальной энергией взаимодействия движущихся частиц, которая зависит от среднего расстояния между движущимися частицами r [6]. Рассмотрим площадку в соответствии с рисунком 2. Здесь расстояние $r \approx (n)^{-\frac{1}{3}} = \left(\frac{\rho}{m}\right)^{-\frac{1}{3}}$, n – количество движущихся частиц в единичной части объема. Таким образом, ε находится в зависимости от плотности.

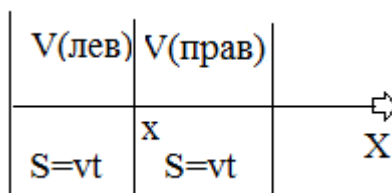


Рис 2 – Скорости движения частиц в разделенных единичных объемах

Здесь площадь поперечна оси x . Частицы, пересекающие ее с разных сторон, имеют разные энергии. Их разность и формирует тепловой поток, проходящий через площадку. При движении частиц их шестая часть пересекает площадку с одной и другой стороны и несет энергию

$$\frac{1}{6} n s \frac{m v_{\text{п}}^2}{2} \quad (2)$$

где $v_{\text{прав}}$ скорость частиц в правой области. Аналогично в левой части

Разность этих энергий отнесенная по оси x

$$U_x = \frac{1}{6} n v \left(\frac{m v_{\text{л}}^2}{2} - \frac{m v_{\text{п}}^2}{2} \right) = \frac{m n v}{6} (e_{\text{л}} - e_{\text{п}}) \quad (4)$$

где $e_{\text{л}}$, $e_{\text{п}}$ это внутренняя энергия вещества с обеих сторон от площадки.

В качестве v берется среднее между $v_{\text{лев}}$ и $v_{\text{прав}}$

Величину $e_{\text{л}}$, $e_{\text{п}}$ выразим через e (энергия на площадке)

$$e_{\text{п}} = e + s \frac{\partial e}{\partial x} = e + s c \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (5)$$

$$e_{\text{л}} = e + s \frac{\partial e}{\partial x} = e - s c \frac{\partial T}{\partial x}. \quad (6)$$

Подставляя эти формулы для U_x получим

$$U_x = -k \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (7)$$

где $k = \frac{\rho c s v}{3}$.

Для U_y , U_z вычисления аналогичные.

Получим

$$U_x = -k \frac{\partial T}{\partial x}, U_y = -k \frac{\partial T}{\partial y}, U_z = -k \frac{\partial T}{\partial z}. \quad (8)$$

Объединяем и это дает закон Фурье

$$U = -k \text{grad} T. \quad (9)$$

Величина k – это коэффициент теплопроводности.

Таким образом, полученные результаты проведенных исследований, позволили осуществить регулирование процесса производства композиционных материалов с требуемым качеством управления.

Список литературы

1. Материаловедение и конструкционные материалы / под ред В.А. Белого. – Минск : Вышэйшая школа, 1989. – 460 с.
2. Самарский А.А. Математическое моделирование: идеи, методы, примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – 2-е изд., испр. – М. : Физматлит, 2001. – 320 с.
3. MPLAB IDE, Documentation, Language Tool demos, User Guider and Tutorials // Microchip. – USA, 1998. – Режим доступа: <http://www.microchip.com>
4. Однокристалльные 8 разрядные FLASH SMOS микроконтроллеры // Microchip. – USA, 1998. – Режим доступа: <http://www.microchip.ru>
5. Классический ПИД-регулятор // Энциклопедия АСУ ТП / В. Денисенко. – Россия. – Режим доступа: http://www.bookasutp.ru/Chapter5_2.aspx
6. Interfaces in Metal Matrix Composites / eg. A.G. Metcalfe. – New York; London: 1974. – 256 p.

05.14.03

П.А. Алексеев, И.А. Ехлаков, М.К. Овчаренко, А.П. Пышко

ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ им. А.И. Лейпунского»,
г. Обнинск, firefly1248@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК НА НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП ПРОЦЕССА ФИЗИЧЕСКОГО ПУСКА РЕАКТОРА КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В данной работе рассматриваются влияние мощной солнечной вспышки на начальный этап физического пуска ядерного реактора космического назначения. Были проведены оценки количества делений в активной зоне реактора в момент пика, а также анализ с учетом кинетики реактора в период пуска.

Полученные результаты показывают, что при составлении программ запуска космических аппаратов с ЯЭУ на борту и при выборе времени физического пуска реактора на орбите необходимо учитывать влияние мощных солнечных вспышек.

Ключевые слова: космические лучи, солнечная вспышка, космическая ядерная энергетическая установка, термоэмиссионный реактор-преобразователь «ТОПАЗ», GEANT4.

Постановка задачи

Ядерная энергетическая установка (ЯЭУ) в космосе находится под непрерывным воздействием окружающей ее среды. Результаты этих воздействий незначительны за исключением начального этапа физического пуска реакторной установки (РУ), во время которого нейтронные потоки в активной зоне малы, и дополнительные потоки, формируемые космическим излучением, могут оказать заметное воздействие на нейтронно-физические процессы в реакторе.

Ранее в работе [1] было показано, что под воздействием протонов космического излучения в период минимальной солнечной активности в активную зону термоэмиссионного реактора-преобразователя (ТРП) типа «ТОПАЗ» попадает 10^5 - 10^7 нейтронов в секунду, которые способны сформировать достаточное количество делений для успешного пуска реактора.

Среди других факторов воздействия космических излучений на пуск РУ стоит отдельно выделить событие, приводящие к введению в активную зону заметных нейтронных потоков. Это попадание в РУ дополнительного потока заряженных частиц, обусловленных вспышкой на Солнце.

Оценить результат воздействия такого события на процесс пуска реактора невозможно без проведения высокоточных оценок путем моделирования подобного воздействия на трехмерной гетерогенной модели ЯЭУ, созданной в программной среде, подходящей для моделирования ядерно-физических процессов в широком диапазоне энергий, включая непосредственно реакторную физику. В качестве среды, отвечающей предъявленным требованиям, был выбран программный комплекс GEANT4 [2], разработанный и поддерживаемый Европейским центром ядерных исследований (CERN). В качестве исследуемой ЯЭУ был выбран термоэмиссионный реактор-преобразователь (ТРП) «ТОПАЗ».

GEANT4

GEANT4 – это система библиотек для моделирования процессов взаимодействия фундаментальных частиц и ионов с веществом, реализованная на языке C++ международной группой ученых под эгидой CERN. Для решения расчетных задач с применением GEANT4

требуется написать программу, в которой создается геометрия модели, источник частиц, описываются физические процессы, участвующие в моделировании, а также реализуются алгоритмы вычисления искомых параметров.

Возможности, предоставляемые GEANT4, позволяют реализовывать самые разнообразные геометрические построения, электромагнитные поля, источники и оценки параметров, создавать собственные или использовать многочисленные сторонние расширения и надстройки.

Еще одним преимуществом GEANT4 является его свободное распространение и широкие возможности применения, предусмотренные лицензией.

GEANT4 позволяет очень детально задавать свойства используемых в расчетной модели материалов, включая агрегатное состояние, температуру и давление. Помимо возможности создания элементов и материалов, пользователю предоставляется широкая база данных, в которой присутствует большинство материалов, широко встречающихся в задачах радиационной защиты, ускорительной и медицинской физики.

GEANT4 позволяет моделировать широкий спектр процессов с участием гамма-излучения (включая оптические фотоны), всех лептонов, основных барионов и мезонов, а также нейтральных и заряженных ионов в широких диапазонах энергий.

Модель ТРП «ТОПАЗ» в GEANT4

Для решения поставленной задачи выбор физических процессов, моделей и сечений был сделан в соответствии с рекомендациями Стенфордской национальной ускорительной лабораторией SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) для моделирования взаимодействия конструкционных материалов и электроники космических аппаратов с космическими лучами [3].

Предложенный SLAC набор моделей полностью покрывает рассматриваемый диапазон энергий 0-100 ГэВ. Используемые в расчете пакеты сечений показывают хорошее согласование с экспериментальными данными. Проверки используемых моделей путем сопоставления расчетных результатов непосредственно с экспериментальными данными, включая сравнение результатов компьютерного моделирования экспериментов ATLAS и CMS с реальными результатами [4], показали их высокую надежность во всем рассматриваемом в данной задаче диапазоне энергий.

В области реакторных энергий физические модели были приведены в соответствие с рекомендациями Ливерморской национальной лаборатории для моделирования систем, содержащих делящиеся материалы [5]. Так же в области низких энергий был подключен дополнительный пакет физики взаимодействий с участием протонов, подготовленный CIEMAT [6].

Модель активной зоны ТРП «ТОПАЗ» в GEANT4 с высокой точностью воспроизводит прототип и имеет 79 электрогенерирующих каналов (ЭГК) с подробно описанной геометрией содержащих по 5 термоэмиссионных электрогенерирующих элементов (ЭГЭ) каждый, соединенных коммутационными переключками. Регулирование мощности реактора осуществляется двенадцатью поворотными цилиндрами, размещенными в боковом отражателе, с поглощающими нейтроны накладками из карбида бора (см. рисунок 1).



Рис. 1 – Геометрическая модель ЯЭУ «ТОПАЗ» в GEANT4

Вспышка на солнце

В большинстве солнечных вспышек максимальная энергия ускоренных частиц не превышает 10 МэВ/нуклон, такие вспышки могут происходить достаточно часто – один раз в неделю. Реже, раз в месяц, происходят вспышки, в которых частицы ускоряются до 100 МэВ/нуклон. Еще более редки события, раз в год, в которых частицы получают энергию до 1 ГэВ и выше. Такие вспышки характеризуются большими потоками ускоренных частиц [7]. События, в которых частицы ускоряются до энергий выше 100 МэВ/нуклон, должны быть рассмотрены т.к. несут потенциальную опасность не только для электроники космического аппарата, но и непосредственно для работы ядерно-энергетической установки.

Для исследования возможного влияния солнечной вспышки на работу КЯЭУ рассматривался пятиминутный пик солнечной активности с использованием спектров, приведенных в [8]. КЯЭУ облучалась потоком протонов равномерным по поверхности и имеющим изотропное угловое распределение (см. рисунок 2).

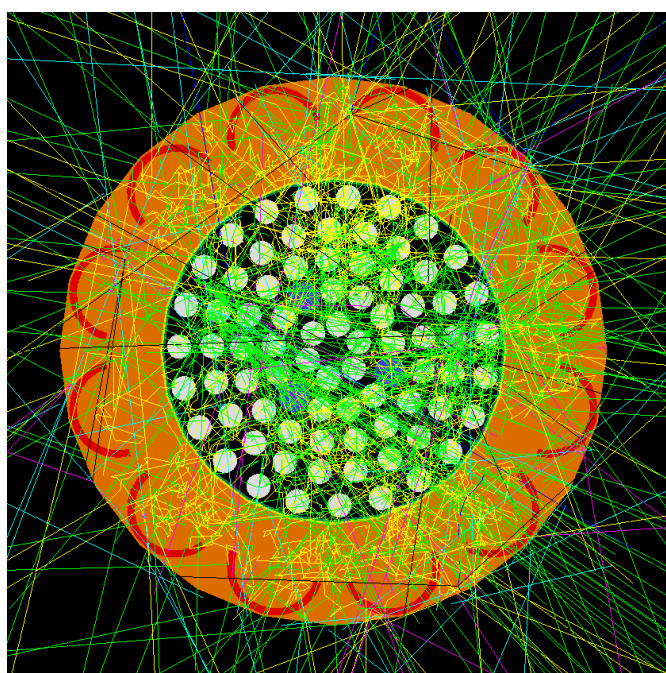


Рис.2 – Моделирование взаимодействия протонов космических лучей с ТРП

Расчет показал, что количество первичных делений достигает значения $2,6 \cdot 10^6$ дел/с, это примерно соответствует $8,4 \cdot 10^{-5}$ Вт тепловой мощности реактора. Тепловая мощность ТРП «ТОПА3», обеспечиваемая специальным пусковым источником нейтронов без учета размножения более чем на два порядка меньше и составляла $3,5 \cdot 10^{-7}$ Вт. Однако пиковое значение потока протонов в данном случае не является определяющим. Во время вспышки важным также, является и скорость нарастания потока частиц. Солнечная вспышка как событие может быть заранее предсказана, но длительность вспышки и скорость возрастания потока частиц на сегодняшний день не прогнозируются [9]. На рисунке 3 представлено изменение мощности реактора для случаев, когда солнечной вспышки не происходит (сплошная линия —), и три варианта с различным временем достижения пика потока частиц ($\times 3000$ с, $\diamond 1000$ с, $\circ 600$ с). При исследовании предполагалось, что рост потока частиц происходит линейно, а начало роста приходится на момент времени начала пуска реактора. При моделировании изменялось значение тепловой мощности реактора, обеспечиваемое внешним источником нейтронов от значения $3,5 \cdot 10^{-7}$ до $8,4 \cdot 10^{-5}$ Вт. Реактивность вводилась линейно в соответствии с данными представленными в работе [10].

Из рисунка 3 понятно, что чем меньше будет время достижения пика потока протонов, тем быстрее будет происходить рост тепловой мощности реактора. Если мощность увеличивается в 2,7 раза менее чем за 20 с, реактор будет аварийно остановлен [11].

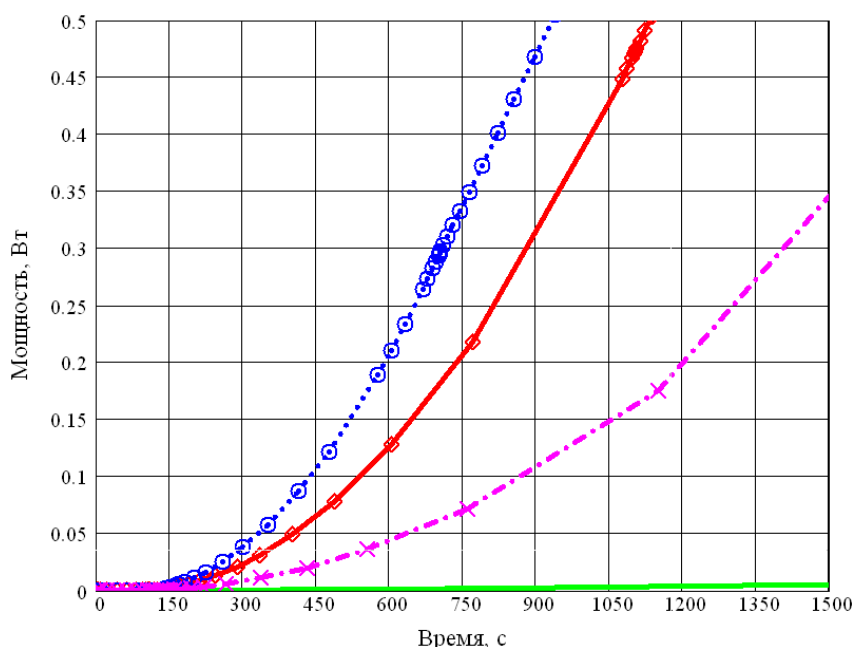


Рис. 3 – Изменение мощности реактора при вводе положительной реактивности и солнечной вспышке

Таким образом, можно заключить, что редкие события с энергией частиц более 100 МэВ могут иметь потенциальную опасность для КЯЭУ в период ее пуска. Следовательно, появление таких солнечных вспышек должно учитываться при составлении программ запуска космических аппаратов с ЯЭУ на борту и при выборе времени физического пуска реактора на орбите.

Заключение

В данной работе было проведено исследование воздействия мощной вспышки на Солнце на начальный этап физического пуска космической ядерно-энергетической установки. Для этого в программном комплексе GEANT4 была создана компьютерная модель, детально описывающая геометрию термоэмиссионного реактора-преобразователя и все существенные в задаче ядерно-физические процессы.

Исследование показало, что степень влияния на физический пуск реактора будет определяться временем достижения пика потока протонов.

Таким образом, необходимо дальнейшее исследование влияния процесса вспышки на Солнце на пуск КЯЭУ с учетом детального хода изменения спектров протонов.

Список литературы

1. *Алексеев П.А., Ехлаков И.А.* Исследование влияния космического излучения на формирование внешнего источника нейтронов в КЯЭУ КЯЭУ // Сборник докладов XI научно – технической конференции «Молодежь в науке», Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» 2013. – С. 38-43
2. Официальная страница GEANT4 на сайте CERN URL: <http://geant4.web.cern.ch/geant4/>
3. Рекомендации по выбору физических процессов, моделей и сечений на сайте Стэнфордской Национальной ускорительной лаборатории URL: http://www.slac.stanford.edu/comp/physics/geant4/slac_physics_lists/G4_Physics_Lists.html
4. Верификация моделей и сечений, используемых в GEANT4: http://geant4.web.cern.ch/geant4/results/validation_plots/index.shtml
5. Моделирование излучения нейтронов и гамма лучей в процессах деления и фотоделения: <http://nuclear.llnl.gov/simulation/fission.pdf>
6. Описание пакета моделей ParticleHP на сайте CIEMAT: http://wwwae.ciemat.es/~arce/particle_hp/
7. Информационная система SPENVIS URL: <http://www.spenvis.oma.be/spenvis/> (дата обращения 24.06.2013)
8. *Shannon M.* Bragg-Sitton and James Paul Holloway, Reactor Start-up and Control Methodologies: Consideration of the Space Radiation Environment, Space Technology and Application International Forum-STAIF 2004.
9. Модель космического пространства под редакцией С.Н.Вернова. Т.1 Физические условия в космическом пространстве//Издательство Московского Университета, 1983 – 599 с.
10. *Пупко В.Я., Макаренков Ю.Д., Марин С.Н., и др.* Исследование некоторых возможных аварий при пусковых режимах космической ЯЭУ. // ВАНТ серия Физика ядерных реакторов вып.4, 1995. –С. 77–81
11. *Казанский Ю.А.* Кинетика ядерных реакторов. Учебное пособие по курсу «Физическая теория ядерных реакторов». – Обнинск: ИАТЭ, 2003. – 96 с

05.12.13

С.Г. Алюшина, О.Г. Морозов д.т.н., И.И. Нуреев к.т.н.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева – КАИ, кафедра телевидения и мультимедийных систем, Казань, microoil@mail.ru

ПОЛИГАРМОНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА АБОНЕНТСКИХ УЗЛАХ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В статье рассмотрены принципы полигармонического зондирования волоконных решеток Брэгга (ВРБ), использующихся в качестве маркеров каналов пассивных оптических сетей, с целью комплексированного определения температуры в ее абонентских узлах. Учитывая симметричный характер зондирующего полигармонического излучения, рассмотрены симметричные структуры классической ВРБ и ВРБ с фазовым π -сдвигом. Анализ температуры осуществляется по разности фаз огибающих полигармонического излучения до и после прохождения ВРБ. Показано, что при использовании ВРБ с фазовым π -сдвигом система измерения температуры может быть реализована на доступной и дешевой элементной базе, работающей в диапазоне единиц ГГц.

Ключевые слова: *пассивная оптическая сеть, система мониторинга, сетевой узел, температура, волоконная решетка Брэгга с фазовым π -сдвигом, симметричное полигармоническое зондирование.*

Введение. Современный этап развития систем мониторинга (СМ) пассивных оптических сетей (ПОС) характеризуется применением методов, заключающиеся в маркировании отдельных каналов ПОС коммерчески доступными, недорогими средствами, например, отражателями, расставленными по временной шкале за счет волоконных вставок на определенную задержку уникальную для каждого абонентского узла сети (АУС), интерферометрическими или бриллюэновскими модулями с уникальной фазовой или частотной разницей между каналами, и, наконец, волоконными решетками Брэгга (ВРБ) с уникальной длиной волны отражения. При этом использование последних наиболее предпочтительно, поскольку они позволяют комплексированно получить температурное распределение на каждом АУС и проводить мониторинг не только канала связи по целостности, но и по климатическим условиям, которые существенно определяют его спектральные характеристики и соответственно качество связи [1, 2].

Один из возможных путей решения задачи измерения температуры в СМ ПОС, построенных на принципах оптической рефлектометрии в частотной области, основан на зондировании ВРБ неперестраиваемым полигармоническим излучением, в частности, симметричным двух- или четырехчастотным [3-8], средняя частота которого при калибровке, как правило, настроена на центральную частоту спектра пропускания/ отражения ВРБ, и определении ее расстройки по коэффициенту амплитудной модуляции и/или разности фаз (знаку разности фаз) огибающих пар сигналов на разностной частоте до и после прохождения ВРБ с целью измерения температуры.

Выбор полигармонического метода зондирования ВРБ и ее типа.

В [8] представлены основные полигармонические методы зондирования ВРБ для измерения температуры:

- метод анализа разности фаз огибающих двухчастотного излучения до и после прохождения им возмущенной ВРБ;
- метод анализа коэффициента амплитудной модуляции и знака разности фаз огибающих двухчастотного излучения до и после прохождения им возмущенной ВРБ;
- метод анализа разности амплитуд огибающих двух двухчастотных излучений, расположенных на разных склонах ВРБ и имеющих неравные разностные частоты;

- метод анализа разности амплитуд огибающих двух двухчастотных излучений, расположенных на центральной длине волны ВРБ и имеющих неравные разностные частоты.

Методы можно условно разделить на амплитудные и фазовые. Для всех методов получены линейные характеристики зависимости температуры от измеряемого параметра. Недостаток фазовых методов – необходимость измерения разности фаз огибающих, частота которых лежит в диапазоне 40-100 ГГц для классической ВРБ с шириной на полувысоте, равной 0,5-1 нм (типовые значения в сенсорных применениях).

Амплитудные методы позволяют избавиться от фазовых измерений и характеризуются возможностью компенсации погрешностей, связанных с нестабильностью исходного лазерного излучения. Недостаток амплитудных методов – сложная процедура формирования двух двухчастотных излучений с неравными разностными частотами, что требует использования как минимум двух модуляторов Маха-Цендера.

Учитывая сказанное выше, было предложено сформировать для симметричного двухчастотного зондирующего излучения симметричный датчик на основе ВРБ с фазовым π -сдвигом. Это позволит применить достоинства фазовых методов, а именно простоту реализации. При этом полоса рабочих частот составит 4-10 ГГц в силу следующих причин.

Нами при исследовании ВРБ с фазовым π -сдвигом было отмечено [9], что при температурных изменениях структура решеток такого типа не изменяется. Таким образом, если для измерения ширины классической ВРБ необходимо использовать сложную элементную базу с полосой до 100 ГГц, то для измерения ширины провала может быть использована методика двухчастотного зондирования без перестройки частоты лазера [5]. Исходя из ширины провала 50-100 пм разностные частоты должны лежать в диапазоне 4-10 ГГц. Процедура определения разности фаз при этом сводится к использованию практически одной микросхемы типа AD8302 для нижней границы диапазона. Дальнейшее снижение разностной частоты ограничено диапазоном флуктуации температур в пределах ± 5 °С с учетом известной зависимости смещения центральной длины ВРБ от температуры $\sim 0,01$ нм/°К и характеристиками блоков температурной стабилизации абонентских узлов.

На рис. 1 показана зависимость ширины окна прозрачности ВРБ с фазовым π -сдвигом на полувысоте в зависимости от длины решетки для различных коэффициентов модуляции показателя преломления волокна. Из анализа рис. 1 видно, что возможно получение как сверхузких окон прозрачности, так и достаточно широких, способных регистрировать изменения температуры в пределах 5-10 °С, что вполне достаточно для построения систем автоматического регулирования.

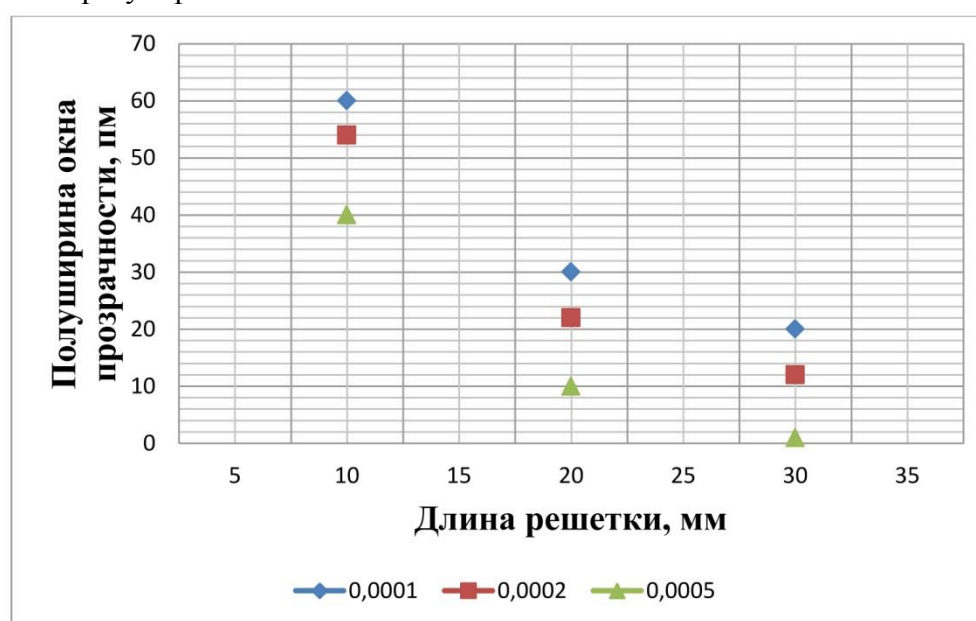


Рис. 1 – Зависимость ширины окна прозрачности решетки на полувысоте от ее длины и глубины коэффициента модуляции показателя преломления волокна 0,0001, 0,0002 и 0,0005

Теоретическое обоснование метода измерения температуры.

Центральная длина волны ВРБ $\lambda_{\text{ВРБ}}$ определяется выражением [8]:

$$\lambda_{\text{ВРБ}} = 2n_{\text{эфф}}\Lambda, \quad (1)$$

где $n_{\text{эфф}}$ – эффективный показатель преломления основной моды, Λ – период его модуляции.

Огибающую спектра ВРБ по отражению R , выраженную через расстройку δ , можно определить как [7]:

$$R = \sinh^2 \left[\kappa L \sqrt{1 - (\delta/\kappa)^2} \right] / \left\{ \cosh^2 \left[\kappa L \sqrt{1 - (\delta/\kappa)^2} \right] - (\delta/\kappa)^2 \right\}, \quad (2)$$

где L – длина ВРБ, κ – коэффициент связи прямой и обратной мод, (δ/κ) – относительная расстройка. Расстройка ВРБ с периодом Λ равна $\delta = \Omega - (\pi/\Lambda)$, где $\Omega = 2\pi n_{\text{эфф}}/\lambda$.

Будем считать, что амплитуды составляющих зондирующего двухчастотного излучения, равны, $U_1 = U_2 = 1$, и имеют противоположные начальные фазы. Частоты составляющих симметричны относительно средней расстройки ВРБ $\delta = \delta_0$ и равны $\delta_{01} = \delta_0 + \Delta\delta/2$ и $\delta_{02} = \delta_0 - \Delta\delta/2$, где $\Delta\delta$ – расстройка между частотами составляющих, которая для оптимальных по чувствительности измерений должна соответствовать спектральной ширине ВРБ на полувывоте. Тогда отраженные от ВРБ составляющие имеют одинаковые начальные фазы и равные амплитуды $R_1 = R_2$.

Резонансная длина волны ВРБ $\lambda_{\text{ВРБ}}$ зависит от температуры волокна:

$$\Delta\lambda_{\text{ВРБ}} = 2n_{\text{эфф}}\Lambda \left[\frac{1}{\Lambda} \frac{\partial\Lambda}{\partial T} + \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial T} \right] \Delta T, \quad (3)$$

где ΔT – изменение температуры.

При смещении контура ВРБ, вызванного изменением температуры, появляется неравенство $R_1 \neq R_2$ и изменение фазовых соотношений составляющих двухчастотного излучения. Вид неравенства и знак разности фаз определяется направлением сдвига контура ВРБ, т.е. увеличением или уменьшением температуры.

Амплитуда огибающей двухчастотного сигнала U_R определяется как [3]:

$$U_R \approx \sqrt{R_1^2 + R_2^2 + 2R_1R_2 \cos(k\Delta\delta t)}, \quad (4)$$

а мгновенная фаза:

$$\varphi_R \approx \arctg \left\{ \frac{\sin[(\varphi_{R_2} - \varphi_{R_1}) + k\Delta\delta t]}{R_1/R_2 + \cos[(\varphi_{R_2} - \varphi_{R_1}) + k\Delta\delta t]} \right\}, \quad (5)$$

где $\varphi_{R_1}, \varphi_{R_2}$ – соответственно фазы выходных составляющих R_1 и R_2 .

На рис.2 показан рассчитанный отклик ВРБ с фазовым π -сдвигом на изменение температуры. Полученные значения тренда показали, что чувствительность измерений ВРБ с фазовым π -сдвигом от температуры составила ~ 10 пм/°С.

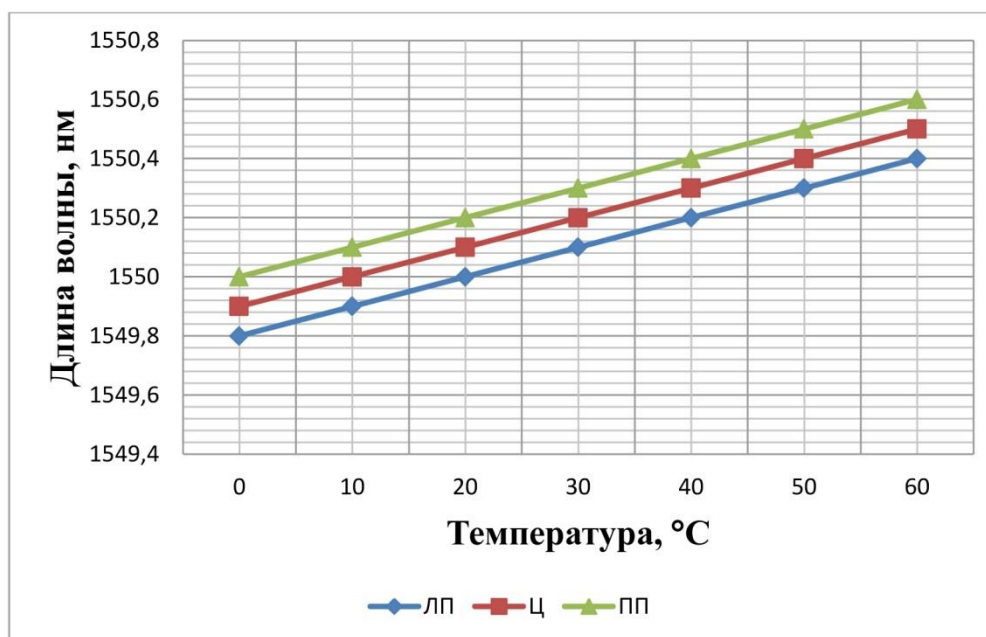


Рис. 2 – Зависимость сдвига центральной длины волны окна прозрачности ВРБ с фазовым π -сдвигом от температуры:
ЛП – левый пик, Ц- центр, ПП – правый пик решетки

Результаты экспериментальных исследований, проведенные в НИИ ПРЭФЖС КНИТУ-КАИ, полностью подтвердили разработанные теоретические положения.

Заключение. Таким образом, нами показано, что использование полигармонических методов зондирования ВРБ позволяет решить задачу комплексированного мониторинга температурного распределения на АУС ПОС сети с использованием ВРБ с фазовым π -сдвигом и недорогой элементной базы обработки по фазе огибающей зондирующего двухчастотного сигнала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания КНИТУ-КАИ на выполнение научных исследований (программа «Фотоника») и договора №9932/17/07-К-12 от 20.11.2012 между КНИТУ-КАИ и ОАО «КАМАЗ» по комплексному проекту «Создание семейства двигателей КАМАЗ на альтернативных видах топлива с диапазоном мощностей 300...400 л.с. и потенциалом выполнения перспективных экологических требований»

Список литературы

1. Бурдин В.А., Дмитриев Е.В. Локализация дефектов оболочки волоконного световода на коротких длинах оптического волокна // Инфокоммуникационные технологии. 2010. Т. 8. № 3. С. 34-37.
2. Султанов А.Х., Виноградова И.Л., Салихов А.И. Нелинейный волоконно-оптический переключатель // Вестник УГАТУ. 2008. Т. 10. № 1. С. 205-217.
3. Куревин В.В. и др. Структурная минимизация волоконно-оптических сенсорных сетей экологического мониторинга // Инфокоммуникационные технологии. 2009. Т. 7. № 3. С. 46–52.
4. Morozov O.G., et al. Methodology of symmetric double frequency reflectometry for selective fiber optic structures // Proceedings of SPIE. 2008. V. 7026. P. 70260I-8
5. Morozov O.G., et al. Metrological aspects of symmetric double frequency and multi frequency reflectometry for fiber Bragg structures // Proceedings of SPIE. 2008. V.7026. P.70260J-6.
6. Морозов О.Г., Айбатов Д.Л., Садеев Т.С. Синтез двухчастотного излучения и его применения в волоконно-оптических системах распределенных и мультиплексированных измерений // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2010. Т. 13. № 3. С. 84–91.
7. Natanson O.G., et al. Development problems of frequency reflectometry for monitoring systems of optical fiber structures // Proceedings of SPIE. 2005. V.5854. P.215-223.
8. Куприянов В.Г. и др. Маломодовое зондирование датчиков на основе волоконных решеток Брэгга // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 200-204.
9. Морозов О.Г., Степущенко О.А., Садыков И.Р. Модуляционные методы измерений в оптических биосенсорах рефрактометрического типа на основе волоконных решеток Брэгга с фазовым сдвигом // Вестник Поволжского ГТУ. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 3. С.3—13.

05.23.01

Л.С. Амирханян

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет,
строительный факультет, кафедра проектирования зданий и сооружений,
Воронеж, uh_la_la@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСЧЕТА УДЕЛЬНОГО ГОДОВОГО РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЮ ЗДАНИЯ

В статье представлены результаты расчета удельного годового расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию многоквартирного жилого дома в соответствии с нормами, регламентирующими соблюдение требований энергетической эффективности.

Ключевые слова: *энергосбережение, расчетное теплотребление зданий на отопление и вентиляцию, удельный годовой расход тепловой энергии, класс энергетической эффективности.*

С каждым годом энергосбережение становится все более актуальной проблемой. Истощение запасов традиционных источников энергии, быстрый рост цен на углеводородное сырье, негативное влияние на окружающую среду, связанное с его производством, - все эти факторы превратили проблему рационального использования и экономии топливно-энергетических ресурсов и поисков альтернативных источников энергии в одну из мировых проблем, влияющих на сохранение среды проживания человеческой цивилизации.

Одним из самых активных потребителей энергии в нашей стране является строительный комплекс. Наиболее эффективная возможность экономии энергии в данной сфере - энергосберегающие технологии в строительстве.

Государственная программа Российской Федерации "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года" направлена на обеспечение повышения конкурентоспособности, финансовой устойчивости, энергетической и экологической безопасности российской экономики, а также роста уровня и качества жизни населения за счет реализации потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности на основе модернизации, технологического развития и перехода к рациональному и экологически ответственному использованию энергетических ресурсов.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 08.08.2013) "О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию" проектная документация на объекты капитального строительства производственного и непромышленного назначения должна содержать раздел "Мероприятия по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности и требований оснащенности зданий, строений и сооружений приборами учета используемых энергетических ресурсов". Документами, в которых установлены нормативные требования к зданиям и порядок их реализации являются СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» и СП 50.13330.2012 "Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003".

Расхождения в СНиП и СП есть по поводу удельных показателей расхода тепловой энергии, применения понижающих региональных коэффициентов для сопротивлений теплопередаче и определению класса энергетической эффективности зданий.

В Приказе Министерства энергетики РФ от 8 декабря 2011 г. N 577 "О внесении изменений в требования к энергетическому паспорту, составленному по результатам обязательного энергетического обследования, и энергетическому паспорту, составленному

Таблица 2 – Результаты расчета удельного годового расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию многоквартирного жилого дома

Показатель	Результаты расчета	
	СНиП 23-02-2003	СП 50-13330-2012
Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений, $R_o^{пр}, м^2 \cdot ^\circ C / Вт$:		
- наружных стен $R_o^{пр}_{ст}$	3,116	3,116
- окон и балконных дверей $R_o^{пр}_{ок}$	0,53	0,53
- перекрытий «теплых» чердаков $R_o^{пр}_{черд.т.}$	4,61	4,61
- перекрытий над техническими подпольями $R_o^{пр}_{цок}$	1,54	1,54
Приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередаче здания $K_{тр}, Вт/(м \cdot ^\circ C)$	0,510	0,664
Расчетное теплопотребление зданий на отопление и вентиляцию за отопительный период $Q, МВт \cdot ч$	1612	1935
Удельный расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период $q, кВт \cdot ч/м^2$	76,50	82,39
Класс энергетической эффективности	В	С

В таблице 2 приведены истинные значения удельного расхода, отнесенного к площади квартир, $q=Q/(A_{общ+пол})=1935 \cdot 10^3/23485,9=82,39$ кВт·ч/м² и соответствующий ему класс энергетической эффективности - пониженный «С».

В результате получается, что актуализированный в 2012 г СНиП рекомендует увеличение потребления тепловой энергии на отопление на $(1935-1612) \cdot 100/1612 = 20\%$ по сравнению с действующем до него СНиПом 2003г.

Результаты расчета показали, что редакция СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» (Актуализированная редакция СНиП 23-02-2012) не повышает требования к уровню энергоэффективности зданий по сравнению с требованиями стандарта по тепловой защите 2003 года (СНиП 23-02-2003). Но, ввиду того, что СП 50.13330.2012 входит в перечень СП, подлежащих применению на обязательной основе, проектирование тепловой защиты строящихся или реконструируемых жилых, общественных, производственных зданий необходимо выполнять соблюдая требования данного нормативного документа.

Список литературы

1. Ливчак В.И. О требованиях энергетической эффективности зданий из приказа № 262 Минрегионразвития России // Энергосбережение. – 2010. – № 5. – С. 10–14
2. Ливчак В.И. О расчете систем отопления, энергосбережении и температуре воздуха в отапливаемых помещениях жилого дома // АВОК. – 2010. – № 2.
3. Наумов А.Л., Смага Г.А., Шилькрот Е.О. Определение годовых расходов энергии на эксплуатацию зданий // АВОК. – 2010. – № 4.
4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. - М. : ЦНИИЭПжилища, 2003.- 65с.
5. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. - М. : НИИСФ РААСН, 2012.- 116с.

05.13.06

А.А. Анисимов, В.В. Ефремов, С.К. Милосердный, А.Г. Шелудько

Московский государственный университет дизайна и технологии, институт мехатроники и информационных технологий, кафедра автоматики, Москва, alex_anisimov@list.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБОГРЕВАЕМОЙ СПЕЦОДЕЖДЫ ВОДОЛАЗА

В статье приводятся графики переходных процессов автоматической системы регулирования температуры обогреваемой спецодежды водолаза, полученные в результате лабораторных экспериментов. Целью исследований является анализ работы АСР температуры обогреваемой спецодежды водолазов с использованием релейного регулятора на основе микроконтроллера AVR ATtiny45.

Ключевые слова: обогреваемая спецодежда водолазов, автоматическая система регулирования температуры, микроконтроллеры AVR.

В настоящее время актуальной задачей является минимизация размеров и веса регулятора, используемого в составе автоматической системы регулирования температуры обогреваемой спецодежды водолаза. Связано это с тем, что одежда состоит из секций, которые обогревают определённые части тела человека. Температура различных участков тела человека имеет своё оптимальное значение [1], отклонение от которого может привести к ощущениям дискомфорта водолаза. Целью работы является исследование и анализ переходных характеристик АСР температуры спецодежды с регулятором на основе микроконтроллера (МК) AVR ATtiny45, который обладает малыми габаритами и весом.

В данной работе проведено сопоставление графиков переходных процессов АСР температуры обогреваемой одежды с двумя регуляторами: на основе МК ATtiny45 и промышленным регулятором МИНИТЕРМ-400 МЗТА. В работе показано, что при меньшем весе и объёме регулятора с МК, качество его работы аналогично промышленному регулятору.

Исследования работы АСР с регуляторами проводились в лабораторных условиях. Оба регулятора реализуют релейное регулирование. Выбор в пользу релейных регуляторов основан на том, что для настройки ПИ-регулятора необходимо рассчитывать робастную устойчивость [2] и как можно точнее определять коэффициенты K_p и T_u . Поэтому в лабораторных условиях, а иногда и в реальных условиях, проще и экономичнее использовать релейный регулятор.

Во время проведения экспериментов по исследованию работы релейного регулятора температуры обогреваемой одежды водолаза, датчики размещались на внутренней поверхности нагревательных элементов (обращённой к человеческому телу) и на поверхности кожи.

Модель системы «человек-одежда-окружающая среда» состояла из следующих компонентов: ёмкости с водой, заменяющей внешнюю среду; гидрокомбинезона; датчика температуры; утеплителя из вспененного полиэтилена; проволочного нагревательного элемента; хлопчатобумажного нательного белья; модели нетермостатированного участка человеческого тела; ёмкости с горячей водой, заменяющей ядро человека. Указанные составляющие модели системы «человек-одежда-окружающая среда» помещались в короб для уменьшения тепловых потерь в воздушную среду.

Нагревательный элемент представляет собой проволочный нагревательный элемент. Провода нагревательного элемента уложены зигзагом в толще прорезиненного материала с шагом 10 мм.

Эксперименты проводились неоднократно, с целью получения статистических данных о переходных процессах при релейном регулировании температуры нагревательного элемента, и дальнейшего анализа полученных данных. При исследовании АСР температуры обогреваемой одежды водолаза с регулятором МИНИТЕРМ-400 в качестве датчика использовалась термопара. При рассмотрении работы АСР температуры обогреваемой одежды с МК ATtiny45 использовался датчик типа DS18B20.

На рис. 1 показан график переходной характеристики в одном из проведённых экспериментов с регулятором МИНИТЕРМ-400. Зона неоднозначности регулятора в данном случае составляла $\pm 1^\circ\text{C}$.

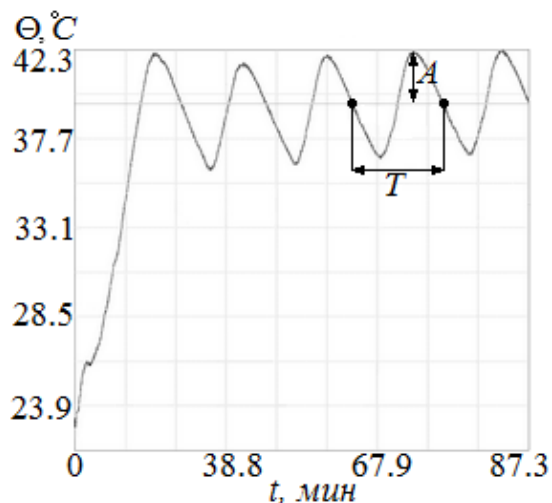


Рис. 1 – График переходного процесса АСР с включённым регулятором МИНИТЕРМ-400

Анализируя график на рис. 1, можно определить амплитуду и период автоколебаний: $A \approx 2.6^\circ\text{C}$, $T \approx 17.7$ мин.

Полученный график переходной характеристики для одного из экспериментов с регулятором на основе МК ATtiny45 представлен на рис. 2. Зона неоднозначности релейного регулятора для данного случая, как и для предыдущего, $b = \pm 1^\circ\text{C}$.

Анализ графика на рис. 2 показывает, что амплитуда автоколебаний данного переходного процесса $A \approx 2.8^\circ\text{C}$, а период автоколебаний $T \approx 15$ мин.

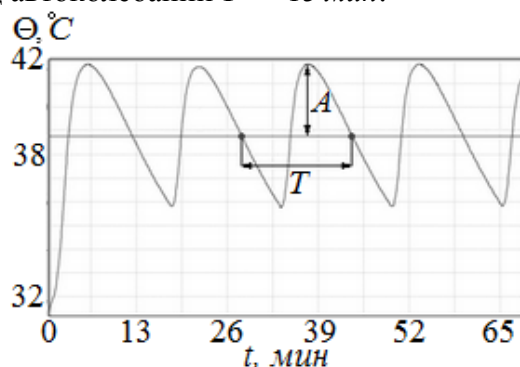


Рис. 2 – График переходного процесса АСР с регулятором на основе МК ATtiny45

В итоге можно сказать, что переходная характеристика, показанная на рис. 2, полученная в результате экспериментов с релейным регулятором, сделанном на основе МК, имеет незначительные отличия от переходной характеристики, представленной на рис. 1.

Далее представлены графики переходного процесса температуры на поверхности человеческого тела (рис. 3) и нагревательного элемента (рис. 4) при использовании регулятора на основе МК AVR ATtiny45.

Из графиков на рис. 3 и 4 видно, что амплитуда автоколебаний нагревательного элемента $A_1 \approx 2.6^\circ\text{C}$, а период автоколебаний $T_1 \approx 12$ мин. Средняя температура нагревательного элемента 36.8°C ; амплитуда автоколебаний на поверхности человеческого тела $A_2 \approx 1.2^\circ\text{C}$, период автоколебаний $T_2 \approx 12$ мин. Средняя температура на поверхности человеческого тела 35.6°C .

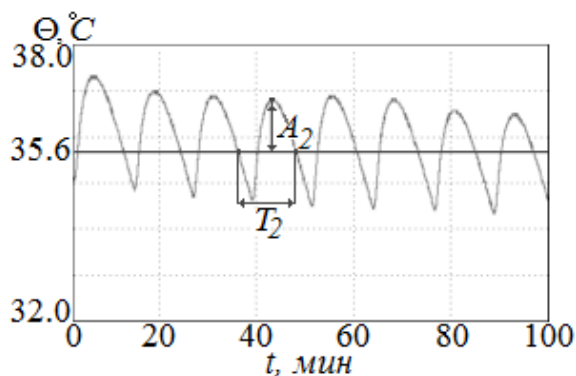


Рис. 3 – График переходного процесса температуры на поверхности человеческого тела

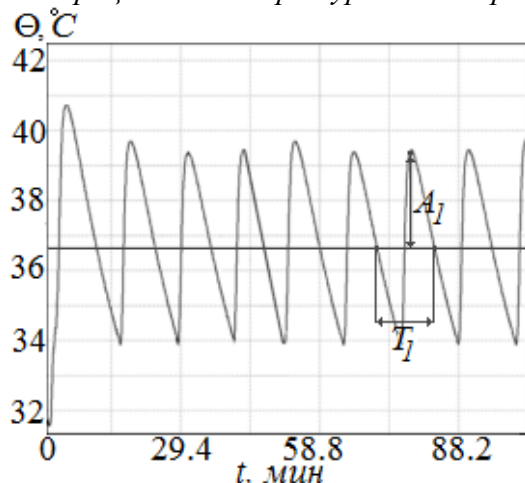


Рис. 4 – График переходного процесса нагревательного элемента

Целесообразно рассмотреть значение температуры на поверхности человеческого тела (рис. 3) и сравнить с данными, получаемыми в ходе расчётов с помощью метода конечных разностей [3].

Значения температуры на поверхности человеческого тела, полученные в ходе расчётов с помощью метода конечных разностей, для следующих условий: температура электрического нагревательного элемента 37°C , температура внешней среды 6°C , среда – воздух – колеблются в диапазоне от 36.7°C до 34.3°C . Температура тела в предполагаемой точке установки датчика, полученная в результате расчётов, составляет $\sim 35^{\circ}\text{C}$.

Анализ графика на рис. 3 показывает, что результаты, полученные в ходе экспериментов, с определённой погрешностью подтверждают результаты, полученные с помощью расчётов.

Проведённые эксперименты показали, что графики переходных характеристик АСР с регулятором, основанном на микроконтроллере ATtiny45, имеют незначительные отличия от графиков переходных характеристик АСР с регулятором МИНИТЕРМ-400.

Основываясь на результатах исследований, можно сделать вывод о том, что регулятор на основе микроконтроллера ATtiny45 обеспечивает необходимую работу нагревательного элемента в лабораторных условиях.

Список литературы

1. Ефремов В.В. Автоматическое регулирование температуры в спецодеждах водолазов: Монография. – М.: РИО МГУДТ, 2012. – С. 38.
2. Ефремов В.В., Шелудько А.Г., Анисимов А.А. Расчёт робастно-устойчивости автоматической системы регулирования температуры водообогреваемой спецодежды водолаза // Дизайн и технологии. – 2013. – №34(76). – С. 75-79.
3. Ефремов В.В., Анисимов А.А. Исследование температурных полей в спецодежде с трубчатыми водонагревательными элементами // Дизайн и технологии. – 2012. – №27(69). – С. 62-68.

05.02.07

М.Н. Ахметов, Н.Д. Ахметов к.т.н., М.М. Гимадеев к.т.н., В.А. Кривошеев к.т.н.

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Набережночелнинский институт (филиал),
автомобильное отделение, кафедра механики и конструирования,
Набережные Челны, nailahmat@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Предлагается способ восстановления изношенной гильзы цилиндров двигателей внутреннего сгорания в номинальный размер обжатием в радиальном направлении за счёт энергии электрогидравлического удара.

Ключевые слова: *высоковольтный электрический разряд в воде, ударные волны, разрядная камера, восстановление изношенных гильз цилиндров.*

Восстановление изношенных деталей и, в первую очередь, основных, как наиболее дорогостоящих и металлоёмких, является наиболее эффективным методом решения проблемы обеспечения запасными частями в ремонтном производстве. К числу таких деталей относятся гильзы цилиндров двигателей внутреннего сгорания. Они работают в наиболее тяжёлых условиях, их износ в значительной степени определяет срок службы всего двигателя, в том числе его надёжность и экономичность.

Многие существующие в настоящее время способы восстановления внутренней поверхности гильз цилиндров из-за их несовершенства и сложности технологического процесса, высокой трудоёмкости или недостаточной долговечности восстановленных деталей и ряда других причин не находят широкого применения в ремонтной практике. Это приводит к тому, что из общего количества расходуемых при ремонте двигателей гильз цилиндров повторно используется менее 10 %.

Следует отметить и другое. Некоторые производители не выпускают поршни ремонтного размера, поэтому при ремонте двигателей изношенные гильзы цилиндров полностью выбраковываются, что также ведёт к нерациональному расходованию металла.

Существующие способы восстановления гильз цилиндров в номинальный размер не нашли на сегодня широкого применения в производстве, в основном, из-за того, что имеют высокую себестоимость и не всегда соответствуют требованиям по качеству. Таким образом, массовое и качественное восстановление гильз цилиндров в номинальный размер является одной из важнейших и проблемных задач ремонтного производства. Решить её можно за счёт разработки новых прогрессивных технологий восстановления гильз цилиндров, которые позволят упростить способ восстановления и расширить технологические возможности в ремонтно-восстановительном производстве.

Для восстановления изношенных гильз цилиндров авторами было разработано устройство в виде закрытой камеры, заполненной рабочей жидкостью, где производится обжатие гильзы в радиальном направлении за счёт энергии электрогидравлического удара. Использование предлагаемого способа обеспечит получение равномерного обжима гильзы в радиальном направлении и одновременно позволит снять имеющиеся внутренние напряжения в гильзе, что сделает операцию отпуска излишним. За счёт обжима гильзы радиальными усилиями, превышающими предел текучести материала, появляется возможность ремонта гильз и при значительных износах внутренней поверхности. Это позволит увеличить процент повторно используемых гильз.

Основной частью электрогидравлической установки является разрядная камера, в которой происходит процесс высоковольтного электрического разряда в жидкой среде. Эффективность процесса электрогидравлической обработки во многом зависит от формы и размеров разрядной камеры, её взаимного расположения с объектом обработки. В связи с этим, при выборе конструкции разрядной камеры необходимо учитывать, чтобы она обеспечивала высокий коэффициент преобразования энергии в работу пластической деформации, минимальные затраты по времени на сборку, установку и наладку. Известны разрядные камеры открытые и закрытые. Закрытые камеры характеризуются небольшим, по сравнению с открытой камерой, объёмом используемой рабочей жидкости и большими давлениями. Пробой при этом может осуществляться как через разрядный промежуток, так и через иницирующую проволочку. К настоящему времени известно значительное количество различных типов разрядных камер [4]. С учётом вышесказанного, авторами предлагается следующая схема разрядной камеры, которая показана на рисунке.

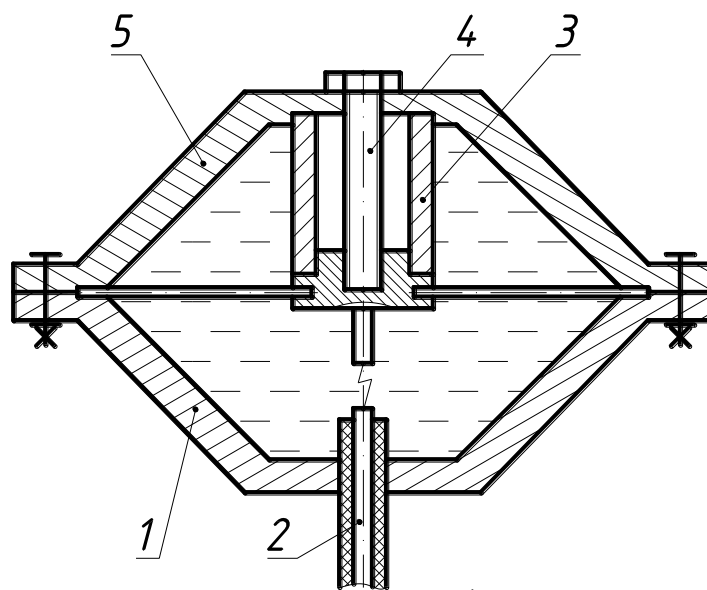


Рис. 1 - Схема разрядной камеры электрогидравлического устройства для восстановления гильз цилиндров ДВС обжатием в радиальном направлении:
1 – корпус камеры; 2 – электроды; 3 – восстанавливаемая гильза;
4 – крепление обрабатываемой детали; 5 – крышка корпуса.

Электрогидравлическое устройство представляет собой закрытую камеру, внутренняя полость которой образована из двух соосно расположенных конических поверхностей. Разрядная камера заполнена рабочей жидкостью, это технически чистая вода. Внутри камеры размещены электроды. Возникающие при высоковольтном электрическом разряде в воде ударная волна (УВ) и волна давления (гидропоток) за счёт отражения от внутренних стенок камеры и соответствующее при этом импульсное повышение давления внутри камеры производят обжатие гильзы в радиальном направлении. При обжиме гильзы происходит её пластическая деформация с уменьшением внутреннего диаметра. Далее внутренняя поверхность гильзы цилиндра обрабатывается механическим способом под номинальный размер.

Объективным и удобным для анализа оценки эффективности нагружения гильзы служит величина энергии ударной волны, падающей на поверхность обрабатываемой детали. Расчёт исследуемого процесса традиционными методами теории подводного взрыва ВВ, основанными на решении системы гидродинамических уравнений приводит к математическим трудностям. Для получения инженерного метода расчёта воспользуемся подходом к описанию процесса распространения ударных волн в сплошной среде, который базируется на решении нестационарного уравнения переноса энергии, аналогичного по форме уравнению переноса излучения [1]. Для оценки энергетики ударных волн

предлагается использовать обобщённую величину – поверхностную плотность энергии E , которая пропорциональна произведению давления p_m на фронте ударной волны на её скорость N , то есть $E = k_E p_m N$, где в первом приближении для случая гомогенной и изотропной рабочей среды в разрядной камере может быть принято $k_E = 3/4$.

Как известно, в момент встречи падающей волны с границей раздела двух сред образуются отраженная и проходящая волны. Система отражённых и проходящих волн, возникающая при падении ударной волны на границу раздела сред, зависит от акустических свойств этих сред. Коэффициенты отражения можно определить из выражения:

$$R_i = [(\rho_i c_i - \rho_v N) / (\rho_i c_i + \rho_v N)]^2,$$

где ρ_i , c_i – в нашем примере соответственно плотность и скорость звука в материалах корпуса 1, крышки 5 и самой гильзы 3; ρ_v – плотность воды; N – скорость перемещения фронта ударной волны в рассматриваемой точке падения волны. Произведение $\rho_i c_i$ называется акустическим сопротивлением среды. Здесь, в отличие от известных зависимостей R в акустическом приближении, мы вместо адиабатической скорости звука в воде используем значение скорости фронта ударной волны N .

Для экспериментального исследования были выбраны следующие параметры разряда: напряжение разрядного контура $U = 13.1 \text{ кВ}$, емкость батареи конденсаторов $C = 4 \text{ мкФ}$, индуктивность разрядного контура $L = 1.45 \text{ мкГн}$, длина межэлектродного промежутка $l_p = 0.02 \text{ м}$. Для данного режима разряда в условиях «большого» объема были экспериментально определены эмпирические зависимости для скорости перемещения фронта ударной волны N и амплитудного значения давления в ударной волне p от расстояния l от оси канала разряда, которые представлены на рис. 2.

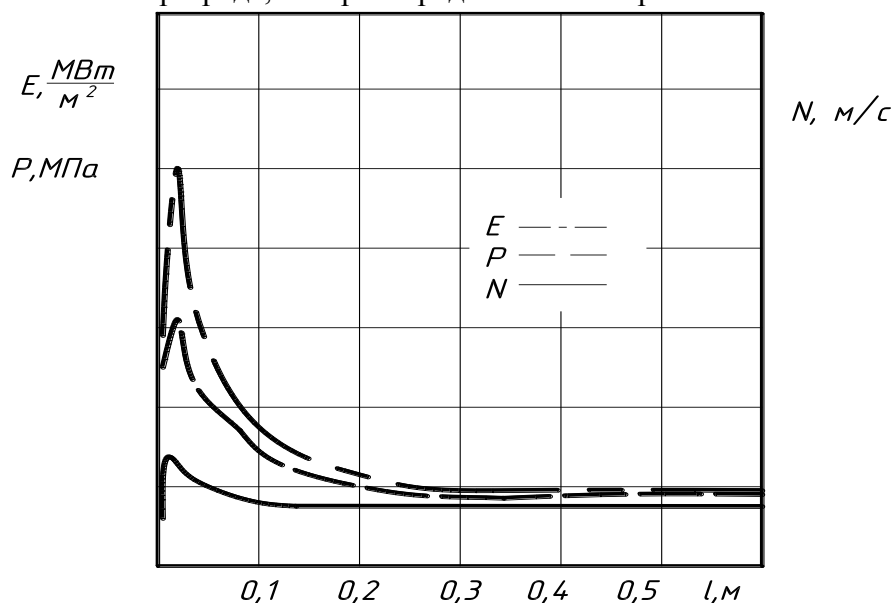


Рис. 2 - Эмпирические зависимости для скорости перемещения N , давления p и поверхностной плотности энергии E на фронте ударной волны ($U = 13,1 \text{ кВ}$, $C = 4 \text{ мкФ}$, $L = 1.45 \text{ мкГн}$ и $l_p = 0,02 \text{ м}$)

В результате расчётов для данного режима разряда получаем $R = 0,77 \dots 0,81$. В дальнейших расчётах для стальных поверхностей корпуса 1 и крышки 5 разрядной камеры можно принять среднее значение коэффициента отражения $R_1 = R_5 = 0,79$.

Предлагаемый метод расчёта основных гидродинамических параметров ударных волн, который в определенной мере подобен методу расчёта лучистого теплообмена, ранее был проверен для случаев распространения ударных волн в воде при электрогидравлическом ударе первоначально в «большом» объеме, затем в специальной камере с подвижным поршнем [2,3]. Результаты расчётов и экспериментов находятся в удовлетворительном согласии.

Список литературы

1. Ахметов Н.Д., Друлис В.Н. Нетрадиционный подход к математическому описанию процесса распространения ударных волн в сплошной среде. // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2011. № 2. – С.100-103.
2. Ахметов Н.Д., Гимадеев М.М., Друлис В.Н. и др. Воздействие ударных волн на днище поршня в цилиндрической камере при подводном высоковольтном разряде. // Изв. вузов. Авиационная техника, 2006, №3. – С. 55-59.
3. Ахметов Н.Д., Гимадеев М.М., Друлис В.Н. и др. Расчёт энергетических параметров ударной волны при высоковольтном электрическом разряде в воде для переходной области. // Изв. вузов. Авиационная техника. 2011. № 1. С. 77–80.
4. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта. / Под ред. Г.А. Гулого. М.: Машиностроение, 1977. – 320 с.

05.02.07

**М.Н. Ахметов, Н.Д. Ахметов к.т.н., М.М. Гимадеев к.т.н.,
В.А. Кривошеев к.т.н., Т.В. Рзаева**

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Набережночелнинский институт (филиал),
автомобильное отделение, кафедра механики и конструирования,
Набережные Челны, nailahmat@yandex.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОЧИСТКИ ИЗДЕЛИЙ

Рассматриваются возможные пути оптимизации разрядно-импульсных технологий, применяемых для выбивки стержней из отливок и очистки их от формовочной смеси, а также в ремонтном производстве для очистки поверхностей изделий от различных загрязнений.

Ключевые слова: электрогидравлический удар, разрядно-импульсная технология, очистка изделий, выбивка стержней из отливок.

Разрядно-импульсные технологии основаны на использовании высоковольтного электрического разряда в жидкости. По-другому данный процесс ещё называют электровзрывом или электрогидравлическим ударом. Электровзрыв является вполне надёжным инструментом для механического воздействия на изделие. Как известно, электрогидравлический эффект имеет весьма широкую область использования в технологических процессах, причём этот метод имеет и значительные возможности совершенствования. Поэтому необходимо полнее знать практические возможности электровзрыва, на которые можно рассчитывать при разработке новой разрядно-импульсной технологии.

Одним из наиболее перспективных и разработанных направлений разрядно-импульсных технологий является использование электрогидравлического удара для разрушения твёрдых веществ и очистки поверхностей изделий от различных загрязнений, например, при очистке изделий от формовочной и стержневой смеси, пригара, окалины и т.п.

Считается, что эффективность процесса очистки связана с выбором такого оптимального режима разряда, при котором обеспечивается максимальное механическое воздействие на объект обработки. Мерой такого воздействия, в основном, служат параметры ударной волны (УВ). Во многих случаях принимается предположение, якобы разрушение материала связано с достижением некоторого критического значения избыточного давления во фронте ударной волны, и что для эффективной очистки изделий достаточно подобрать соответствующее давление.

Для определения максимального давления на фронте ударной волны в зависимости от электрических параметров разрядного контура и от расстояния до оси канала электрического разряда (КЭР) наиболее удобной является методика, предложенная в работе [4]. Согласно ей область расширения КЭР условно разбита на три участка: область цилиндрической симметрии ($R_p < R \leq 2,5 l_p$); переходная область ($2,5 l_p \leq R \leq 5,5 l_p$) и область сферической симметрии ($5,5 l_p \leq R < 200 l_p$), где R – расстояние от оси канала разряда, t_p – время разряда, l_p – межэлектродное расстояние, c_0 – скорость звука в невозмущенной среде, $R_p = c_0 t_p$. Для каждой области получены эмпирические зависимости $p_m = f(R)$. На рис. 1 (кривая 1) представлен график давления, рассчитанный по этим зависимостям для экспериментально исследуемого режима разряда: напряжение разрядного контура $U = 23 \text{ кВ}$, емкость батареи

конденсаторов $C = 4 \text{ мкФ}$, индуктивность $L = 1.65 \text{ мкГн}$, длина межэлектродного промежутка $l_p = 0,02 \text{ м}$.

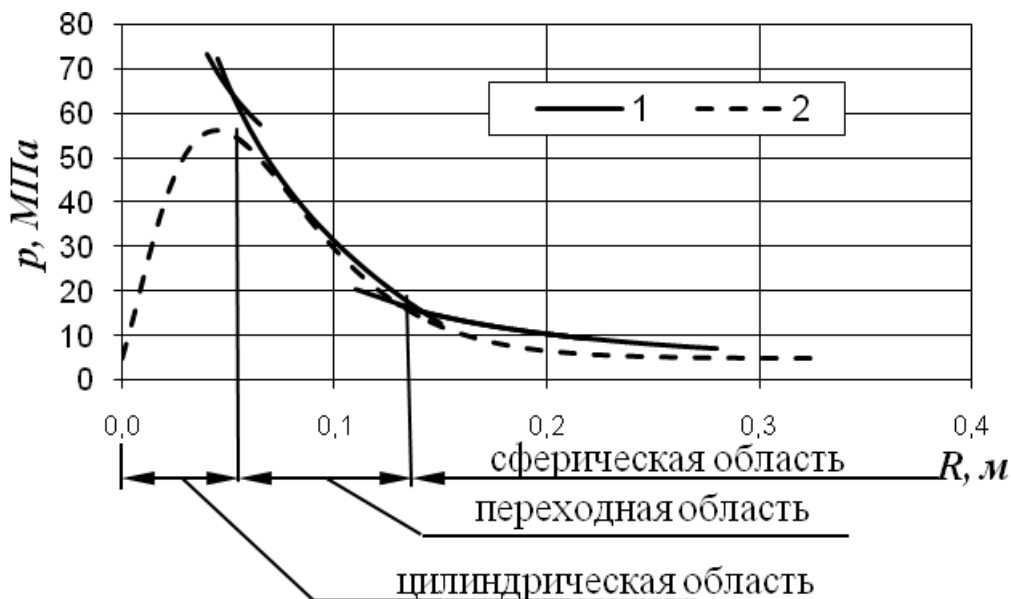


Рис. 1 - Давление на фронте ударной волны в зависимости от расстояния для различных областей расширения КЭР ($U = 23 \text{ кВ}$, $C = 4 \text{ мкФ}$, $l_p = 20 \text{ мм}$)

В виду того, что эти эмпирические зависимости, во-первых, не учитывают физическую природу, а именно ударный характер явления в части появления максимума давления в зоне «близкой» к каналу электрического разряда [2] и, во-вторых, в каждой области своя зависимость, что тоже создаёт неудобства при инженерно-технических расчетах, авторами для определения давления на фронте УВ предлагается применить зависимость в следующем виде:

$$p = p_{\text{усл.}} + (a + b R) R \exp(-R / R_p) .$$

Вводится понятие условного давления $p_{\text{усл.}}$, при котором скорость перемещения фронта УВ не превышает c_0 на величину более Δc_0 , которая выбирается из условий конкретной задачи. Для наших расчётов было принято $\Delta c_0 < 0,01$, чему согласно экспериментальным данным соответствует $p_{\text{усл.}} = 4 \text{ МПа}$. Для выбранного режима разряда значения коэффициентов составляют: $a = 1500 \text{ МПа/(м)}$, $b = 120 \cdot 10^3 \text{ МПа/(м)}^2$. Отклонение от расчётных значений по методике [4] для переходной области не более 5 % (см. рис. 1, график 2).

Полученные результаты показывают, что к концу переходной области величина давления составляет всего лишь 25 – 35 % от максимального значения, поэтому сферическая область с практической стороны представляет наименьший интерес. Таким образом, зона эффективной обработки, соответствующая области высоких давлений, приходится на конец цилиндрической и переходную области расширения КЭР. Однако при выборе оптимального расстояния до объекта обработки следует учитывать и тот факт, что установка токопроводящих материалов к каналу разряда на расстояния меньше величины межэлектродного промежутка невозможна из-за пробоя на обрабатываемое изделие, если, конечно, изделие не используется в качестве одного из электродов.

Выбор оптимальных условий в технологическом процессе электрогидравлической очистки изделий осуществляется, в основном, экспериментальным путём. На практике для эффективного воздействия волн сжатия и гидротока на объекты обработки последние стараются размещать в непосредственной близости от канала разряда. Однако при достаточно большой мощности разряда поверхностный слой обрабатываемого изделия может расплавиться и частично испариться. Поэтому, выбрав исходя из прочностных характеристик обрабатываемого изделия максимально возможное значение давления на его поверхности, следует установить необходимое безопасное расстояние R . Из условия

достижения ударной волной на поверхности изделия максимальной интенсивности определяются требуемые параметры разрядного контура и оптимальное значение межэлектродного расстояния.

Для повышения эффективности работы электрогидравлических установок, применяемых в литейном производстве для выбивки стержней из отливок и очистки их от формовочной смеси, а также в ремонтном производстве для очистки поверхностей изделий от загрязнений, следует также применять отражатели акустической энергии. Они могут быть различных форм: цилиндра, полусферы, усечённого конуса и т.д. В целях устранения имеющихся недостатков указанных отражателей авторами была предложена [3] камера-отражатель в виде параболического цилиндра с осью, совпадающей с геометрической осью канала электрического разряда, которая схематично представлена на рис. 2.

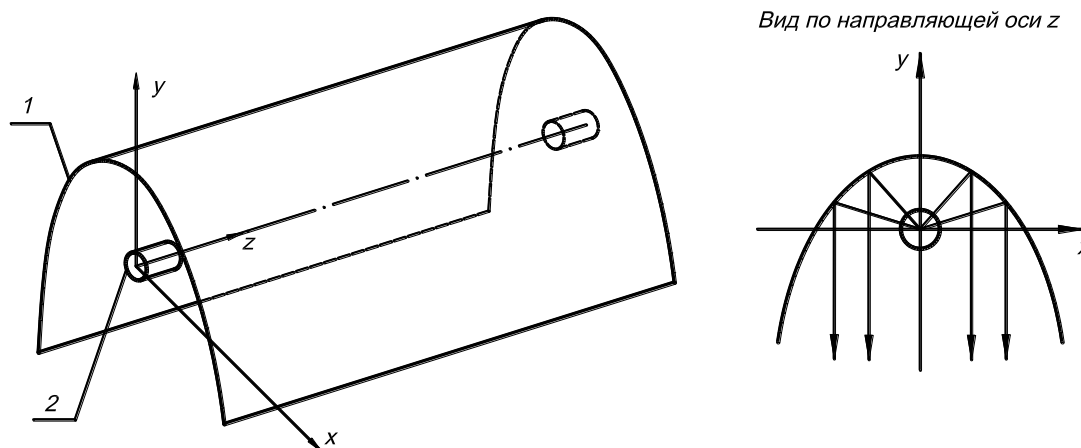


Рис. 2 - Разрядная камера-отражатель в виде параболического цилиндра:
1 - отражатель; 2 - электроды.

Наличие отражателя такой формы, во-первых, позволяет равномерно распределить давление ударной волны на поверхности изделия, и, во-вторых, при таком расположении электродов разряд всегда происходит между электродами, а не на изделие. Расстояние между электродами устанавливается исходя из оптимального значения.

Следует также отметить, что максимальный эффект от действия ударной волны на объект обработки зависит не только от значения пикового давления p_m , но и от величины и продолжительности импульса положительной фазы сжатия I_+ на фронте УВ, что, в свою очередь, связано с длиной ударной волны λ или со временем разряда t_p . Эта зависимость была подтверждена авторами экспериментально при очистке головки цилиндров двигателя «КАМАЗ» от загрязнений различных структур, соответственно впускного канала и клапана от смолистых отложений и выпускного – от нагара. Процесс очистки проводился электрогидроударом при различных параметрах разрядного контура. Если очистка выпускных каналов производилась эффективно при электрических разрядах с параметрами $U = 23 \text{ кВ}$, $C = 4 \text{ мкФ}$, $L = 1.65 \text{ мкГн}$, т.е. при времени разряда $t_p = 8 \text{ мкс}$, то для очистки впускных каналов и клапана эффективнее оказались разряды со следующими параметрами: $U = 9 \text{ кВ}$, $C = 300 \text{ мкФ}$, время разряда при этом составило около $t_p = 70 \text{ мкс}$.

Таким образом, объективными оценками эффективности процесса очистки могут служить энергетические параметры, в том числе и длина, падающей на поверхность обрабатываемого изделия прямой и отражённой от поверхности камеры разряда ударных волн, а также возникающие при этом напряжения на поверхности изделия.

Использование методики расчёта [1] энергетических параметров ударной волны позволяет расширить возможности оптимизации разрядно-импульсных технологий на основе выбора режимов эффективной работы электрогидравлической установки, при которых для

конкретной технологии обеспечивается требуемое пространственно-временное распределение воздействия на объект обработки.

Список литературы

1. Ахметов Н.Д., Гимадеев М.М., Друлис В.Н., Кривошеев В.А., Рзаева Т.В. Расчёт энергетических параметров ударной волны при высоковольтном электрическом разряде в воде для переходной области. // Изв. вузов. Авиационная техника. 2011. № 1. С. 77-80.
2. Ахметов М.Н., Ахметов Н.Д., Гимадеев М.М., Кривошеев В.А., Рзаева Т.В. К вопросу об окончании формирования ударной волны при высоковольтном электрическом разряде в воде. // Научно-технический вестник Поволжья. № 6, 2012 г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – С. 124-127.
3. Ахметов Н.Д., Гимадеев М.М., Друлис В.Н., Кривошеев В.А., Летягин В.Г. Устройство для электрогидравлической очистки изделий. // Патент на изобретение РФ № 2223831, кл. В 08 В 3/10, 26.08.2002.
4. Гулый Г.А. Научные основы разрядно-импульсных технологий. – Киев: Наук. думка, 1990. – 208 с.

05.23.05

А.С. Багдасаров к.т.н., Д.А. Урусов

Северо-Кавказская Государственная Гуманитарно-Технологическая Академия,
Институт строительства и электроэнергетики,
кафедра технология строительного производства и строительные материалы,
г. Черкесск, dzhemal@list.ru

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ СОСТАВА СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФОСФОГИПСА

Состав сырьевой смеси для производства прессованных строительных изделий из фосфогипса ОАО «Невинномысский Азот» зависит от свойств и характеристик исходных материалов. Рационализация композиционного состава сырьевой смеси заключается в снижении долевого содержания вяжущего при изготовлении изделий с высокими показателями прочности и водостойкости. Повышение водостойкости достигается комплексным воздействием на структуру изделия гидравлического вяжущего и гидрофобизаторов.

Ключевые слова: *фосфогипс, сырьевая смесь, полусухое прессование, нейтрализация, водотвердое отношение, структура, прочность.*

Качество и прочность прессованных полусухим способом фосфогипсовых строительных стеновых изделий зависит от технологических параметров производства и от композиционного состава исходной сырьевой смеси.

На подбор состава смеси влияют физико-механические свойства исходных материалов, их химический, минералогический, гранулометрический состав и другие параметры [1, 2]. Качественные мелкоштучные стеновые изделия из фосфогипса можно получить введением в смесь гидравлического вяжущего в количестве до 25 – 35 % от массы смеси. Полученные изделия будут обладать достаточно высокими показателями физико-механических характеристик, однако применение такого количества вяжущего нецелесообразно, поскольку прирост прочности и водостойкости материала не компенсирует удорожание производства в целом.

Рационализация композиционного состава сырьевой смеси для изготовления фосфогипсовых строительных изделий, получаемых способом полусухого прессования, выполнялась подбором долевого соотношения компонентов исходной сырьевой смеси, исследованием зависимости физико-механических характеристик и качества готовой продукции от вводимых добавок и гидравлического вяжущего [3, 5].

Основной задачей при определении состава сырьевой смеси являлось снижение долевого содержания вяжущего при получении образцов с достаточно высокими показателями прочности и водостойкости. Это способствовало снижению стоимости получаемых изделий и максимальному использованию отходов промышленного производства – фосфогипса-дигидрата (ФГД) [1, 4].

Для определения рационального содержания вяжущего в составе сырьевой смеси проводились исследования физико-механических характеристик образцов различных составов, как по содержанию гидравлического вяжущего, так по виду применяемого вяжущего (табл. 1).

Для подготовки формовочных смесей применялись следующие материалы: фосфогипс-дигидрат ОАО «Невинномысский Азот»; цемент I/A 42,5 Н; гранулированный доменный шлак; гипс строительный марки Г-4; известь.

Количество вводимой извести изменялось в диапазоне от 3 до 15%. Применение значительного количества извести обуславливалось необходимостью полной нейтрализации водорастворимых кислотных остатков в фосфогипсе и созданием дополнительного уровня

пересыщения смеси по отношению к ФГД. По результатам проведенных испытаний на прочность при сжатии и водостойкость было установлено необходимо-достаточное количество извести (10% от массы смеси) для полной нейтрализации примесей.

Таблица 1- Физико-механические характеристики прессованных изделий из фосфогипса в возрасте 28 суток.

№ п/п	Состав смеси, %			В/Т	Показатели качества			
	Фосфогипс	Известь	Добавка		Прочность R, МПа		Водопоглощение %	Коэффициент размягчения, K _р
					Естест. влаж.	Насыщ. водой		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фосфогипс								
1	100	—	—	0.16	3.2	0	—	—
Фосфогипс, известь								
2	95	5		0.16	8.6	3.0	19.8	0.35
3	90	10		0.16	8.9	3.2	19.4	0.36
4	85	15		0.16	9.1	3.5	19.2	0.38
Фосфогипс, известь, гипс.								
5	87	10	3	0.16	9.2	3.4	20.3	0.37
6	85	10	5	0.16	9.4	3.7	19.4	0.39
7	83	10	7	0.16	9.46	3.9	19.2	0.41
Фосфогипс, известь, шлак.								
8	87	10	3	0.16	8.8	4	20.6	0.45
9	85	10	5	0.16	9.14	4.6	20.3	0.5
10	83	10	7	0.16	8.9	4.1	20.7	0.46
Фосфогипс, известь, цемент.								
11	87	10	3	0.16	10.7	5	19.6	0.47
12	85	10	5	0.16	11.14	5.3	19.4	0.47
13	83	10	7	0.16	10.44	4.8	20.1	0.46

Испытания образцов на прочность показали, что образцы из фосфогипса (без введения гидравлического вяжущего) имеют прочность при сжатии – 3.2 МПа, однако в процессе твердения у образцов начали появляться трещины. Причиной этого является возникновение усадочных деформаций, поскольку большая часть воды, необходимой для получения пластичной смеси для полусухого прессования, испаряется. Введение в состав вяжущего (строительный гипс, цемент, доменный шлак) в количестве 5% от массы исходной сырьевой смеси снижает риск появления трещин, при этом прочность образцов повышается.

Анализируя данные проведенных экспериментов, можно заключить, что добавление в исходную смесь гипса, цемента или шлака позволяет получить изделия с достаточно высокой прочностью при сжатии в сухом и влажном состоянии 8 – 11 и 3.4 – 5.3 МПа соответственно, а также с более высокой плотностью, чем изделия без добавления вяжущего. Высокая структурная плотность полученных изделий обеспечивает их пониженное водопоглощение, что благоприятно сказывается на качестве прессованного материала.

На следующем этапе исследовалась водостойкость образцов различного состава, и определялся коэффициент размягчения материала. Образцы испытывались в возрасте 7 суток хранения при $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ и $\phi = 60 \pm 10\%$ в сухом (контрольные образцы), водонасыщенном состоянии и высушенном после однократного водонасыщения.

Исследования показали, что образцы, прессованные из смеси, не содержащей вяжущее, после погружения в воду разрушаются. При введении гидравлического вяжущего уже в количестве 3%, а также извести в количестве 5% гидравлические свойства образцов резко улучшаются, они находятся в воде без видимых признаков разрушения.

С целью увеличения коэффициента размягчения и соответственно понижения водопоглощения были изготовлены образцы с добавлением различных гидрофобизаторов

(табл. 2). Применялись следующие гидрофобизаторы: жидкое стекло, стеарат натрия, и их комбинации.

Экспериментальными работами установлено, что влияние различных гидрофобизаторов на образцы прессованных изделий из нейтрализованного фосфогипса-дигидрата в целом благоприятно сказалось на водостойкости материала. Добавление стеарата натрия или комбинации из стеарата натрия и жидкого стекла способствует увеличению коэффициента размягчения и понижению водопоглощения. При этом следует отметить, что повышение содержания стеарата натрия и в большей степени натриевого жидкого стекла вызывало появление высолов на поверхности образцов, что также отрицательно сказалось на прочности готовых изделий.

Таблица 2- Определение коэффициента размягчения при составе исходной смеси в процентах от массы смеси: фосфогипс – 90%, известь – 10%

В процентной от массы смеси: фосфориты - 90%, известняк - 10%							
№ п/п	Гидрофобизаторы в % от $m_{см}$		В/Т	Показатели качества			
	Стеарат натрия	Жидкое стекло		Прочность R, МПа		Водопоглощ ение %	Коэфф. раз- мягчения, K_p
				Естест. влаж.	Водонасыщ. образцы		
1	2	3	5	6	7	8	9
1	0,6	0	0,16	10,5	3,6	18,8	0,34
2	0,2	0,4	0,16	8,5	3,2	19,5	0,38
3	0,6	0,4	0,16	10	3,9	18,2	0,4
4	0,2	0	0,16	9,4	3,4	19,3	0,36
5	0,4	0,2	0,16	9,2	3,5	18,5	0,4

Анализом полученных данных по образцам с добавлением различных гидрофобизаторов установлено оптимальное содержание стеарата натрия и жидкого стекла в пределах 0,2 – 0,6% от массы сырьевой смеси.

По результатам исследований и полученным показателям физико-механических характеристик образцов прессованных фосфогипсовых изделий, получены рациональные композиционные составы сырьевых смесей для изготовления строительных изделий из фосфогипса ОАО «Невинномысский Азот» методом полусухого прессования.

Показатели прочности и водостойкости образцов из рационального композиционного состава в среднем на 10 – 15% лучше образцов из исходных рабочих смесей. Строительные изделия из этих смесей, например мелкоштучные блоки, могут применяться для строительства малоэтажных зданий коттеджного типа.

На данные рациональные композиционные составы сырьевой смеси 14 ноября 2012 года была подана заявка на изобретение. Заявке на изобретение присвоен номер 2012148052. На текущий момент проводится экспертиза по существу.

Список литературы

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности // Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. – 369 с.
2. Ляшкевич И.М. Эффективные строительные материалы на основе гипса и фосфогипса // Минск: В.Ш., 1989. – 160 с.
3. Михеенков М.А., Ким В., Полянский Л.И. Производство искусственного гипсового камня// Строительные материалы. 2010. №6. С. 13 – 18.
4. Недосеко И.В., Бабков В.В., Юнусова С.С. и др. Гипсовые и гипсошлаковые композиции на основе природного сырья и отходов промышленности// Строительные материалы. 2012. №8. С. 66 – 67.
5. Полак А.Ф., Бабков В.В., Андреева Е.П. Твердение минеральных вяжущих веществ // Уфа: Башкнигоиздат, 1990. – 215 с.

05.14.08

Ф.Д. Байрамов, Н.С. Галимов, В.А. Иванов

Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Набережные Челны, galimovn@bk.ru

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ РОТОРНОГО ТИПА С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ В МЕГАПОЛИСЕ

В статье представлены основные условия повышения энергоотдачи ветродвигателей роторного типа с вертикальной осью вращения, на выбранном участке или регионе с низким ветровым энергетическим потенциалом.

Ключевые слова: *ветродвигатель, ветер, коэффициент использования ветра, модуль.*

Прежде чем принять решение по установке и эксплуатации ветроэнергетических установок любого типа необходимо учесть розу ветров местности и среднегодовую скорость ветра. В нашем регионе среднегодовая скорость ветра составляет, например, по данным метеостанции аэропорта «Бегишево», от 4 до 6 метров в секунду. При таких скоростях и коэффициенте использования ветра, допустим $\xi=0,37$, учитывая кубическую зависимость мощности от скорости ветра, удельная мощность составит всего 29 Вт/м^2 и это очень мало. Поэтому при выборе вида ветродвигателя для установки на отведенном участке также необходимо особенно учесть потенциал ветровой энергии. Например, при малых и средних скоростях ветра независимо от розы ветров, роторные с вертикальной осью вращения, кроме ротора Дарье не целесообразно, ввиду того, что у них окружная скорость лопастей всегда меньше скорости набегающего потока ветра. Тогда частота вращения ротора, следовательно, и генератора электрической энергии или другого преобразователя энергии ветра окажутся в нерабочем режиме. Для этих районов больше подходят быстроходные, пропеллерные с меньшим числом лопастей, например 1, 2, 3 или ротор Дарье. [1].



Рис. 1- Модели ветродвигателей роторного типа

При относительно больших средних скоростях ветра, подходят и относительно бесшумные и безопасные роторные ветродвигатели с вертикальной осью вращения различных схем. С целью установления оптимальной конструкции ветродвигателя роторного типа нами изготовлены несколько моделей: пластинчатый с защитным экраном, с чашечным ротором, турбина, модульный с направляющими и эжекторами и т.д.[2].

Все модельные лабораторные ветродвигатели рис.1 роторного типа с вертикальной осью вращения исследованы в аэродинамической трубе. По результатам экспериментальных функциональных зависимостей и с учетом геометрических и кинематических подобий изготовлена пилотно-экспериментальная ветроэнергетическая установка (ВЭУ)

модульного типа с эжекторами и с защитным экраном, мощностью до 500 Вт. Она, двухмодульная, имеет классическую схему с вогнутыми лопастями, установленными между нижним и верхним несущими лучами ротора. Угол установки лопастей относительно радиуса ротора подобран с учетом относительной скорости ветра, когда окружная скорость лопасти по модулю равна $1/3$ абсолютной скорости ветра. Эжекторы, расположенные с нижнего и верхнего торца каждого модуля представляют собой сужающие элементы, предназначенные для уменьшения давления на торцах модулей и тем самым увеличить эффективность использования ВЭУ. [2].

Изготовление установки не требует дорогостоящего конструкционного материала и высокоточного технологического оборудования. Для изготовления лопастей ротора и защитного экрана статора можно использовать относительно дешевые композиционные материалы как полихлорвинил, поликарбонат и т.д.

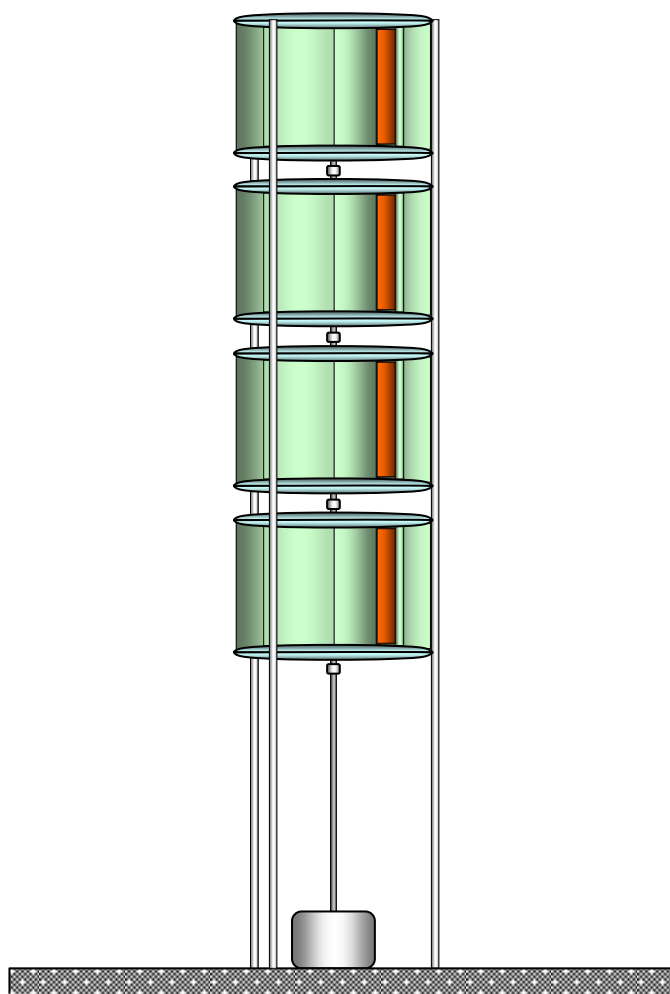


Рис. 2- Четырехмодульная
ветроэнергетическая установка

Для повышения мощности ВЭУ модульного типа, диаметральные размеры модуля можно оставлять неизменными, достаточно просто модули надо собирать в столбик, как показано на рис.2. Модульный принцип, который приводит к унификации конструкции, позволяет наращивать ее вертикально по мере необходимости и ступенчато увеличивать ее мощность. Вертикальные валы каждого модуля между собой соединяются муфтами.

Теперь представим, находимся на отдаленном труднодоступном районе, где отсутствует стабильное электроснабжение, малая плотность солнечной энергии, отсутствие рек, ограниченность невозобновляемых источников энергии (нефтепродукт, каменный уголь, дрова, различные органические отходы и т.д.).

В таких районах, как правило, направление ветра стабильнее, а стабильность направления ветра позволяет установления статически неподвижных концентраторов (усилителей скорости) воздушного потока – ветра. В качестве такого концентратора могут быть различные искусственные направляющие экраны, сужающие естественные препятствия как холмы, ущелья, русла рек и т.д. По видимому наиболее практичным и экономически выгодным решением является сооружения, где могут жить люди, то есть жилье (дом).

В настоящее время индивидуальному застройщику сняты многие ограничения в малоэтажном строительстве и предоставлены широкие возможности по сооружению собственных домов.

При выборе архитектуры дома необходимо как можно больше упростить его геометрию. Моральная устойчивость дома обеспечивается от того, насколько проектировщик, архитектор глубоко знает прошлое и обладает научным предвидением. Конструкция дома в целом должна учитывать характер почвы, на которой стоит дом, климат, атмосферные

воздействия, рельеф участка, глубину залегания грунтовых вод, глубину замерзания грунта и **кадастры ветра**.

Ветер, являясь сложным геофизическим процессом, оказывает большое влияние на климат местности, где предполагается застройка дома. При набегании на сооруженный дом потока воздуха его нижние слои затормаживаются, кинетическая энергия потока переходит в потенциальную, и статическое давление по мере приближения к дому увеличивается. Сложная форма, как правило, приводит к увеличению периметра и площади наружных стен, через которые тепло теряется внаружу. Простейшей объемной геометрической фигурой являются цилиндр или шар. Периметр окружности по сравнению с периметром квадрата при равных площадях, меньше в $\sqrt{\pi}/2$ раза, т.е. если например периметр окружности составляет 100 метров, то периметр квадрата с такой же площадью уже будет равен 112,8 метрам. Разность составляет почти 13 метров! Такие дома, со сложной внешней формой контура имеют большее количество углов, а на внутренней поверхности наружных стен в углах температура всегда бывает ниже, чем на ровном участке стен, а это в свою очередь не только приводит к увеличению потерь теплоты, но и к дополнительным затратам на строительство.

Дома со стенами цилиндрической формы обтекаются воздушными потоками, плавно увеличивая скорость до места касания касательной параллельной вектору абсолютной скорости ветра. Увеличение скорости приводит к уменьшению статического давления снаружи дома. Вследствие этого разность статических давлений внутреннего и наружного пространств возрастает, а это, увеличивая эжекцию, (конечно если имеются вентиляционные каналы), повышает комфортность дома. Кроме того, появляется возможность преобразования энергии наружного воздушного потока повышенной скорости в электрическую или тепловую энергию для отопления дома.

Предложен близкий к каплевидной формы индивидуальный дом рис. 3, с ориентацией в

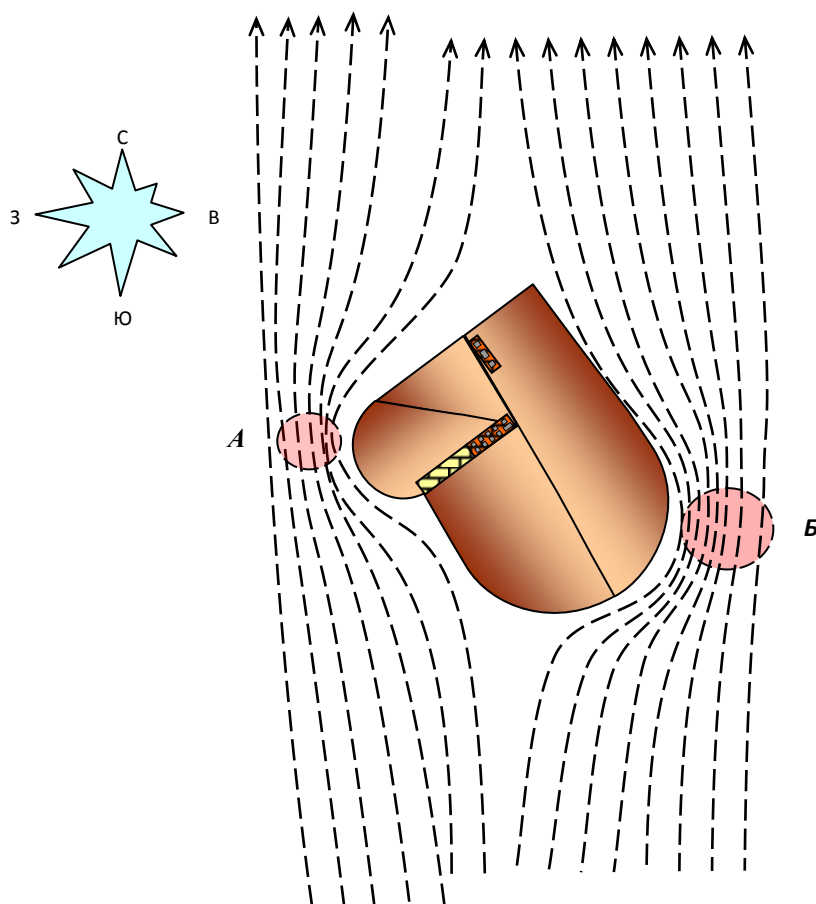


Рис. 3- Ориентация дома каплевидной формы относительно розы ветров, вид сверху

соответствии с розой ветров на данной местности.

Из схемы обтекания четко видны две зоны, *A* и *B*, в которых наблюдаются повышение модуля скорости. В этих зонах, показания анемометров (что показывающего термоанемометра типа ТТМ-2-01, что интегрирующего чашечного) свидетельствуют, что скорость воздушного потока возрастает примерно в 2 раза, а это означает, что мощность получаемая ветродвигателем роторного типа может повышаться в 8 раз.[3]. Применение в указанных зонах ветроэнергопреобразователей, особенно с вертикальной осью вращения позволит получить наибольшую энергию, которую можно будет применить в виде тепла непосредственно для обогрева дома, сжатого воздуха с последующим преобразованием в электрическую, или напрямую в электрическую. Устанавливаемые роторные ветродвигатели с вертикальной осью вращения рядом с домом не будут ухудшать комфортность, внутри дома. Эти ветродвигатели имеют ряд весомых преимуществ по сравнению с существующими ветродвигателями пропеллерного типа. Они обладают достаточно высоким значением коэффициента использования энергии ветра до **0,30**; отсутствием системы ориентации на ветер, упрощенным механизмом передачи механической энергии, малым гироскопическим моментом, и бесшумностью. Из вышеописанного следует, что окупаемость в конечном счете, ветроэнергопреобразователей, по мнению авторов, будет зависеть: 1) от ветрового энергетического потенциала на выбранном участке, 2) типа ветродвигателя, 3) коэффициента использования энергии ветра ветродвигателя, 4) соблюдения модульного принципа ветродвигателей с вертикальной осью вращения и 5) правильного выбора ориентации концентратора воздушного потока на выбранной местности.

Список литературы

1. Андрианов Р.С., Быстрицкий Д.Н. и др. Ветроэлектрические станции. – М-Л.:1960.- 320с.
2. Н.С. Галимов. Автоматизированные системы производства сжатого воздуха и электроэнергии с применением ветроэнергоустановок:- Санк-Петербург.: Изд. Инфо-да, 2004.- 215 с.
3. Галимов Н.С., Хакимов Р.Г. Сюрприз природы // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем: тезисы докл. Всероссийской конференции с международным участием. Москва, Российский университет дружбы народов. 2012.- С172-173.

05.17.08

В.Ф. Беккер

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Березниковский филиал, Березники, bekker@bf.pstu.ac.ru

ВЛИЯНИЕ КРИВИЗНЫ ПОВЕРХНОСТИ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКИ НА УГОЛ СМАЧИВАНИЯ ОРОШАЮЩЕЙ ЖИДКОСТЬЮ

Описано влияние кривизны контактирующих тел на угол смачивания для построения математических моделей процессов, связанных с орошением слоя подвижной насадки в виде трехфазного псевдооживленного слоя. Показано влияние размеров, формы поверхности жидкостной манжеты, сцепляющей элементы насадки, на силу их сцепления.

Ключевые слова: *трехфазное псевдооживление, шаровая подвижная насадка, газожидкостная структура, смачивание.*

Основным влияющим фактором в процессе псевдооживления является плотность орошения, которая определяет количество жидкости, находящейся в рабочем объеме аппарата с подвижной насадкой. Поэтому весьма актуальным является исследование влияния кривизны контактирующих тел на угол смачивания для построения математических моделей процессов, связанных с орошением слоя подвижной насадки, например, в виде трехфазного псевдооживленного слоя элементов подвижной насадки и определения силы их сцепления [1, 2].

Одной из важнейших характеристик смачивания твердой поверхности при контакте жидкости и твердого тела является равновесный краевой угол смачивания Θ_0 [5]. На величину угла определенное влияние оказывает кривизна жидкостной манжеты при контакте двух шаров со значительным (по отношению к объекту твердых элементов насадки) количеством воды в точке контакта (см. рис. 1а). При этом равновесный краевой угол изменяется. Определение величины смачивания наиболее точно отражается в уравнении, основанном на минимуме свободной энергии системы «твердое тело-жидкость-газ» в состоянии равновесия по выражению:

$$F_n = \sigma_{тг} \cdot \omega_{тг} + \sigma_{тж} \cdot \omega_{тж} + \sigma_{жг} \cdot \omega_{жг}, \quad (1)$$

где $\sigma_{тг}$, $\sigma_{тж}$, $\sigma_{жг}$ – поверхностные натяжения на границах соответствующих фаз; Дж/м²; $\omega_{тг}$, $\omega_{тж}$, $\omega_{жг}$ – площади поверхности раздела фаз, участвующих в смачивании, м². В случае рассмотрения капли смачивающей жидкости на гладкой однородной и твердой поверхности, выражение (1) записывается в виде

$$\frac{\sigma_{тг} - \sigma_{тж}}{\sigma_{жг}} = \cos \Theta_0, \quad (2)$$

где Θ_0 – равновесный краевой угол смачивания, для определенного вида материала и жидкости есть величина постоянная.

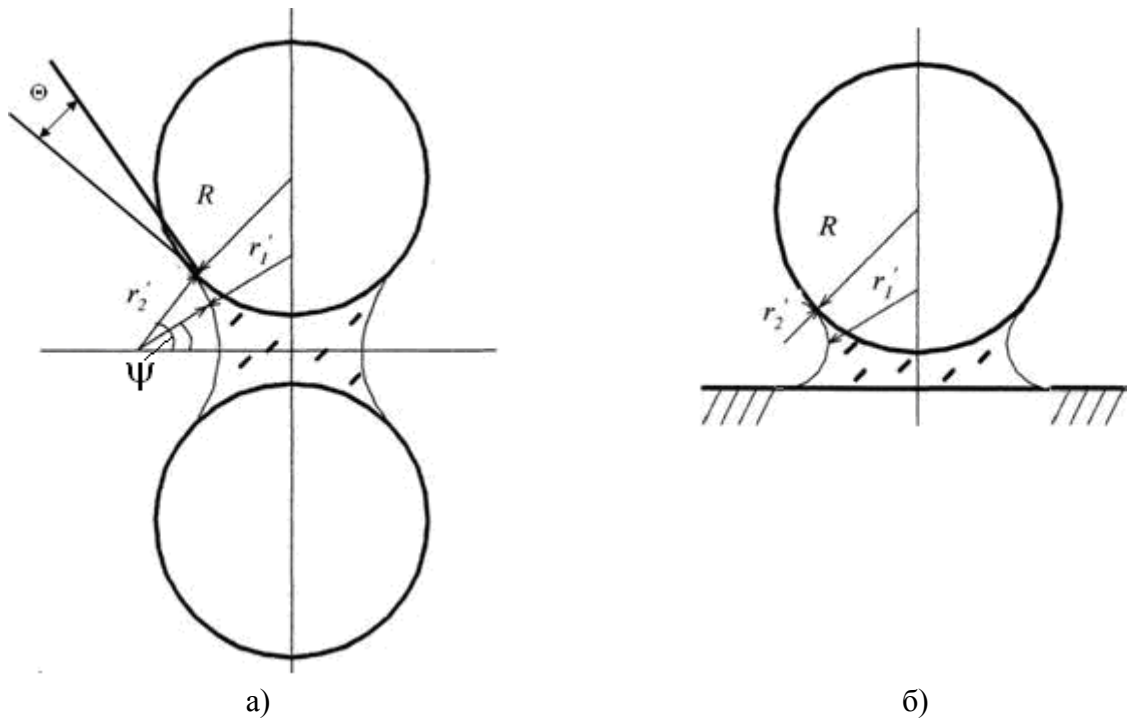


Рис. 1. Взаимодействие шаров одинаковых размеров а), шара с плоскостью б)

При получении математической модели связывающей геометрические параметры твердых тел различной кривизны с величиной угла смачивания Θ использовано выражение (1). Рассмотрим эту систему геометрически, представив каплю жидкости в виде твердого тела, т.е. выражение (1) приведено к виду

$$\frac{(\sigma_{\text{тг}} - \sigma_{\text{тж}})}{\sigma_{\text{жг}}} = \frac{d\omega_{\text{жг}}}{d\omega_{\text{тж}}}. \quad (3)$$

В случае контакта сферических элементов между собой, или сферической насадки и плоскости с прослойкой жидкости в точке контакта, равновесный краевой угол, изменяет свою величину в зависимости от геометрии смачиваемых и контактирующих поверхностей, и правая часть выражения (2) становится функцией некоторого угла Θ , не равного Θ_0 . Допуская, что кольцевая жидкостная манжета в своем сечении имеет форму, близкую к окружности, изображенную на рис. 1а, можно записать уравнение $[r_1 + r_2' - x]^2 + y^2 = (r_2')^2$. Откуда

$$x = r_1 + r_2' - \sqrt{(r_2')^2 - y^2} \quad (4)$$

Наружная поверхность смачивающей жидкости найдена по формуле

$$\omega_{\text{жг}}^{(1)} = 4 \cdot \pi \cdot \int_0^{\Delta H} x(y) \sqrt{1 + (x')^2} dy, \quad (5)$$

где $\Delta H = r_2' \sin \psi$.

Подставив (4) в (5), после преобразований получим

$$\omega_{\text{жг}}^{(1)} = 4 \cdot \pi \cdot r_2' [(r_1 + r_2') - r_2' \sin \psi]. \quad (6)$$

Здесь $\omega_{\text{жг}}^{(1)}$ – поверхность «жидкость – газ» для двух сфер одинакового диаметра. Из (6)

$$\text{при } \psi = \text{const}, r_1 = f(r_2') \quad d\omega_{\text{жг}}^{(1)} = 8 \cdot \pi \cdot \left[\frac{r_1}{2} \psi + r_2' (1 - \sin \psi) \right] dr_2'$$

С другой стороны, уравнение поверхностей, контактирующих с жидкостью, записывается в виде $\omega_{\text{жг}}^{(1)} = 4 \cdot \pi \cdot R_1 r_2' \cdot \sin \psi$. Откуда $d\omega_{\text{жг}}^{(1)} = 4 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot dr_2' \cdot \sin \psi$. Используя (2), запишем для нашего случая

$$\frac{\sigma_{\text{тг}} - \sigma_{\text{тж}}}{\sigma_{\text{жг}}} = \frac{2 \cdot \left[\frac{r_1}{2} \cdot \psi + r_2' \cdot (1 - \sin \psi) \right]}{R_1 \cdot \sin \psi} = f(\Theta_0). \quad (7)$$

Выражение (7) связывает значение функции краевого угла смачивания Θ с поверхностным натяжением на границах раздела фаз с учетом формы контактирующих шаров и объема жидкостной прослойки.

С другой стороны, значение угла Θ характеризует способность двух шаров создавать устойчивый макроагрегат за счет сил капиллярного разрежения

$$F = 4\pi\sigma_{\text{жг}} \cdot \left[r_1 \cdot a + R \cdot \left(1 - \sqrt{1 - a^2} \right) \cdot b - R \frac{b}{a} \arcsin a + \frac{\sqrt{1 - a^2}}{2} \cdot R \left(\cos \Theta \cdot \sqrt{1 - a^2} - \sin \Theta \cdot a \right) \right]$$

где $a = \sin \psi$; $b = 1 - \sin \Theta \cdot \sqrt{1 - a^2} - \arccos \Theta$.

Сопоставив выражения (3) и (7) и проанализировав последнее выражение, отметим, что в области контакта изменяется соотношение между $\sigma_{\text{тг}}$, $\sigma_{\text{тж}}$, $\sigma_{\text{жг}}$, т.е. изменение формы твердых поверхностей и объема жидкостной прослойки, эквивалентно лиофильности жидкости, контактирующей с твердой поверхностью, характеризующейся равновесным краевым углом смачивания Θ .

Исходя из изложенного, подставив выражение для силы сцепления между насадкой сферической формы и плоскостью (рис. 1б), получим

$$F_{\text{сц}} = 4\pi\sigma \left\{ r_1 (\sin \psi' + \cos \Theta) + r_2' \left[\sin \psi' (1 - \cos \psi') - \psi' + \cos \Theta (1 - \sin \Theta) - \frac{\pi}{2} + \Theta \right] \right\},$$

$$\sin \psi' = \frac{2 \left(1 + \frac{b}{2R} + \sin \Theta \right) \left(\cos \Theta - \frac{r_1}{R} \right)}{\left(1 + \frac{b}{2R} + \sin \Theta \right)^2 + \left(\cos \Theta - \frac{r_1}{R} \right)^2}; \quad r_2' = \frac{R [1 - \sin(\Theta + \psi')] + \frac{b}{2}}{\sin \psi'}$$

Из формулы (7), можно получить степень влияния формы элементов насадки количества жидкости в точке контакта на значение угла смачивания Θ для различных по лиофильным свойствам жидкостей. Отметим, что изложенные теоретические исследования не противоречат с физическими представлениями о капиллярном взаимодействии различных по характеру кривизны поверхностей, рассмотренных, например, в [5]. Зависимость $\Theta = f(r_1/R_1)$, полученная в работе [6], приведена на рис. 2.

Анализ рис. 2 показывает, что при равновесном угле $\Theta_0 < 25^\circ \dots 20^\circ$ геометрия поверхности элемента насадки, характеризуемая величиной r_1/R_1 , не оказывает существенного влияния на угол смачивания Θ . Если равновесный угол Θ_0 находится в пределах $20^\circ < \Theta_0 < 75^\circ$, то угол Θ , а равно и способность к сцеплению в большей степени зависит от количества жидкости в точке контакта. При этом, например, для угла $\Theta_0 > 60^\circ$ жидкости должно быть не более, чем $(r_1/R_1) = 0,36$. В противном случае даже незначительное увеличение количества жидкости до $(r_1/R_1) = 0,5$ приводит к возрастанию угла смачивания Θ с 15° до 60° и ухудшает условия псевдооживления слоя насадки. При $\Theta_0 > 75^\circ$ псевдооживление практически невозможно даже при $(r_1/R_1) = 0,1$. Таким образом, псевдооживлению способствуют жидкости, имеющие угол смачивания поверхности насадки $\Theta_0 < 25^\circ$, при этом слой насадки можно орошать практически до создания сплошной жидкой фазы в аппарате [3, 4].

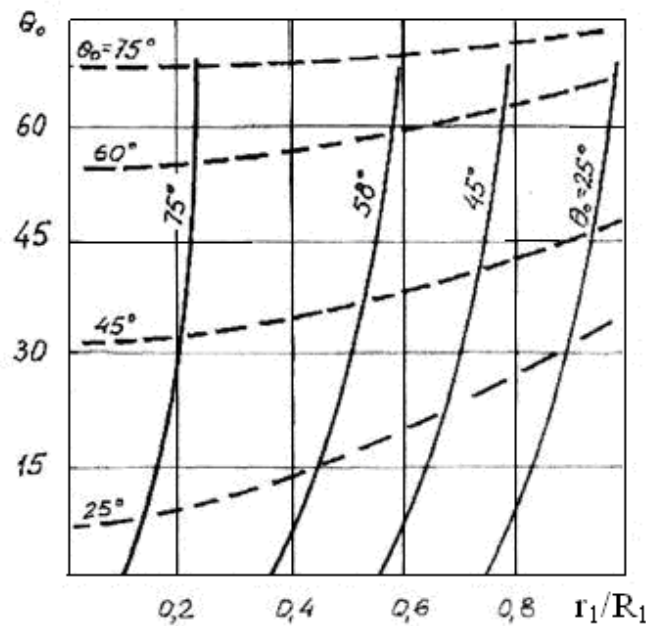


Рис. 2. Зависимость краевого угла смачивания Θ в функции кривизны поверхностей контактирующих тел и равновесного угла Θ_0 .

——— – сферы одинакового размера; - - - – сферы и плоскости

Рассмотрен вопрос определения угла смачивания Θ для случая контакта сферической насадки и плоскости (см. рис. 1б). В соответствии с изложенной выше методикой запишем:

$$\omega_{\text{жг}}^{(2)} = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^{\Delta P} (r_1 + r_2' - \sqrt{b}) \sqrt{1 + \frac{(y - r_2' \cos \Theta)^2}{b}} dy,$$

где $b = -(r_2')^2 \sin^2 \Theta + 2r_2' y \cos \Theta - y^2$ и $\Delta P = r_2'(\sin \psi + \cos \Theta)$.

После преобразований получим

$$d\omega_{\text{жг}}^{(2)} = 4 \cdot \pi \cdot \left[\left(\frac{r_1}{2} + r_2' \right) \psi - r_2'(\sin \psi - \cos \Theta) \right] dr_2'. \quad (8)$$

Производная от $\omega_{\text{жг}}^{(2)}$ по r_2' имеет вид

$$d\omega_{\text{жг}}^{(2)} = 2 \cdot \pi \cdot \left\{ R \left[\sin \psi + \cos \Theta + \cos(\Theta + \psi)(1 - \sin \Theta) + \frac{r_2'(1 - \sin \Theta)^3}{R} \right] \right\} dr_2'. \quad (9)$$

Подстановкой (8) и (9) в (2), получено

$$\frac{\sigma_{\text{тг}} - \sigma_{\text{тж}}}{\sigma_{\text{жг}}} = \frac{2 \cdot \left[\frac{r_1}{2} \psi + r_2'(\psi - \sin \psi - \cos \Theta) \right]}{R \left[\sin \psi + \cos \Theta + \cos(\Theta + \psi)(1 - \sin \Theta)^2 + r_2'(1 - \sin \Theta)^2 \right]}. \quad (10)$$

Зная величины $\sigma_{\text{тг}}$, $\sigma_{\text{тж}}$, $\sigma_{\text{жг}}$ учетом количества жидкости в области взаимодействия, из (10) определяется краевой угол Θ для элементов насадки, имеющих сферическую форму. Используя приведенную методику, легко можно найти угол и для двух сфер разных размеров.

Таким образом, математически описана связь равновесного краевого угла смачивания с геометрией контактирующих сферических элементов и наличием жидкостной прослойки между ними. Показано соответствие ее физическим представлениям о капиллярном взаимодействии различных по характеру кривизны поверхностей. При величине

равновесного угла $\Theta_0 < 20^\circ$ изменение размеров насадки слабо влияет на изменение угла смачивания Θ .

Список литературы

1. Беккер В.Ф. Стратегия многоуровневого физического моделирования промышленной абсорбционной колонны с подвижной насадкой. Научно-технический вестник Поволжья – №1, 2012. – С. 85-90.
2. Беккер В.Ф. Управление структурой потоков в аппаратах химической технологии. Пермь: ПГТУ, – 2010. – 208 с.
3. Беккер В.Ф., Киссельман И.Ф. Оптимизация конструктивных параметров колонны с вращающейся подвижной насадкой. Научно-технический вестник Поволжья, №2, 2011. – С. 41-48.
4. Заминан А.А., Рамм В.М. Абсорберы с псевдоожиженной насадкой. – М.: Химия, 1980. – 184 с.
5. Современная теория капиллярности. Под ред. А.И. Русанова, Ф.И. Гидрича. – Л.: Химия, 1980, – 245 с.
6. Шеховцов А.В. Решение многокритериальной оптимизации с использованием адаптивных алгоритмов / А.В. Шеховцов, В.В. Крючковский, А.Н. Мельник // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. Херсон: Изд. Херсон. нац. техн. ун-та – 2007. – №2(20). – С. 163-168.

05.09.12

Н.Н. Беспалов к.т.н., М.В. Ильин к.т.н., И.А. Леонтьев

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва, кафедра электроники и нанoeлектроники,
г. Саранск, ka-mgu@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА НАПРЯЖЕНИЯ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА С ИЗОЛИРОВАННЫМ ЗАТВОРОМ

В статье приведены результаты исследования по определению температурного коэффициента напряжения биполярного транзистора с изолированным затвором при различных значениях коллекторного тока в состоянии высокой проводимости.

Ключевые слова: биполярный транзистор с изолированным затвором, БТИЗ, IGBT, измерение, определение, температурный коэффициент напряжения, статические параметры.

Надежность преобразователей на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором (БТИЗ или IGBT) при эксплуатации в основном определяется их качеством и режимами эксплуатации. Особенное значение имеет тепловой режим эксплуатации. Тепловой режим IGBT в основном определяется электрическими потерями в открытом состоянии и способности конструкции прибора отводить тепловую энергию от полупроводниковой структуры. В свою очередь электрическая мощность потерь определяется величинами параметров вольт-амперных характеристик (ВАХ), а способность отводить тепловую энергию характеризуется тепловыми параметрами. Некоторые величины этих параметров и характеристик разработчиками приборов приводятся в паспортных данных. Однако, величины электрических и тепловых характеристик и параметров серийных приборов имеют значительный разброс, вызванный естественной нестабильностью технологии процесса производства [1].

Повысить надёжность преобразователей на основе IGBT возможно, если на стадии входного контроля определять тепловые параметры каждого транзистора, в частности, установившееся тепловое сопротивление переход-корпус в состоянии теплового равновесия R_{thjc} с дальнейшим подбором приборов с близкими по значениям величин этого параметра [4].

Тепловое сопротивление R_{thjc} определяется следующим образом:

$$R_{thjc} = \frac{T_j - T_C}{P_{totAV}}, \quad (1)$$

где T_j – температура кристалла транзистора, T_C – температура корпуса, P_{totAV} – мощность электрических потерь в кристалле транзистора в состоянии высокой проводимости. Таким образом, для определения R_{thjc} согласно (1) требуется измерение и определение трёх основных информативных параметров.

Точное определение T_j является сложной технической задачей. Это связано с тем, что полупроводниковая структура находится внутри корпуса транзистора, и непосредственно измерить этот параметр не представляется возможным. Определение T_j полностью изготовленного прибора осуществляется всегда косвенными методами. Наиболее простым является способ определения величины T_j по одному из параметров статической ВАХ, имеющего линейную зависимость от температуры. Таковым термочувствительным параметром является напряжение на переходе коллектор-эмиттер транзистора в состоянии высокой проводимости U_{CE} при протекании постоянного тестового тока [2, 3].

Величина T_j определяется как сумма величины температуры в начальном не нагретом

состоянии T_{j0} и величины перегрева ΔT_j :

$$T_j = T_{j0} + \Delta T_j. \quad (2)$$

Учитывая то, что напряжение U_{CE} имеет линейную зависимость от температуры, величина температуры перегрева ΔT_j определится как:

$$\Delta T_j = \frac{\Delta U_{CE}}{TKH}, \quad (3)$$

где $\Delta U_{CE} = U_{CE} - U_{CE0}$ – разность значений напряжений на переходе коллектор-эмиттер в состоянии высокой проводимости в нагретом состоянии U_{CE} и U_{CE0} , которое определяется при начальной температуре T_{j0} и TKH – температурный коэффициент напряжения.

Подставляя (3) в (2) получим выражение для определения температуры кристалла T_j в нагретом состоянии в виде:

$$T_j = T_{j0} + \frac{\Delta U_{CE}}{TKH}. \quad (4)$$

Таким образом, для объективного определения величины T_j важным является точное определение TKH конкретного транзистора [5].

Были проведены исследования температурных зависимостей напряжения на переходе коллектор-эмиттер IGBT BUP213. Нагрев транзистора осуществлялся в термостате. При этом в установившемся тепловом режиме температура кристалла T_j определялась как температура корпуса прибора T_C . Изменение температуры транзистора осуществлялось ступенчато с шагом 10°C . При этом на каждом этапе испытания прибор выдерживался при устанавливаемой температуре необходимое время для достижения теплового равновесия в приборе.

Диапазон изменения температуры T_j составил от плюс 30°C до плюс 100°C . Температура в термостате поддерживалась с погрешностью $\pm 0,5^\circ\text{C}$ от устанавливаемого значения. Импульсное тестовое напряжение U_{CE} изменялось в пределах от 0 В до 6 В с шагом 4 мВ, длительностью 2 мкс и паузой в 1 с формировался от источника напряжения. Напряжение на затворе испытуемого транзистора составляло 10 В.

В результате эксперимента были получены температурные зависимости напряжения U_{CE} испытуемого транзистора. Управление всеми процессами нагрева и измерения осуществлялось с помощью компьютерных технологий компании National Instruments.

На рис. 1 представлены типичные зависимости прямого напряжения U_{CE} от температуры T_j , снятые при различных значениях тока коллектора I_C .

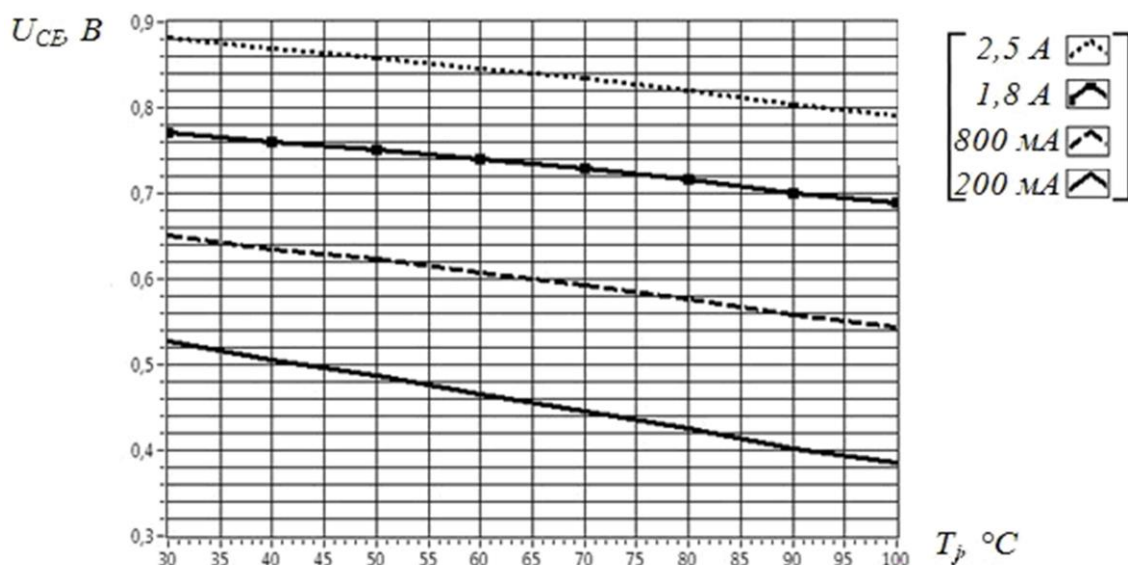


Рис. 1 – Зависимости прямого напряжения U_{CE} от температуры T_j , снятые при различных значениях коллекторного тока I_C

Из рис. 1 видно, что при всех значениях тока I_C наблюдается линейное снижение напряжения U_{CE} от температуры T_j , причём с увеличением величины тока I_C наклон этих зависимостей уменьшается.

По результатам испытаний были определены ТКН при различных значениях тестового тока, которые определялись следующим образом:

$$TKH(I_C) = \frac{U_{CE}(T_{ji}, I_C) - U_{CE}(T_{j0}, I_C)}{T_{ji} - T_{j0}}, \quad (4)$$

где T_{j0} – начальная температура кристалла; T_{ji} – температура i -ой точки измерения напряжения U_{CE} .

На рис. 2 представлены рассчитанные зависимости ТКН испытуемого транзистора от величины постоянного коллекторного тока I_C .

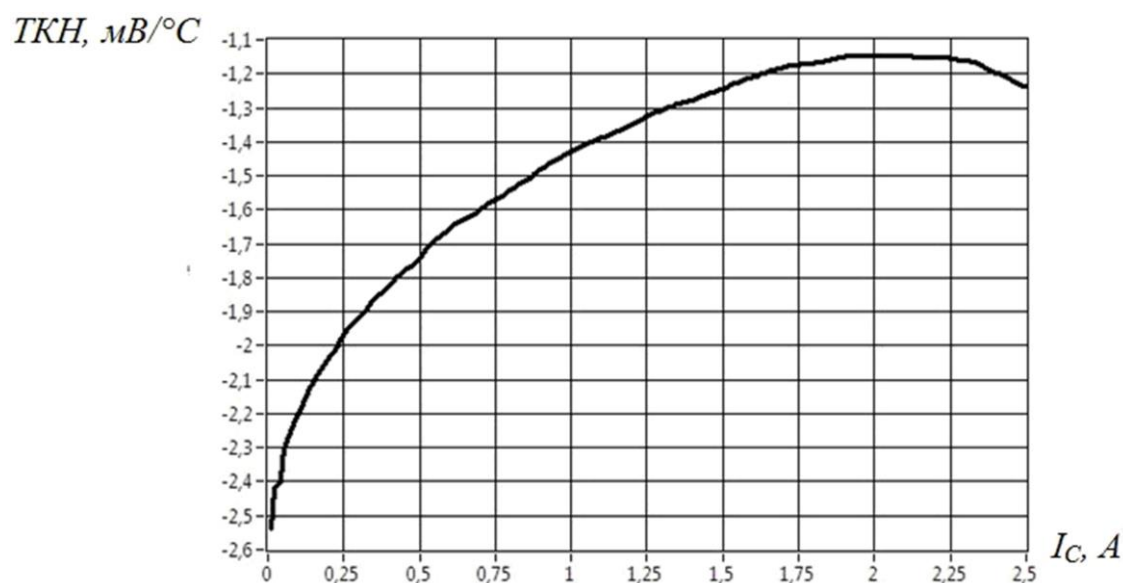


Рис. 2 – Зависимость ТКН от тока коллектора I_C

График на рис. 2 показывает, что ТКН IGBT-транзистора имеет нелинейную зависимость от величины тока коллектора I_C . Для испытуемого транзистора ТКН изменялся в диапазоне от минус 1,15 мВ/°C до минус 2,53 мВ/°C при изменении величины тестового тока от 10 мА до 2500 мА.

Таким образом, величина ТКН напряжения биполярных транзисторов с изолированным затвором изменяется в широких пределах и зависит от величины постоянного тока коллектора I_C . Определение величины T_j и R_{thjc} по методикам, в которых применяются усредненные по типу приборов значения ТКН, осуществляется с большой погрешностью. Для того, чтобы существенно снизить эту погрешность при определении T_j и, соответственно, величины R_{thjc} необходимо определять ТКН каждого испытуемого транзистора при заданной величине тока коллектора I_C .

Список литературы

1. Беспалов Н.Н. Испытательная аппаратура для определения электрических и тепловых параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов / Н.Н. Беспалов, М.В. Ильин, С.С. Капитонов // Электроника и информационные технологии. 2012. – Вып. 1 (12). – <http://fetmag.mrsu.ru/2012-1/pdf/Bespalov%20Ilin%20Kapitonov.pdf> – 04201200067/0004.
2. Беспалов Н.Н. Разработка аппаратно-программного комплекса для измерения вольт-амперных характеристик маломощных IGBT-транзисторов / Н.Н. Беспалов, М.В. Ильин, И.А. Леонтьев // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: сб. науч. тр. XI Междунар. науч.-техн. конф. в рамках II Всероссийского светотехнического форума с междунар. участием. – Саранск, 2013. – С. 323-326.
3. Беспалов Н.Н. Определение энергии потерь в СПП в открытом состоянии с применением программы LabView / Н.Н. Беспалов, М.В. Ильин, С.А. Зинин // XXXV Огаревские чтения : материалы науч. конф. В 2 ч. Ч.2. – Саранск, – 2007. – С. 258-259.
4. Беспалов Н.Н. Методика подбора силовых полупроводниковых приборов для групповых последовательных цепей устройств силовой электроники / Н.Н. Беспалов, М.В. Ильин, С.С. Капитонов, А.В. Капитонова // Научно-технический вестник Поволжья: – Казань, 2014, – № 1. – С. 65–69.
5. ПАТЕНТ 2300115 РФ, МПК7 G 01 R 31/26. Способ определения теплового сопротивления переход-корпус силовых полупроводниковых приборов в корпусном исполнении / Н.Н. Беспалов (RU), М.В. Ильин (RU). – № 200610336; заявлено 02.02.2006; опубл. 27.05.2007, Бюл. № 15. – 642 с.

05.09.03

Н.Н. Беспалов к.т.н., А.А. Попов

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва, кафедра электроники и наноэлектроники,
г. Саранск, ka-mgu@mail.ru

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

В статье рассматривается устройство для термостатирования полупроводниковых приборов, применяемое при определении их электрических и тепловых характеристик и параметров. Для регулирования и стабилизации температуры полупроводниковых приборов в устройстве применяются элементы Пельтье.

Ключевые слова: *термоэлектрический модуль, элемент Пельтье, термостатирование, электрические и тепловые характеристики и параметры, термочувствительные параметры, полупроводниковые приборы.*

Наиболее эффективным способом определения зависимостей электрических и тепловых характеристик и их параметров полупроводниковых приборов от температуры их кристалла является применение при испытаниях специальных управляемых камер с управляемым термостатированием. Однако применение таких камер обуславливает высокие энергетические затраты и требует относительно длительного времени процесса испытания, что существенно снижает эффективность применения таких специализированных камер при испытаниях единичных образцов полупроводниковых приборов, которые обычно осуществляются на исследовательском этапе. Решением данной проблемы является применение компактной системы термостатирования, обеспечивающей высокие точность и скорость стабилизации температуры испытуемого полупроводникового прибора.

Из существующих подходов перспективным является применение термоэлектрических модулей (ТЭМ) на основе элементов Пельтье. Применение ТЭМ отличается возможностью плавного и точного регулирования температурного режима испытуемого полупроводникового прибора, малой инерционностью, быстрым переходом из режима нагрева в режим охлаждения. В виду малых габаритов и массы ТЭМ создание компактных систем термостатирования на них не вызывает особых затруднений, что дает возможность применять подобные системы в различных отраслях [6].

На рис. 1 представлена функциональная схема разработанного устройства, где 1 – термоэлектрический модуль (элемент Пельтье); 2 – радиатор; 3 – согласующая теплопроводная пластина с термодатчиком; 4 – теплопровод, 5 – испытуемый полупроводниковый прибор, 6 – теплоизоляционный кожух.

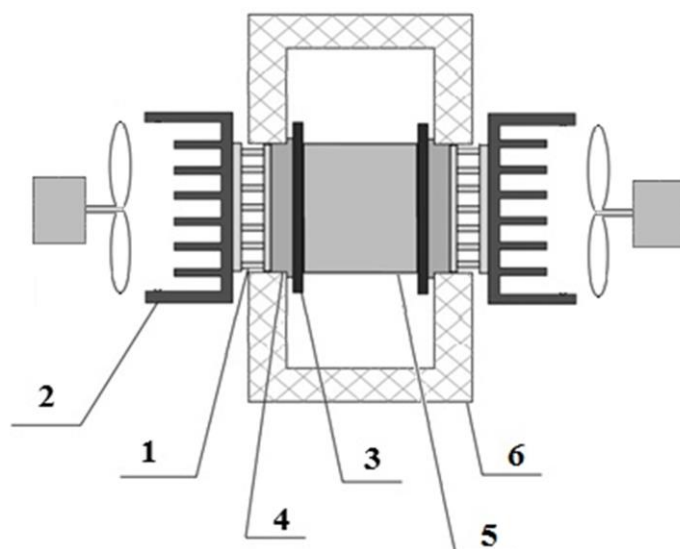


Рис. 1 – Функциональная схема термостатирующего устройства на основе ТЭМ Пельтье

Данное устройство предназначено для осуществления двухстороннего термостатирования испытуемого полупроводникового прибора, что существенно повышает эффективность испытаний. Использование независимого электропитания ТЭМ и вентиляторов дает возможность использовать реверсивное включение ТЭМ для использования их как в режиме нагрева испытуемого полупроводникового прибора, так его высокоэффективного охлаждения. Использование согласующих теплопроводных пластин с встроенными датчиками температуры позволяет с одной стороны снизить температурные потери при передаче или отвода тепла от испытуемого прибора, а с другой стороны точно измерять и регулировать температуру корпуса испытуемого прибора. Применение вентиляторов для обдува радиаторов делает процесс охлаждения объекта более эффективным [5]. Установленная теплоизоляция между камерой и окружающей средой, препятствует переносу тепла между объектом и окружающей средой.

Управление устройством осуществляется с использованием компьютерных технологий компании National Instruments. Для управления был применен персональный компьютер (ПК), блок NI cDAQ и подключенные к нему модули цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразования (ЦАП и АЦП). Функциональная схема устройства управления представлена на рис. 2.

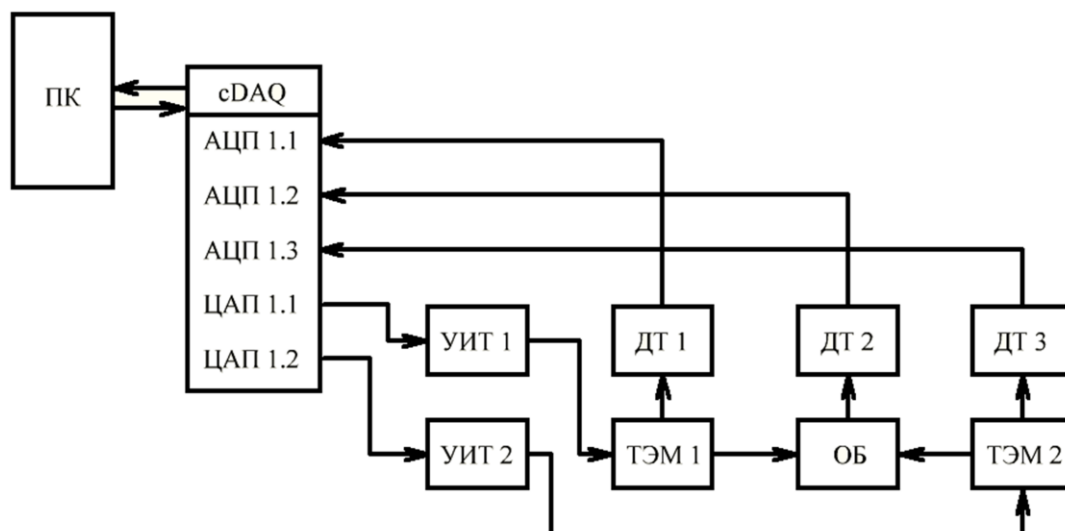


Рис. 2 – Функциональная схема устройства

Работа устройства осуществляется под управлением программы, написанной в среде программирования LabVIEW.

Устройство работает следующим образом:

- 1) в программе на ПК задается величина необходимой температуры корпуса испытуемого прибора;
- 2) программа получает данные о температуре корпуса испытуемого прибора и ТЭМ от cDAQ, обрабатывает эти данные и рассчитывает компенсирующее воздействие, а также отображает действующую температуру на графике, представляемом на экране дисплея ПК;
- 3) информация о компенсирующем воздействии поступает в cDAQ, который преобразует их в управляющий сигнал для управляемого источника тока (УИТ);
- 4) УИТ питает ТЭМ Пельтье, который нагревает или охлаждает испытываемый прибор;
- 5) датчики температуры ДТ1 и ДТ3 применяются для определения температуры с согласующих теплопроводных пластины, а ДТ2 предназначен для определения температуры корпуса испытываемого прибора.

Точность регулирования обеспечивается применением пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора [7], реализованного программными средствами, с возможностью автоматической и ручной настройки. Это увеличивает функциональность применения устройства и его энергетическую эффективность. В качестве датчиков температуры применены полупроводниковые датчики с зависимостью сопротивления от температуры в диапазоне от минус 40 °С до плюс 125 °С близкую к линейной. Выбор места установки датчиков зависит от требований к инерционности системы и выполняемой задачи. ТЭМ включенные в режиме охлаждения способны охладить объект до отрицательных температур [4], что позволяет проводить исследования электрических и тепловых характеристик и их параметров полупроводниковых приборов. Для расширения диапазона значений температур необходимых для проведения измерений возможно применение многокаскадных ТЭМ [6]. Многокаскадные ТЭМ позволяют достигать максимальной разности температур более 150К [3], при небольших размерах самих модулей.

Устройство термостатирования с применением ТЭМ обладает рядом наиболее существенных преимуществ:

- 1) малые габариты и масса;
- 2) отсутствие движущихся, изнашивающихся частей, отсутствие вибрации и шума;
- 3) высокая надежность;
- 4) высокая охлаждающая способность на единицу массы и объема — до 150 Вт/г и до 100 Вт/см³;
- 5) возможность плавного и высокоточного регулирования теплового режима испытания;
- 6) малая инерционность;
- 7) быстрый переход из режима внешнего охлаждения испытуемого полупроводникового прибора в режим нагрева;
- 8) произвольная ориентация в пространстве;
- 9) устойчивость к динамическим и статическим перегрузкам;
- 10) экологическая чистота.

К недостаткам ТЭМ в данном направлении можно отнести низкий холодильный коэффициент, что не уменьшает его эффективность при работе в режиме нагрева объекта.

Данное устройство позволяет производить исследования зависимостей характеристик и параметров мощных светодиодов, диодов, тиристоров и транзисторов [1]. Использование компьютерных технологий компании National Instruments, дает возможность автоматизировать ход проведения измерений, что существенно упрощает проведение эксперимента. Программные средства LabVIEW дают возможность одновременного контроля температуры термостата и получения информации о электрических и тепловых характеристиках и параметрах полупроводниковых приборов [2].

Список литературы

1. Беспалов Н.Н., Лысенков А.Е. О выборе термочувствительного параметра мощных MOSFET транзисторов и режима его измерения // Технічна електродинаміка. Науково-прикладний журнал: у 2 ч. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – Ч. 1. – С. 192–195.
2. Беспалов Н.Н., Лысенков А.Е. Программа обработки электрических и тепловых характеристик силовых полупроводниковых приборов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012615726. 2012. Бюлл. RU ОБПТБ № 3 (80).
3. Булат Л.П., Ведерников М.В., Вялов А.П. и др. Термоэлектрическое охлаждение. – 2002. – СПб.: СПбГУНиПТ. – С. 120–121.
4. Иоффе А.Ф., Сильбанс Л.С., Иорданишвили Е.К., Ставицкая Т.С. Термоэлектрическое охлаждение. – АН СССР, 1956. – С. 53–58.
5. Каганов М.А., Привин М.Р. Термоэлектрические насосы. – Л.: Энергия, 1970. – С. 61–78.
6. Шостаковский П.Г. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники // Компоненты и технологии. – 2009. – № 12. 2010. – № 1. – С. 130–137.
7. Шостаковский П.Г. Тепловой контроль объектов на базе термоэлектрических сборок// Компоненты и технологии. – 2011. – № 9. – С. 142–150.

05.12.04

В.Н. Будилов к.т.н., С.В. Елисеева, М.Э. Суслопарова

Поволжский государственный университет сервиса,
кафедра «Информационный и электронный сервис»,
г. Тольятти, neuporpower@yandex.ru

ИНТЕГРАЦИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ СБОРА ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМУ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Предложен способ встраивания беспроводных каналов сбора данных в систему с цифровыми видеокамерами, например в систему видеонаблюдения. Проведены испытания прототипа такой системы. Получены оценки дальности действия.

Ключевые слова: *видеокамера, видеонаблюдение, беспроводной датчик, система сбора данных, сенсорная сеть.*

В настоящее время существует несколько технологий, предназначенных для построения так называемых сетей датчиков (сенсорных сетей), которые относятся к беспроводным системам сбора данных и управления небольшого радиуса действия (до сотен метров – единиц километров). Наибольшее распространение получили беспроводные сенсорные сети, параметры которых регламентируются стандартом IEEE 802.15.4, а также спецификацией стека протоколов ZigBee [1]. В то же время нет принципиальных причин того, чтобы не исследовать другие возможности построения систем с беспроводными датчиками. В частности, в ряде случаев радиоволновые сети могут подвергаться помехам от других систем (WiFi, Bluetooth), работающих в том же частотном диапазоне или для сетей специального назначения может требоваться радиомолчание.

Настоящая работа рассматривает беспроводной способ передачи данных от удаленного передающего устройства на приемное устройство через оптический канал. Причем, в отличие от известных систем приемным устройством является цифровая видеокамера, например, камера видеонаблюдения. Возможность приема дополнительных данных кроме видимого изображения обусловлена возросшими вычислительными ресурсами, встраиваемыми в современные видеокамеры. Это позволяет сейчас вести речь о цифровой обработке в реальном времени всего видеопотока, создаваемого датчиком изображения камеры [2, 3]. Сфера применения такой обработки расширяется с уже типовых задач обнаружения движущихся объектов на самые разнообразные применения, например, анализ параметров движения [4, 5]. Очевидно, что современный процессор видеокамеры, способный обрабатывать в реальном времени несколько десятков кадров в секунду, легко может выделить и декодировать изменения яркости пикселя, создаваемые оптическим излучателем, находящимся в кадре. Возможен также одновременный прием данных от множества таких передатчиков в области наблюдения камеры. Если прием ведется на типовую камеру с частотой кадров порядка 25-30 Гц, то достигаемая скорость передачи данных в расчете на один датчик оказывается низкой, не превышая нескольких бит/с. Этот недостаток рассматриваемого способа ограничивает сферу его применения регистрацией медленно меняющихся параметров, таких, как температура.

С целью практической проверки такого способа были проведены эксперименты с установкой по схеме рис. 1.

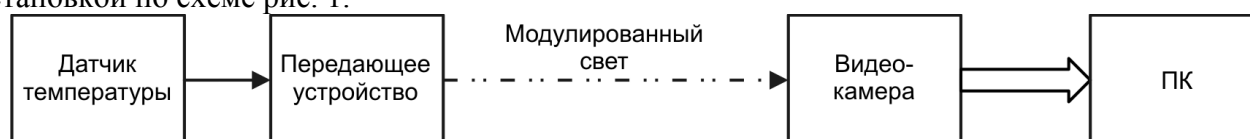


Рис. 1 – Передача информации в системе

Передающее устройство, построенное на микроконтроллере, получало цифровой код от датчика температуры и в соответствии с ним формировало световые импульсы с помощью светодиода белого цвета. Компьютер обрабатывал в реальном времени кадры, полученные видеокамерой, и декодировал переданное значение температуры. Ток через светодиод составлял 30 мА, видеокамерой служила web-камера с форматом кадра 640*480 при 30 кадрах/с. На рис. 2 показаны фрагменты принятых кадров во время паузы (слева) и во время светового импульса (справа). Квадратами отмечена зона интереса, яркость пикселей в которой декодировалась принимающей программой.

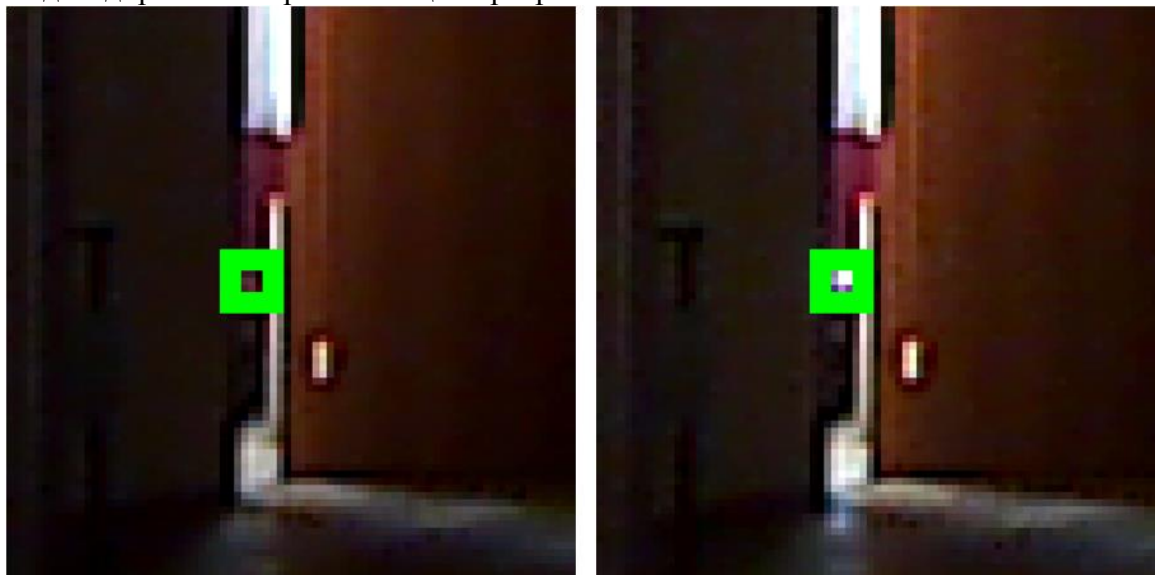


Рис. 2 – Фрагменты кадров при работе с расстояния 19 м (увеличены)

Из опробованных способов модуляции наилучшие результаты были получены с протоколом, который можно назвать время-импульсным. Передаваемые световые импульсы отделялись друг от друга паузами, которые и кодировали данные. Длительность светового импульса составляла 2 периода кадров камеры. Если передавался бит 0, то длительность паузы была равна 2 периодам кадров. Если передавался бит 1, то длительность паузы составляла 5 периодов кадров. Большая разница между паузами для нуля и единицы была выбрана из-за несинхронности следования кадров камеры и световых импульсов передатчика. Пауза длительностью 2 кадра обязательно дает хотя бы один ноль на приемнике, независимо от взаимной фазы передаваемого сигнала и интервалов экспозиций. Однако, в случае коротких выдержек может получиться и 3 нуля, если интервалы экспозиции попадают на границу паузы. Таким образом, из-за несинхронности пауза передатчика в 2 кадра расширяется у приемника случайным образом в диапазоне от 1 до 3 нулей. Аналогично можно показать, что пауза передатчика в 5 кадров расширяется у приемника случайным образом, но в другом диапазоне – от 4 до 6 нулей. Поэтому при выбранном соотношении длительностей приемник однозначно различает паузы нуля и единицы.

В ходе экспериментов была достигнута устойчивая передача информации в условиях помещения на различных расстояниях вплоть до 30 м. На рис. 3 показаны временные диаграммы принятого сигнала для расстояний 5 и 19 м. Можно заметить, что хотя контраст на расстоянии 19 м несколько ниже, чем на 5 м, сигнал во время вспышки светодиода все равно уходит в ограничение. Кроме того, остается еще значительный запас по отношению сигнал/шум, который можно оценить значением 10 раз. Следовательно, при неизменных параметрах камеры, объектива и светодиода можно увеличивать дальность еще примерно в 3 раза, то есть до 50-60 м.

В заключение отметим, что рассмотренный способ интеграции каналов передачи данных в систему видеонаблюдения может быть усовершенствован несколькими способами:

- применение инфракрасных светодиодов вместо белых может повысить скрытность каналов;
- добавление обратного беспроводного канала синхронизации от камеры к датчикам

может позволить увеличить скорость передачи информации;

– в передающем устройстве вместо модуляции яркости светодиода может быть применена модуляция коэффициента отражения ретрорефлектора (световозвращателя).

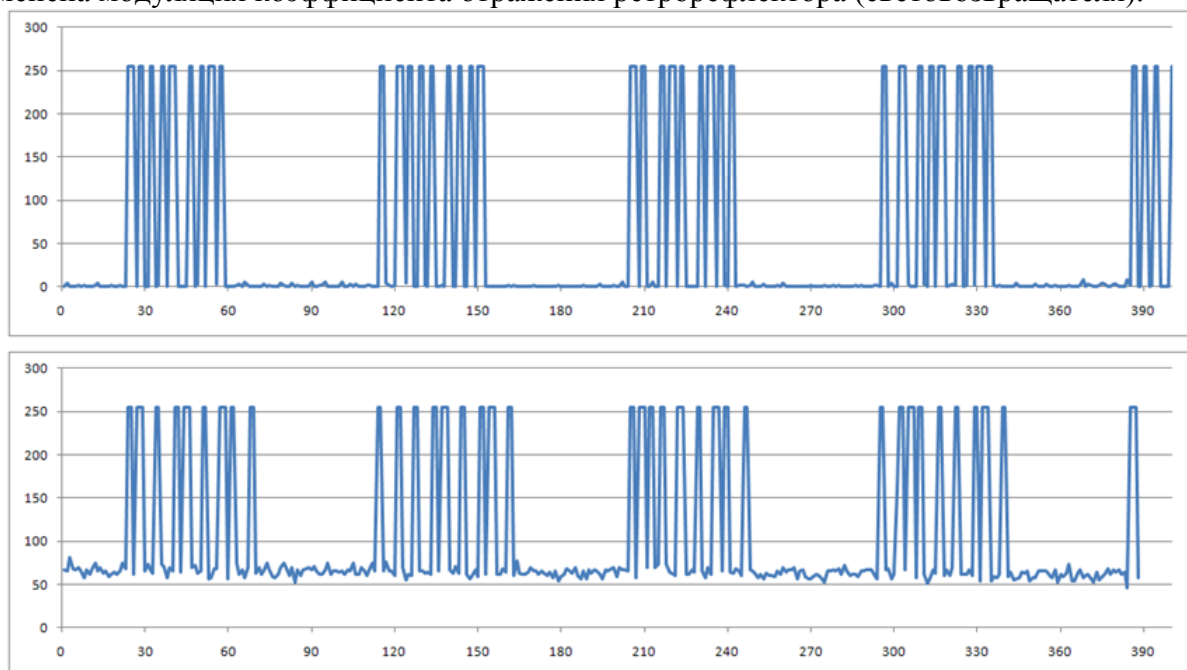


Рис. 3 – Сигнал, принятый с разных расстояний: 5 м (вверху) и 19 м (внизу)

Последнее требует наличия видимого или инфракрасного осветителя на стороне камеры, но позволяет резко снизить энергопотребление передатчиков до уровней ниже, чем в таких технологиях, как ZigBee.

Список литературы

1. Артюшенко В.М., Корчагин В.А. Анализ беспроводных технологий обмена данными в системах автоматизации жизнеобеспечения производственных и офисных помещений / Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2010. – Т. 6. – №2. – С.18–24.
2. Лукьяница А.А., Шишкин А.Г. Цифровая обработка видеоизображений. – М.: «Ай-Эс-Эс Пресс», 2009. – 518 с.
3. Воронин В.В., Поморцев П.М., Кузнецов А.А., Мотыко А.А. Метод восстановления видеосигналов на основе адаптивного двумерного метода размножения оценок / Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – С. 189–192.
4. Будилов В.Н. Метод измерения частоты колебаний сооружений и конструкций с помощью цифровой видеокамеры / Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 1. – С. 91–94.
5. Будилов В.Н., Дреманович П.В. Метод обработки видеопотока для измерения частоты колебаний наблюдаемых объектов / Школа университетской науки: парадигма развития. – 2012. – № 2(6) . – Т. I. – С. 47–52.

Работа выполнена в рамках фундаментальной НИР, финансируемой из средств Минобрнауки РФ (Государственное задание на 2014 г., код проекта: 226)

05.23.02

В.В. Воронцов, Ал.Н. Краев, М.Е. Игошин

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет,
Строительный институт, кафедра строительных конструкций,
Тюмень, m.e.igoshin@yandex.ru

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ПО УКРЕПЛЕНИЮ ОСНОВАНИЯ И НАСЫПИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА СУЩЕСТВУЮЩЕЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА ТЕРРИТОРИИ ЯНАО

В статье приведен анализ причин деформирования дорожной одежды и земляного полотна существующей автомобильной дороги. Представлены результаты численного эксперимента по сравнению предлагаемого конструктивного решения армирования основания и насыпи земляного полотна с известными способами укрепления.

Ключевые слова: укрепленное основание, многолетнемерзлые грунты, автомобильная дорога.

Перспективное освоение территории ЯНАО, богатой полезными ископаемыми невозможно без создания сети автомобильных дорог для связи между населенными пунктами, месторождениями и транспортными узлами. Территория Ямало-Ненецкого автономного округа характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, при которых получают развитие различные геологические и геокриологические явления и процессы, обуславливающие особые подходы при проектировании и строительстве инженерных сооружений [1]. В связи с этим актуальной задачей является разработка конструктивных решений по укреплению основания и насыпи земляного полотна автомобильных дорог, позволяющих увеличить межремонтные сроки отдельных участков и повысить эксплуатационную надежность сооружения в целом.

Рассматривается существующая автомобильная дорога «Сургут – Салехард, участок Новый Уренгой – Надым 1 пусковой комплекс: п. Пангоды (км 870) п. Правохеттинский (км 936)» в северной части Тюменской области, в Надымском районе Ямало-Ненецкого автономного округа. Район относится к I дорожно-климатической зоне, по режиму увлажнения к зоне избыточного увлажнения, в частности, с правой стороны автомобильной дороги наблюдается наличие длительностоящих вод (более 30 суток).

В результате анализа проектных решений, отчета об обследовании участка и рекогносцировки местности, выявлены участки, подверженные критическим циклическим деформациям, несмотря на выполнение ежегодных ремонтных работ по восстановлению ровности покрытия на автомобильной дороге: проседание дорожной одежды с образованиями провалов глубиной до 0.4 м, появление продольных и поперечных трещин с раскрытием до 40 мм на покрытии дорожной одежды, оползневые образования отсыпки дороги в местах проседания асфальтобетонного покрытия. В районе трассы автомобильной дороги получили развитие следующие характерные опасные геологические процессы: заболачивание и заозёривание территории, криогенные процессы (пучение), солифлюкция, механическая суффозия, что привело к деформации земляного полотна и дорожного покрытия. Деформации могут быть связаны как с вымыванием песчаного грунта земляного полотна проточными и талыми водами ввиду возможного слабого уплотнения основания, так и с оттаиванием грунтов основания, приводящим к развитию заболоченных и обводнённых участков вдоль подошвы отсыпки.

Для установления причин развития деформаций и разрушения дорожной конструкции, с последующей разработкой инженерных мероприятий для обеспечения надежной эксплуатации объекта было решено провести комплекс инженерных изысканий с

выполнением научно-исследовательских работ.

Основные технико-экономические показатели автомобильной дороги соответствуют III технической категории [2], основные геометрические характеристики дорожной конструкции представлены на рисунке 2.

В результате выполненных инженерно-геологических изысканий [3] установлено, что конструкция земляного полотна размещена на неоднородном основании в поперечном направлении. С левой стороны конструкция автомобильной дороги опёрта на прочный мерзлый торф, залегающий на 0.7 м от дневной поверхности, с левой стороны грунты основания представлены слабыми водонасыщенными средними и мелкими песками мощностью до 4.5 м, рисунок 2. Физико-механические характеристики представлены в табличной форме.

Таблица 1- Физико-механические характеристики грунтов

Описание пород	Н, м	Показатели физико-механических свойств грунтов									
		w_{tot}	w_L	w_p	ρ , г/см ³	n , %	ρ_d , г/см ³	e , д.ед.	S_r , д.ед.	c , МПа	E , МПа
Грунт земляного полотна	1.0-2.3	0.20	-	-	1.87	41	1.56	0.73	0.75	0.01	20
Песок мелкий насыщенный водой	3.4-4.5	0.29	-	-	1.96	43	1.52	0.66	1.02	0.01	18
Торф мерзлый	2.1-2.3	0.27	0.29	2.21	1.26	42	0.48	0.75	1.00	7	50

Питание грунтовых вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, таяния сезонно-мерзлых и многолетнемерзлых грунтов. По результатам инженерно-геодезических изысканий и обследованию участка была построена схема развития деформаций, приведенная на рисунке 1. На схеме стрелками показаны направления горизонтальных перемещений грунтов земляного полотна, разрушена правая часть покрытия. Максимальное горизонтальное отклонение геометрии автомобильной дороги от проектных значений составляет 28 см. Среднее значение вертикальных перемещений составляет 18 см.

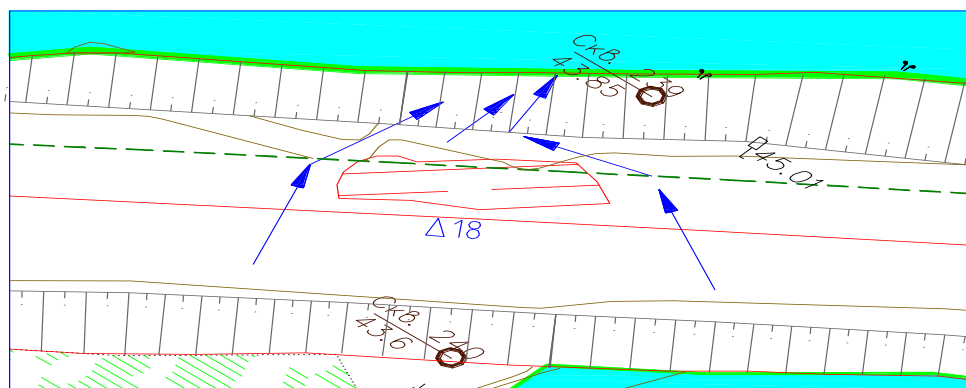


Рис. 1– Схема развития деформаций на участке

По результатам выполненных работ определено, что основной причиной разрушения является опирание правой части земляного полотна на неоднородное основание, обусловленное отсутствием многолетнемерзлых грунтов с правой стороны в основании автомобильной дороги и наличием многолетнемерзлых грунтов с левой стороны. Ухудшает ситуацию природный уклон рельефа местности, направленный в сторону слабого основания и наличие непромерзающего водоема, подпитываемого за счет проточных грунтовых вод и атмосферных осадков. Образование деформаций связано с осадками, возникающими в основании с правой части автомобильной дороги, приводящие к смещению конструкции земляного полотна в сторону правого откоса.

Коллективом авторов предлагается выполнить вертикальное армирование правой части земляного полотна, в сторону которого развиваются деформации, конструктивное решение приведено на рисунке 2. Армирование выполняется путём вертикального размещения

армирующего геотекстильного материала в основании земляного полотна с формированием в откосной части упорного грунтового валика. Фиксирование валика от горизонтальных перемещений выполняется армирующим материалом, который анкерится в основании. Размер валика выбирается таким образом, чтобы наклон валика соответствовал заложению откоса на существующем поперечном профиле земляного полотна.

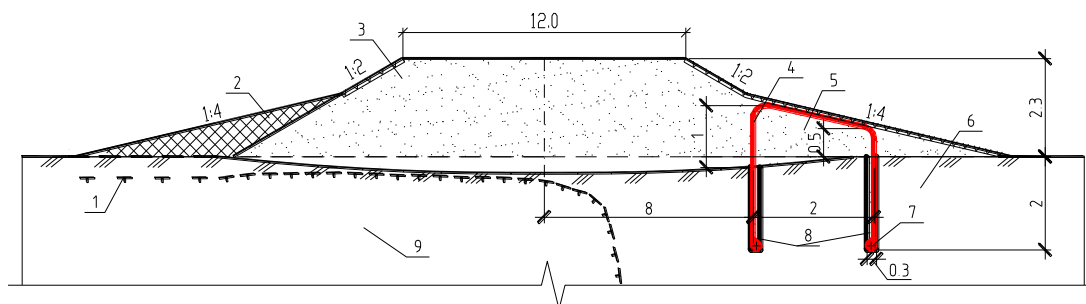


Рис. 2– Армирование основания и конструкции земляного полотна на вечномёрзлых грунтах с таликовой зоной

1 – верхняя граница многолетнемерзлых грунтов; 2 – торфяная подсыпка; 3 – земляное полотно; 4 – геотекстильный материал; 5 – упорный валик; 6 – мелкий песок насыщенный водой с включениями торфа; 7 – анкерная труба; 8 – траншеи; 9 – мерзлый торф

Данное конструктивное решение существенно ограничит развитие деформаций в сторону откоса. Такая схема армирования позволит снизить горизонтальные и вертикальные деформации, возникающие в теле земляного полотна и основании автомобильной дороги, и предотвратит дальнейшее развитие деформаций на данном участке.

Количественную оценку снижения деформаций и ожидаемый результат оценён путём сравнения известных вариантов конструкций земляного полотна на слабом основании с предлагаемым в программном комплексе Plaxis 8.2. При моделировании использовался метод конечных элементов в упруго-пластической модели грунта Мора-Кулона. Глубина сжимаемой толщи принималась равной 6 м, что соответствует глубине бурения скважин при инженерно-геологических изысканиях. Область вечномёрзлых грунтов задавалась как абсолютно несжимаемый кластер. Геосинтетический материал моделировался при помощи команды «geogrid». Критерием оценки служили показатели напряженно-деформированного состояния земляного полотна и основания без дополнительных мероприятий и с ними. Сравнивались значения максимальных деформаций, возникающих в грунте и характер развития напряженного состояния массива в области армирования. Расчетная схема предложенной конструкции (вариант № 1) приведена на рисунке 3.

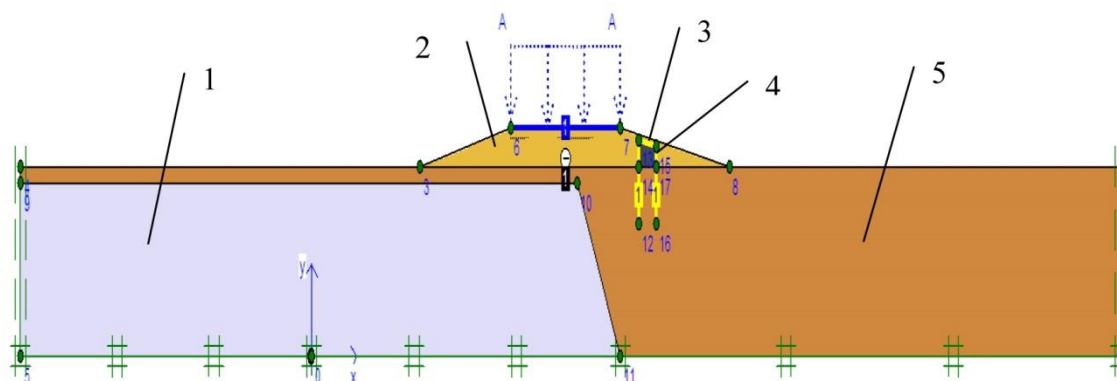


Рис.3— Вариант № 1: Вертикальное армирование откосной части

1 – мерзлый торф; 2 – дорожная насыпь; 3 – геосинтетический материал; 4 – упорный валик; 5 – песчаное водонасыщенное основание

Вариант № 2 отличается от предыдущего тем, что геосинтетический материал и упорный валик размещены не только в зоне слабого основания, но и в мерзлом торфе подоткосной

части насыпи. То есть земляное полотно обжато симметрично относительно оси дороги. В вариантах №3- 5 рассматриваются известные типы поперечных профилей насыпи с разделяющими геосинтетическими прослойками [4]. В варианте № 3 армирующий элемент размещен горизонтально на всю ширину подошвы в нижней части насыпи. Кроме того, дополнительно выполнено горизонтальное армирование подоткосной верхней части насыпи на уровне рабочего слоя дорожной одежды. Горизонтальное армирование верхней части насыпи в поперечном направлении выполнено до бровки земляного полотна. В варианте № 4 предусматривается прослойка в виде обоймы со сплошной укладкой полотен в поперечном направлении. В варианте № 5 армирование выполнено в виде расположенных в поперечном направлении геосинтетических полотен в виде обойм, размещенных в нижней и верхней частях насыпи, представленном на рисунке 4.

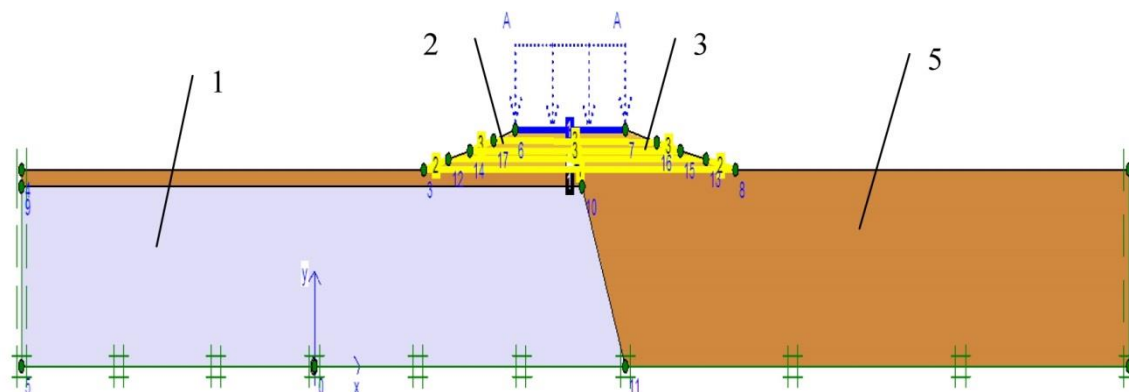


Рис.4– Вариант № 5: Обоймы в рабочем слое и в основании насыпи

В качестве варианта № 6 выбрана дорожная конструкция без армирования. Для анализа и формирования выводов, полученные результаты расчётов сведём в таблицу 2.

Таблица 2- Результаты расчетов для выбора оптимальных схем армирования земляного полотна

Расчетная схема армирования	Вертикальные перемещения, мм	Горизонтальные перемещения, мм	Осевые усилия в геосетке, кН/м
Вариант № 1 –Вертикальное армирование откосной части	72	40	1.3
Вариант № 2- Вертикальное армирование двух откосных частей	73	40	1.3
Вариант № 3 –Горизонтальное армирование основания и подоткосных частей	128	114	25.4
Вариант № 4 –Обойма в основании насыпи	114	91	16.5
Вариант № 5 –Обоймы в основании и рабочем слое насыпи	104	83	22.1
Вариант № 6 –Основание без армирования	186	117	-

Выводы

1. По результатам обследования участка автомобильной дороги выявлено, что образование деформаций происходит благодаря природному наклону рельефа местности в сторону водонасыщенного песчаного основания с включениями торфа и опиранием дорожной конструкции на неоднородные грунты (многолетнемерзлый торф по другую сторону от продольной оси дороги). Дополнительной причиной разрушения земляного полотна является постоянный водоем, образованный в непосредственной близости от дороги, питаемый атмосферными осадками и мигрирующими болотными водами.

2. Результаты моделирования в программном комплексе Plaxis 2D показывают, что предлагаемый вариант армирования позволяет существенно снизить вертикальные и

горизонтальные перемещения правой части земляного полотна, опертой на основание, представленное талыми водонасыщенными песчаными грунтами с включениями торфа.

3. Применение вариантов №№ 2, 3, 4 возможно только при строительстве новой автомобильной дороги, в то время как рассматриваемый вариант может быть использован при капитальном ремонте или реконструкции действующей.

Список литературы

1. *Евгеньев И.Е.* Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах / *И.Е. Евгеньев, В.Д. Казарновский.* – М.: Транспорт, 1976. – С. 75.
2. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*(утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 N 266) – С. 19.
3. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 (Утв. Приказом Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (Госстрой России) от 10 декабря 2012 г. N 83/ГС) – 116 с.
4. ВСН 84-89. Изыскание, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты Текст. // - М.: Госстрой СССР.-м.: Стройиздат. 1989 г. С 21-22.

05.14.08

Н.С. Галимов, В.А. Иванов, К.З. Фатыхов

Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Набережные Челны, galimovn@bk.ru

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВКЛЮЧЕНИЕМ ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ

Предложена автоматизированная система преобразования энергии ветра в электрическую энергию, состоящая из генератора переменного тока с обмоткой возбуждения и системой автоматического включения обмотки возбуждения.

Ключевые слова: *ветродвигатель, генератор, тахогенератор, реле, обмотка возбуждения.*

Энергия ветра может быть преобразована в механическую, тепловую, электрическую и т.д. В настоящее время предложены множество схем, конструкций и патентов на изобретения по преобразованию энергии ветра. Они, как правило, успешно справляются с поставленными им задачами. Однако преобразованную энергию хранить долго, до тех пор, пока она не востребована, является не простой задачей из-за неусовершенствованных технологий хранения энергий и стоимости предложенных схем.

Среди способов преобразования, автоматизации процессов управления, конечно и технологий хранения (аккумуляторные батареи, конденсаторные системы) на сегодняшний день наиболее оптимальным является преобразование в электрическую энергию генераторами различного типа. [1].

Схемы, связанные с преобразованием ветроэнергии в электрическую, можно разделить на два условных направления. Первым из направлений является схемы использования электрической энергии, производимой ветроустановкой при ее работе автономно, т.е. изолированно от энергосистемы. Вторым направлением схемы использования электрической энергии, производимой ветродвигателем, является совместная работа с энергосистемой. [2].

В настоящее время при автономном варианте использования электрической энергии применяются три основные схемы.

Первая схема состоит из генератора постоянного тока и аккумуляторной батареи. В этом варианте в качестве потребителей могут быть только двигатели постоянного тока со стабилизатором напряжения, нагреватели, осветительные устройства, электролизные установки и т.д. Напряжение на выходе генератора не постоянное.

Вторая схема содержит только генератор переменного или постоянного тока предназначенный для нагрева, т.е. для получения только тепла и его аккумулирования в виде тепла.

Третья схема содержит генератор переменного тока, выпрямитель, буферный накопитель и преобразователь постоянного тока в переменный ток постоянной частоты и напряжения. В настоящей работе предлагается последняя схема преобразования и хранения энергии ветра. [1,2].

Во всех вышеперечисленных вариантах ротор ветроустановки вращается с переменной частотой. Предложенные схемы не нуждаются в поддержании постоянной скорости вращения ротора. Использование этих трех схем, наиболее перспективны в районах, располагающих повышенным потенциалом ветровой энергии и испытывающих недостаток в традиционных топливных ресурсах. [2].

Третья предложенная автоматизированная схема первого направления состоит из генератора переменного тока, с обмоткой возбуждения приводимого во вращение ротором

ветродвигателя, в случае с вертикальной осью вращения или пропеллером при горизонтальной оси вращения ветродвигателя через мультипликатор.

Мультипликатор применяется для повышения частоты вращения выходного звена, так как частота вращения пропеллера или ротора практически всех ветродвигателей меньше чем номинальная частота вращения доступных и относительно не дорогих генераторов производимых в нашей стране и за рубежом.[3]. Напряжение генерируемого тока и частота переменные, поэтому, используя выпрямитель, переменное напряжение переменной частоты преобразуется в постоянный ток нестабилизированного напряжения. Здесь в качестве стабилизатора напряжения и накопителя электрической энергии в одном лице используется аккумуляторная батарея.[1]. Чем больше емкость последней, тем стабильнее и надежнее будет работать система.

Представлена простейшая, но достаточно надежная схема для таких ветродвигателей, у которых момент трогания под нагрузкой слабый. Обычно эффективность использования энергии ветра у быстроходных ветродвигателей больше чем у тихоходных, но момент трогания (момент, при котором ротор начинает вращательное движение) наименьший. Вхолостую, т.е. без нагрузки они быстро выходят в рабочий режим, достаточного для привода генератора постоянно подключенного к аккумулятору.

Принципиальная схема подключения в систему преобразования для аккумуляторного варианта хранения электроэнергии генератора переменного тока со встроенным трехфазным мостовым выпрямителем и обмоткой возбуждения представлена на рис.1.

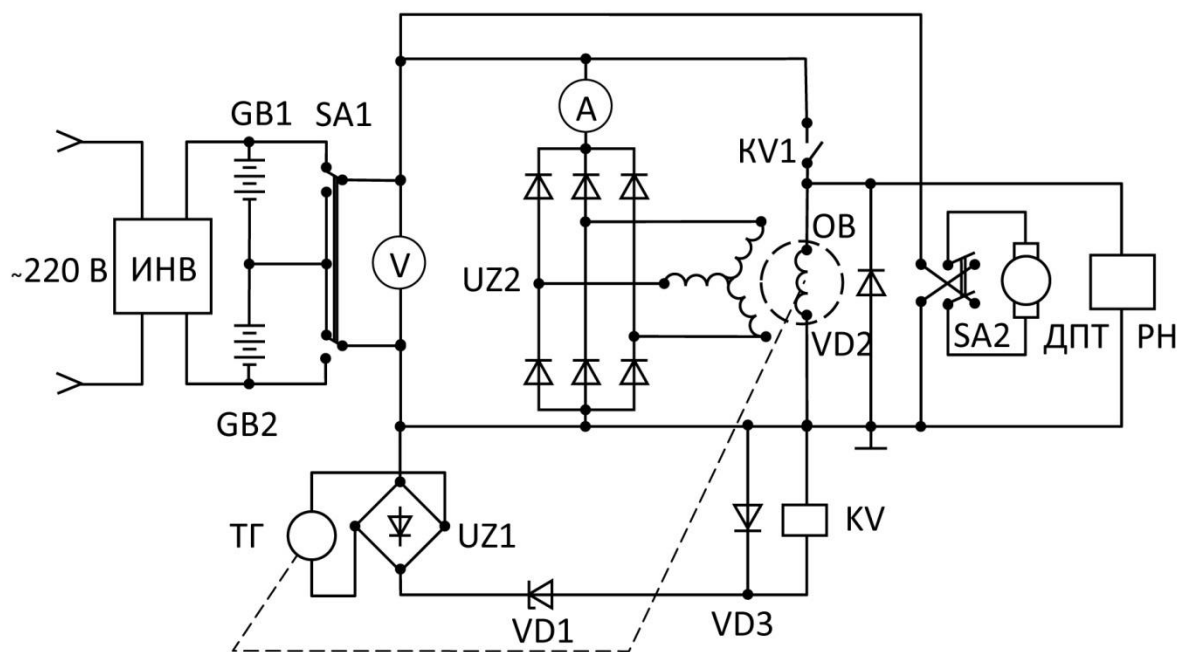


Рис. 1- Схема включения обмотки возбуждения генератора переменного тока

Система работает следующим образом. Обмотка возбуждения OB постоянно находится в механической связи с валом ротора или пропеллера ветродвигателя. При отсутствии ветра или слабом ветре выходное напряжение тахогенератора, ТГ, пальчикового магнитоэлектрического типа, после выпрямления недостаточно для пробоя стабилитрона VD1. При этом по обмотке реле KV ток не течет и его нормально разомкнутые контакты KV1 не замкнуты, поэтому обмотка возбуждения не включена к источнику постоянного тока GB1 или GV2. Обмотка возбуждения и вращающиеся элементы ветродвигателя набирают обороты. При достижении необходимой частоты вращения $n_{вкл}$, (подбирается из скоростной регулировочной характеристики) рис.2, напряжение тахогенератора достигает такого значения, при котором стабилитрон VD1 пробивается, а реле срабатываясь, замыкает контакты KV1 и включает обмотку возбуждения к источнику питания GB1 или GV2.[3].

Генератор начинает заряжать аккумулятор. Частоту вращения, $n_{вкл}$, при котором включается обмотка возбуждения, подбирают при помощи стабилизатора VD1. Здесь аккумулятор состоит из двух половинок. Это связано с тем, что питание инвертора преобразующего постоянный ток в переменное напряжение 220 В и частотой 50 Гц равно 24 В, а генератор может вырабатывать только 12 В. Генератор заряжает половинки аккумулятора поочередно по мере их заряженности поочередно с помощью переключателя SA1 (система управления переключателем SA1 не показана). Двигатель постоянного тока ДПТ является приводом для увода пропеллера или ротора от набегающего ветрового потока для принудительной остановки установки при техническом осмотре или для защиты от поломок при ураганных скоростях ветра.

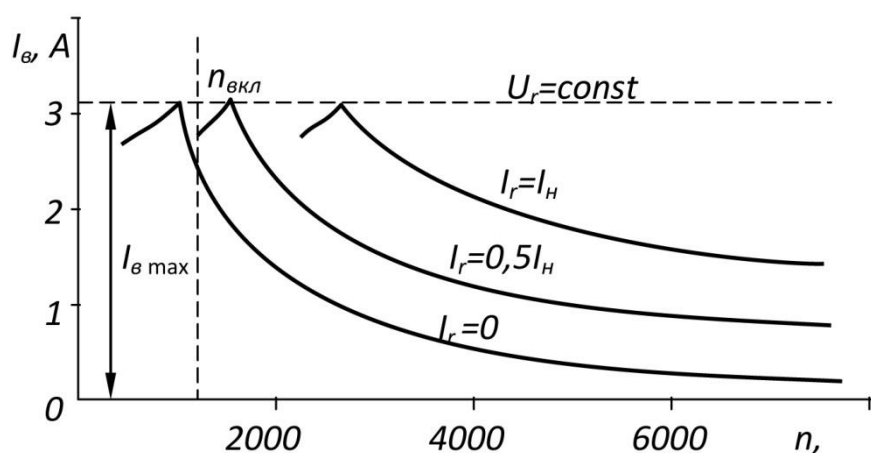


Рис. 2- Скоростная регулировочная характеристика ротора

Необходимая устанавливаемая мощность роторной ветроустановки достигается не путем увеличения диаметральных размеров конструкций модуля, а наращиванием модулей друг над другом. Модули могут быть установлены двумя способами: а) путем рассредоточения на выбранной площадке, если такая возможность имеется; б) путем вертикальной компоновки модулей. В случае вертикальной компоновки оси модулей соединяются между собой при помощи муфт. Таким образом, осуществляется унификация установок с вертикальной осью вращения. Каждый модуль может быть укомплектован вышеперечисленными устройствами для выработки электроэнергии в зависимости от района применения. Путем объединения выполняется основная функция системы, по непрерывному обеспечению баланса поступающей, аккумулируемой и потребляемой энергии даже при низких мощностях генерирующего оборудования, на порядок меньших, чем требуемые потребителю в пиковых режимах. Объединение автономных модульных ветродвигателей роторного типа может привести к снижению удельной стоимости поставляемого оборудования автономной системы энергоснабжения. Ремонтные и профилактические работы на генерирующем оборудовании автономной системы энергоснабжения могут проводиться без отключения потребителя или других энергетических модулей. Необходимая продолжительность бесперебойного энергоснабжения в этих и других случаях по требованию потребителя может быть обеспечена за счет установки дополнительных модулей оборудования.

Список литературы

1. Ю.И. Шакиров. Автономные источники тока:- Набережные Челны.: 2010.- 313с.
2. Н.С. Галимов. Автоматизированные системы производства сжатого воздуха и электроэнергии с применением ветроэнергоустановок:- Санкт-Петербург.: Изд. Инфо-да, 2004.- 215 с.
3. Ю.П. Чижков, С.В. Акимов. Электрооборудование автомобилей:- М.: ООО «Книжное издательство «За рулем»», 2007.- 336с.

05.13.19

Н.А. Гатченко, 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, г. Санкт-Петербург, g.nelly@mail.ru

КОНФИГУРАЦИОННЫЕ ПРОФИЛИ В ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТАХ КЛАССА MDM

В данной статье рассматриваются вопросы настройки и применения конфигурационных профилей продуктов класса Mobile Device Management (MDM), для обеспечения безопасности мобильных устройств (планшетных компьютеров и смартфонов), функционирующих на базе операционной системы Apple iOS.

Ключевые слова: *мобильное устройство, MDM, iOS, профиль безопасности.*

В настоящее время вопрос защиты мобильных устройств по-прежнему занимает важное место в сфере информационной безопасности. Одним из средств, применяемых для защиты мобильных устройств, являются программные продукты класса MDM, с помощью которых становится возможным применение различных политик безопасности на мобильных устройствах.

MDM – продукты имеют широкий функционал, который отличается в зависимости от платформы мобильного устройства. Эта особенность объясняется встроенными возможностями операционных систем (ОС) мобильных устройств, т.к. работа MDM заключается в управлении и расширении встроенных возможностей мобильного устройства. Так, программно в ОС Apple iOS в PIN-коде невозможно использовать специальные символы, с помощью MDM-продуктов возможно не только использовать специальные символы, но и задать длину и сложность пароля, которые будут удовлетворять требованиям парольной политики организации.

В MDM – продуктах для управления и конфигурирования мобильных устройств используются, так называемые, конфигурационные профили (политики), устанавливаемые на мобильное устройство. Конфигурационные профили имеют в себе набор параметров, которые можно включить/отключить, настроить для работы с каким-либо сервисом, например почтой, календарем.

В устройствах компании Apple возможно применение следующих конфигурационных профилей (В зависимости от продукта вид и функциональность могут меняться):

- General – общие настройки;
- Passcode – настройка пароля;
- Restrictions – настройка ограничения функционала мобильного устройства;
- LDAP, CalDAV, Subscribed Calendars, Contacts – настройка календарей, контактов;
- Email, Exchange ActiveSync – настройка почты;
- Web clips – настройка ссылок на рабочем столе;
- Credentials – установка сертификатов на устройство;
- APN – настройка параметров сотового оператора;
- Wi-Fi, VPN.

Некоторые из представленных конфигурационных профилей, могут не использоваться для работы, в зависимости от принятой корпоративной политики безопасности для мобильных устройств. Ниже представлены рекомендации по настройке конфигурационных профилей с точки зрения обеспечения информационной безопасности.

Пароль. Данный профиль позволяет задать требования к использованию пароля на мобильном устройстве, а также требования к сложности пароля.

Прежде всего, необходимо отключить параметр использования простых значений «Allow simple value», несмотря на то, что использование короткого и легкого пароля облегчает использование мобильных устройств, такие пароли не удовлетворяют требованиям безопасности. Для обеспечения требуемого уровня сложности пароля необходимо разрешить использование буквенно-цифровых символов, включив параметр «Require alphanumeric value». Далее необходимо задать критерии сложности, которым должен соответствовать пароль, задаваемый пользователем мобильного устройства:

- минимальная длина пароля – 6 символов;
- минимальное количество сложных символов – 1 символ;
- максимальный срок использования пароля – 92 дня;
- максимальное время простоя, после которого устройство заблокируется – 5 минут;
- запрет использования 5 предыдущих паролей;
- период за время, которого возможна разблокировка устройства без запроса ввода пароля – 1 минута;
- количество попыток ввода неверного пароля, на мобильном устройстве после ввода, которых произойдет удаление всех данных на устройстве – 10.

Ограничения. Данный профиль позволяет накладывать ограничения на использование функциональных возможностей мобильного устройства, приложений и сервисов. Профиль «Restrictions» содержит несколько групп ограничений:

«Device Functionality» – эта группа содержит параметры настройки использования стандартных функций мобильного устройства на базе ОС iOS. Для обеспечения информационной безопасности необходимо запретить использование следующих функций мобильного устройства:

- «Installing apps» – параметр разрешает/запрещает установку приложений на мобильное устройство;
- «Screen capture» – параметр разрешает/запрещает снимать скриншоты с экрана мобильного устройства;
- «Automatic sync while roaming» – параметр разрешает/запрещает производить синхронизацию в Роуминге;
- «Passbook while device locked» – параметр разрешает/запрещает использование ПО Passbook, в то время как мобильное устройство заблокировано;
- «In-App purchase» – параметр разрешает/запрещает производить покупки внутри приложений;
- «iTunes Store password for all purchases» – параметр позволяет установить пароль для покупок в iTunes Store, данный параметр необходимо включить.

«Applications» – группа ограничения приложений предназначена для настройки доступа пользователя к таким приложениям как: YouTube, iTunes Store и Safari. Также позволяет задавать настройки безопасности браузера Safari. Рекомендуемые параметры настройки группы ограничения приложений приведены ниже:

- «Use of iTunes Store» – Параметр разрешает/запрещает использование iTunes Store;
- «Autofill» – Параметр разрешает/запрещает использовать автозаполнение;
- «Accept cookies/ From visited» – Для настройки приема Cookies производится выбор одного из параметров: «Never», «From visited», «Always».

«iCloud» – группа содержит параметры настройки сервиса iCloud. Все параметры группы iCloud должны быть отключены.

«Security and Privacy» – группа содержит параметры настройки безопасности и конфиденциальности. Параметры, которые необходимо отключить:

- «Diagnostic data to be sent to Apple» – параметр разрешает/запрещает отправлять диагностические данные мобильного устройства в Apple;

- «Accept untrusted TLS certificates» – параметр разрешает/запрещает принимать неподписанные сертификаты.

Wi-Fi. Этот профиль предназначен для настройки параметров подключения к корпоративным сетям. Для настройки профиля необходимо указать SSID корпоративной сети, отключить параметр «Auto Join», выбрать протокол шифрования. Рекомендуется использовать протокол WPA / WPA2 Enterprise с аутентификацией по протоколу TLS.

VPN. Использование и настройка профиля VPN зависит от инфраструктуры предприятия. В ОС iOS программно поддерживается несколько типов VPN, как правило, для обеспечения работы VPN необходимо установить соответствующее приложение из App Store. Следует отметить, что в настоящее время не представляется возможным маршрутизация всего трафика через VPN в режиме «split tunnel mode».

Mail и Exchange ActiveSync. Эти профили предназначены для настройки почтовых сервисов, контактов и т.д. Для безопасной настройки этих профилей необходимо отключить параметр «Allow Move», включить параметр «Use SSL».

LDAP, CalDav, Subscribed Calendars, Contacts. Для обеспечения безопасности, в настройках этих профилей необходимо включить параметр «Use SSL».

Помимо настройки мобильных устройств, путем установки конфигурационных профилей, MDM-продукты выполняют ряд важных, с точки зрения безопасности, функций, таких как возможность удаленной очистки мобильного устройства, при которой происходит сброс к заводским настройкам. Возможность удаленной блокировки/разблокировки мобильного устройства, отслеживание местонахождения мобильного устройства, а также сбор статистических данных с мобильного устройства о входящих/исходящих звонках, СМС, МСС, подключениях к сети Интернет, а также сбор информации о программно-аппаратных характеристиках мобильного устройства.

Использование MDM-продуктов является составной частью обеспечения безопасности конфиденциальной информации при использовании мобильных устройств. Такие системы позволяют обеспечивать контроль над мобильными устройствами, имеющими доступ к корпоративным сервисам организации, и способствуют снижению рисков, связанных с утечкой с данных устройств конфиденциальной информации.

Приведенные выше рекомендации по настройке конфигурационных профилей, разработаны с учетом нормативных документов Российской Федерации и опыта применения и внедрения систем защиты информации для мобильных устройств.

Список литературы

1. Apple, Inc. Deployment Guide, Dec. 2012. http://images.apple.com/ca/education/docs/ios_6_education_deployment_guide.pdf
2. Apple, Inc. iPhone Configuration Utility, 2013. <http://help.apple.com/iosdeployment-ipcu/win/1.2/#>.
3. Apple, Inc. iOS Security, Feb. 2014. http://images.apple.com/ipad/business/docs/iOS_Security_Feb14.pdf

05.23.02

А.А. Дорджиев, А.Г. Дорджиев

Калмыцкий государственный университет, инженерно-технологический факультет,
кафедра промышленного и гражданского строительства,
Элиста, daa821@mail.ru

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

Лессовые грунты в естественном состоянии маловлажные, находятся в твердом состоянии. Малая деформируемость грунтов обусловлена их структурными связями. При увеличении влажности деформируемость грунта увеличивается. Имея графики зависимости между модулем общих деформаций, числом пластичности и влажностью можно сократить объем изысканий и уменьшить затраты на проектирование.

Ключевые слова: *грунты, плотность, опыты, пористость, влажность, суглинок, структура, модуль деформации.*

При воздействии на грунты внешней нагрузки механические свойства их проявляются в сопротивлении сжатию и сдвигу. Внешняя нагрузка, приложенная к массиву грунта, вызывает его уплотнение, при этом происходит уменьшение пористости и увеличение плотности. Это свойство является особенностью грунтов как рыхлых пород (дисперсных тел), в которых твердые минеральные частицы занимают не весь объем, т.е. грунты всегда обладают большей или меньшей пористостью.

При расчете по второму предельному состоянию (по деформациям) надо знать расчетные характеристики сжимаемости грунтов, необходимые при определении ожидаемых осадок фундаментов.

Показатели сжимаемости – коэффициент уплотнения и модуль деформации – определяются на основе испытаний грунтов в полевых и лабораторных условиях. При этом устанавливается зависимость изменения пористости от давления.

Наиболее достоверными считаются зависимости, полученные на основе полевых испытаний грунтов штампами. Однако сложность, трудоемкость и длительность этих испытаний ограничивают их широкое применение в инженерно-геологических изысканиях. Поэтому наибольшее распространение получил лабораторный метод в компрессионных приборах (одометрах), в которых грунт испытывается в условиях невозможности бокового расширения, где деформация сдвига в грунте исключается, или в стабилометрах, где, кроме компрессионной зависимости, фиксируется также коэффициент бокового давления [3].

Известно, что условия компрессионных испытаний полностью не моделируются сжатие грунта в основании сооружений. Однако компрессионные кривые представляют весьма важные характеристики свойств грунта, позволяющие ориентироваться в величине ожидаемых осадок.

Знание достоверной величины модуля общей деформации дает возможность полнее использовать несущую способность грунтов оснований при проектировании, а сокращение полевых экспериментов уменьшит затраты на изыскательские работы, что в общем приведет к значительному экономическому эффекту.

Сжимаемость глинистых грунтов зависит от минералогического состава частиц, слагающих грунт, степени дисперсности, состава обменных катионов, пористости, влажности, а также от состояния грунта и условий сжатия. Значительное влияние на сжимаемость оказывает скорость нарастания нагрузки и размеры ее ступеней [2, 4].

При вычислении компрессионного модуля деформации, использовался постоянный интервал давлений 0,1 – 0,2 МПа, отвечающий средней величине предела пропорциональности зависимости $S = f(P)$; сжимаемость в интервале давлений 0-0,1 МПа

не учитывалась, вследствие погрешностей при компрессионных испытаниях, связанных с некоторым разуплотнением грунта при заполнении им кольца, неровностями поверхностей отобранной пробы, неплотным прилеганием перфорированных прокладок при загрузке кольца в прибор и пр.

Территория г. Элисты [4] сложена лессовыми просадочными грунтами, являющимися основаниями зданий и сооружений и характеризующимися малой влажностью в естественном залегании и большой деформируемостью (просадочностью) при увеличении влажности. Последнее представляет опасность для устойчивости и эксплуатационной пригодности возведенных на них сооружений [1, 2].

В качестве зависимой переменной рассматривалась деформационная характеристика – модуль деформации, а в качестве факторов, оказывающих влияние на зависимую переменную, – физические характеристики: степень влажности, коэффициент пористости и число пластичности.

Обработка экспериментальных данных заключалась в составлении таблиц и затем графиков зависимости модулей деформации от рассматриваемых физических характеристик для различных интервалов плотности и степени влажности, с определением среднеарифметических величин в каждом интервале того или иного показателя. Обработка экспериментальных данных проводилась по способу наименьших квадратов.

Проведенные исследования подтвердили наличие корреляционных связей между модулем деформации грунтов и их физическими характеристиками.

На графиках (рис.) показана зависимость между модулем деформации различных литологических разновидностей суглинков и степенью их влажности. Лессовые грунты в естественном залегании исследуемой территории преимущественно маловлажные, находятся в твердом состоянии $B < 0$, обладают слабой деформируемостью и классифицируются как слабосжимаемые грунты. Малая деформируемость грунтов обусловлена их структурными связями. Составляющие грунт элементарные частицы и агрегаты сцементированы различными солями, придающими породе известную прочность. При малых величинах степени влажности (0,2 – 0,3) грунты обладают высокими модулями деформации (25,0 – 40,0 МПа).

При увеличении влажности неводостойкие связи ослабляются, и деформируемость грунтов резко увеличивается. Так, при степени влажности, равной 0,4 и 0,75 (при $e = 0,75 - 0,80$) модули деформаций грунтов соответственно равны: легких – 20,0 и 6,0 МПа; средних – 25,0 и 8,0 МПа; тяжелых – 33,0 и 11,0 МПа.

Как следует из проведенного сравнительного анализа, модуль деформации лессовых грунтов при их водонасыщении уменьшается в 3 и более раз [1, 2].

Среднее квадратическое отклонение величин при этом соответствует 4,5 – 8,1 МПа, коэффициент вариации – 20 – 44%, а корреляционное отношение – 0,6 – 0,7.

Плотность всех разновидностей суглинков практически находится в одних пределах, а коэффициент пористости преимущественно колеблется в пределах 0,7 – 0,9. В естественном залегании эти грунты маловлажные, твердой консистенции и модуль деформации их в зависимости от плотности при степени влажности 0,2 – 0,4 изменяется резко. При степени влажности более 0,7 грунты претерпевают просадочные деформации и для суглинков всех литологических разновидностей модули деформации количественно почти не отличаются.

Следует заметить, что полученные корреляционные связи между модулем общих деформаций и их основными физическими свойствами позволяют на первых этапах исследований ориентироваться в его величинах, имея физические характеристики грунтов. Это позволяет сократить объем лабораторных испытаний грунтов при изысканиях и приведет к сокращению затрат при проектировании.

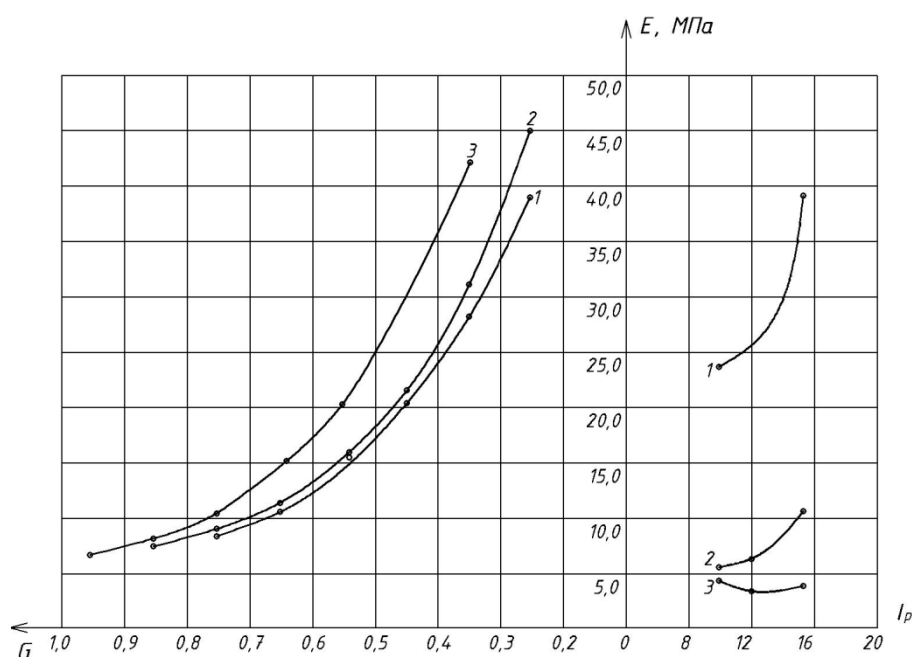


Рис. – Зависимости между модулем деформации, влажностью и числом пластичности просадочных грунтов 1 – суглинки легкие; 2 – суглинки средние; 3 – суглинки тяжелые

Список литературы

1. Борликов Г.М., Дорджиев А.Г. Влажностный режим грунтов основания в результате длительного замачивания. ВНИИС. Библиогр. указат. депон. рукописей. Вып. 3, 1989.
2. Дорджиев А.Г. Инженерно-геологические свойства карбонатосодержащих просадочных грунтов Северо-Западного Прикаспия. Монография. – Элиста: ЗАОр НПП «Джангар», 2006г. – 220с.
3. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений: СП 50-101-2004. - М: Стройиздат, 2005. - 107 с.
4. Харченко В.М., Дорджиев А.Г., Сангаджиев М.М., Дорджиев А.А. Инженерно-геологическое районирование территории Калмыкии. / Монография, Элиста: Изд-во КалмГУ, 2012. – 211с.

05.13.19

А.С. Исаев

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, институт комплексного военного образования, кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз, Санкт-Петербург, a.s.isaev@yandex.ru

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛИ УГРОЗ
БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ ИХ ОБРАБОТКЕ
В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ
ТЕОРИИ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ**

В настоящей работе представлены результаты исследований путей автоматизации процесса формирования модели угроз безопасности персональных данных, при их обработке в информационных системах персональных данных, с учетом методических рекомендаций ФСТЭК России, в рамках создания единой системы автоматизации процессов управления информационной безопасностью на основе теории построения экспертных систем.

Ключевые слова: *информационная безопасность, экспертные системы, модель угроз, персональных данные, защита информации.*

Разработка модели угроз безопасности информации в общем случае, и модели угроз безопасности персональных данных (ПДн) в частном случае, является одной из основополагающих составных частей при построении системы защиты информации (СЗИ) в организации. Согласно документу «Базовая модель угроз безопасности персональных данных, при их обработке в информационных системах персональных данных» [1], модель угроз предоставляет собой систематизированный перечень угроз безопасности ПДн при их обработке в информационных системах. Наличие данных угроз обусловлено возможностью осуществления преднамеренного (и/или случайного) воздействия со стороны нарушителя на защищаемую информацию, в том числе ПДн, в результате которого создаются условия или предпосылки для нарушения безопасности информации, приводящие к ущербу жизненно важных интересов личности, общества или государства. Процесс формирования модели угроз весьма сложен и требует от специалиста высокой квалификации и богатого опыта в сфере ИБ. Основная проблема при разработке модели угроз – постоянно увеличивающееся количество защищаемых активов и расплывчатость общепринятых норм оценки рисков и вероятности реализации угроз. В зависимости от выше перечисленных нюансов, актуальность тех или иных угроз безопасности ПДн в организации может существенно варьироваться со временем, что требует постоянной доработки и пересмотра сформированной модели угроз, однако в связи с устоявшимися рыночными отношениям современного общества, большинство организаций просто не готово выделять ресурсы на осуществление данной деятельности. Согласно федеральному закону №152-ФЗ «О персональных данных» от 27.07.2006 года [4], обеспечение конфиденциальности, целостности и доступности персональных данных является обязательным условием осуществления их обработки. В связи с этим возникает конфликт интересов руководства организации как оператора ПДн и органов государственного контроля и надзора в области обеспечения безопасности, что непременно ведет к ущемлению законных прав и интересов физических лиц, как субъектов ПДн, поэтому вопрос автоматизации процесса формирования модели угроз безопасности ПДн, при их обработке в информационных системах персональных данных (ИСПДн), с учетом требований и рекомендаций действующей нормативно-правовой базы Российской Федерации, является весьма актуальным. Решение проблемы заключается в разработке единой системы автоматизации процессов управления

информационной безопасности, включающую в себя набор эффективных механизмов по централизованному управлению ИБ в организации, систему поддержки принятия решений по ИБ и информационно-аналитическую систему, способную в режиме реального времени отслеживать малейшие изменения в технологических процессах обработки информации и системах её защиты с целью принятия корректирующих и предупреждающих воздействий, для обеспечения требуемого уровня ИБ. Одним из таких механизмов является процесс автоматизированного формирования и своевременной актуализации модели угроз безопасности информации. Для апробации результатов исследования было принято решение взять за основу методические рекомендации [3] и модель угроз ФСТЭК [1].

В ходе проведения исследования было установлено, что подавляющая часть параметров, влияющих на построение модели угроз определяются посредством использования метода экспертной оценки, что делает целесообразным применение теории построения экспертных систем при автоматизации данного процесса [2]. По результатам проведенных исследований, была разработана функциональная схема процесса автоматизации формирования модели угроз, представленная на рисунке 1.



Рис. 1 – Функциональная схема процесса автоматизации формирования модели угроз безопасности персональных данных

Блок определения исходного уровня защищенности предназначен для формирования коэффициента Y_1 , определяющий исходный уровень защищенности ИСПДн. Формирование данного показателя предполагается осуществлять посредством прямого опроса администраторов ИБ организации.

Динамическая база данных содержит перечень необходимой информации о ИСПДн, включая сведения о типах и составе защищаемых активов и средств и механизмов защиты информации, совместно с уникальным перечнем атрибутов и метаданных по каждому конкретному активу и средству защиты информации.

Статическая база данных содержит перечень служебной и справочной информации. В её состав входят:

- информация по каждой из существующих (в рамках модели угроз ФСТЭК) угроз безопасности ПДн, включая:

- объект воздействия;
- источник возникновения угрозы, с привязкой к объекту воздействия;
- уязвимости, характерные для данной угрозы;
- способы реализации уязвимости, характерной для данной угрозы;
- возможное деструктивное воздействие, в случае использования данного способа реализации уязвимости, характерной для данной угрозы.

- условие (совокупность условий) наличия данной угрозы для защищаемого актива (объекта воздействия);

- предпосылка (совокупность предпосылок) реализации угрозы.

Статическая и динамическая БД входят в состав логического блока построения правил взаимодействия сущностей внутри обеих БД и делятся на две составные части:

1. Первичные правила отвечают за взаимодействие и структуризацию описания угроз и их параметров, включая сведения о факторах и способах перекрытия каждой угрозы.

2. Вторичные правила отвечают за взаимодействие между логическими блоками системы и информацией внутри статической и динамической БД, формируя тем самым однозначные условия при описании угрозы, с учетом имеющихся статических и динамических типов данных. Следует отметить, что тип и состав данных для формирования правил были получены в результате опроса экспертов в области ИБ.

Блок определения вероятности реализации угрозы, основываясь на первичных правилах описания угрозы, производит расчет оценки вероятности реализации угрозы для ИСПДн, с использованием метаинформации динамической БД и совокупности условий, предпосылок (реализации угрозы) статической БД, после чего с учетом вторичных правил производит итоговый расчет, формируя в конечном итоге второй ключевой параметр Y_2 , согласно методическим рекомендациям ФСТЭК.

Блок определения степени опасности угрозы производит расчет опасности угрозы, руководствуясь данными статической БД о уязвимостях, способах реализации и деструктивного воздействия (для каждой угрозы) и совокупностью метаинформации о защищаемых активах организации, и передает результаты расчетов в блок оценки актуальности угрозы.

Полученные ранее показатели Y_1 и Y_2 передаются в блок расчета коэффициента реализации угрозы, который рассчитывает показатель Y для каждой угрозы, передавая их в блок оценки актуальности угрозы.

Блок оценки актуальности угрозы, с учетом полученного показателя Y и сведений о степени опасности угрозы принимает решение о актуальности\неактуальности угрозы безопасности ПДн, основываясь на методических рекомендациях ФСТЭК [3], после чего передает полученные в результате работы системы данные в блок документирования результатов, в котором располагаются готовые для заполнения шаблоны модели угроз. Одним из режимов работы блока документирования результатов, является режим экспертного объяснения, данный режим позволяет:

- объяснить причины принятых решений по каждой из угроз;
- формировать новые (изменить\отредактировать) вторичные правила;
- внести изменения в ручном режиме в полученную модель угроз, в случае несогласия с решениями системы;
- расширить количество факторов, предпосылок и условий, влияющих на реализацию угрозы.

В заключении хотелось бы отметить, что предложенный метод автоматизации процесса формирования модели угроз существенно снижает затраты при обеспечении ИБ в организации, позволяет практически полностью исключить человеческий фактор (и связанные с ним ошибки) при формировании модели угроз и её пересмотре, а также существенно увеличивает эффективность СЗИ, что позволяет сделать вывод о целесообразности применения результатов исследования при обеспечении ИБ в организациях различной величины и рода деятельности.

Список литературы

1. «Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных», утвержден ФСТЭК России 15.02.2008 г.
2. Джозеф Джарратано, Гари Райли «Экспертные системы: принципы разработки и программирование»: Пер. с англ. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. — 1152 с.
3. «Методика определения актуальных угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных», утвержден ФСТЭК России 14.02.2008 г.
4. Федеральный закон от 27.07.2006 N 152-ФЗ (ред. от 23.07.2013) "О персональных данных".

05.20.03

Н.С. Киреева, В.А. Голубев, О.М. Каняева

ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина», инженерный факультет, кафедра технической механики, Ульяновск, Kireeva.23@mail.ru

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАПСОВОГО БИОТОПЛИВА, В КАЧЕСТВЕ МОТОРНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ, ПО ЕГО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

В работе представлено обоснование потребности замены традиционных видов топлива на альтернативные. Рассмотрен состав рапсового масла, биотоплива МЭРМ и смесевых топлив, сравнены их физико-химические свойства. Дана оценка возможности их использования в качестве моторных топлив для дизелей.

Ключевые слова: *рапс, биотопливо, МЭРМ, биотопливные композиции.*

В последнее время в России начал резко возрастать интерес к вопросам производства и потребления экологически чистых моторных топлив, получаемых на основе возобновляемого биологического сырья. Это связано, прежде всего, с постепенным истощением нефтяных месторождений и ужесточением экологических ограничений, накладываемых на состав выхлопных газов. Поэтому вопросы, касающиеся развития альтернативных видов топлив, выглядят более чем актуальными.

Одно из наиболее перспективных направлений в этой области является получение топлив из возобновляемых ресурсов растительного происхождения, сырьевые запасы которых практически неисчерпаемы. В первую очередь, это биотопливо, производимое из растительных масел, и в частности, из рапсового масла [1].

Рапс – однолетнее травянистое растение. Он отличается неплохой урожайностью, высокой масличностью семян и является хорошим предшественником для зерновых культур.

Со 100 га посевов рапса сорта «Ратник» можно получить 150 т семян. При средней масличности семян 30% будет получено около 50 т рапсового масла и 4,5 т глицерина и 24 тонны шрота. Глубина реакции с метанолом составляет около 90%, следовательно, с указанной площади посевов можно получить около 45 т биотоплива МЭРМ [2].

Получаемый при отжиме рапсового масла шрот, является ценным кормом для животных, а глицерин широко используется в косметологии.

Как и другие растительные масла, рапсовое масло представляет собой смесь моно-, ди- и триацилглицеридов. Реакционная способность глицеридов обусловлена наличием в них углеводородных радикалов жирных кислот и эфирных групп [3].

Однако, как показывают исследования, процентный состав кислот, входящих в рапсовое масло, может значительно различаться в зависимости от сорта растений, зоны возделывания и других факторов. Проведенные хроматографические исследования позволили определить процентный состав жирных кислот в двух пробах рапсового масла: 1 проба – сорт «Ратник» 2006г. 2 проба – сорт «Ратник» 2007г [1]. Результаты этих исследований, приведенных в таблице 1, показывают, что даже для одного сорта рапса содержание кислот в рапсовом масле зависит от года его возделывания, природно-климатических факторов и др.

Применение растительных масел в чистом виде в качестве топлива ограничено в связи с повышенным нагарообразованием – отложением кокса на распылителях форсунок и других деталях камеры сгорания, а также с повышенной вязкостью по сравнению с минеральным дизельным топливом. Поэтому наибольшее распространение, среди топлив растительного происхождения, получил приготовленный на основе рапсового масла, метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ).

Таблица 1- Состав рапсового масла

Наименование кислоты	Содержание жирных кислот в различных пробах рапсового масла, %	
	«Ратник» 2006 г.	«Ратник» 2007 г.
Миристиновая	0,053	0,054
Пентадекановая	0,009	0,009
Пальмитиновая	3,835	3,555
Пальмитоолеиновая	0,205	0,041
Стеариновая	1,800	1,812
Олеиновая	59,652	54,012
Линолевая	20,366	18,889
У-Линоленовая	0,069	0,242
А-Линоленовая	9,530	8,975
Арахидиновая	0,684	0,845
Годоиновая	1,434	1,633
Эйкозеновая	0,033	0,147
Арахидоновая	0,008	0,050
Бегеновая	0,325	0,074
Эруковая	0,015	0,035
Доказадиеиновая	0,010	0,112
Декозатриеновая	0,140	0,164
Лигноцериновая	0,171	0,153

Таблица 2- Плотность жирных кислот и метиловых эфиров рапсового масла при 75⁰С.

Число атомов углерода С в кислоте	Плотность, кг/м ³	
	Кислота	метиловый эфир
C ₁₀	858,3	827,1
C ₁₂	851,6	825,9
C ₁₄	848,1	825,2
C ₁₆	874,6	824,7
C ₁₈	843,1	824,4

Для получения метиловых эфиров жирных кислот рапсовое масло подвергают процессу переэтерификации. Необходимость переэтерификации рапсового масла продиктована тем, что метиловые эфиры жирных кислот имеют меньшую плотность (на 3–4 %) и вязкость (в 3–6 раз), что делает их пригодными для использования в качестве топлива для дизелей, как в чистом виде, так и в смеси с традиционным дизельным топливом [3].

Сравнение показателей вязкости и плотности некоторых жирных кислот и их метиловых эфиров представлено в таблицах 2 и 3.

Таблица 4- Вязкость жирных кислот и метиловых эфиров рапсового масла при 75⁰С.

Жирная кислота	Вязкость, 10 ⁴ Па·с	
	Кислота	метиловый эфир
Лауриновая	38,36	11,31
Миристиновая	50,60	15,28
Пальмитиновая	70,82	-
Стеариновая	90,40	23,60
Олеиновая	94,10	26,20

Следует отметить, что МЭРМ и дизельное топливо хорошо смешиваются в любых пропорциях и образуют стабильные смеси, свойства которых несколько отличаются от свойств дизельного топлива.

Таблица 4- Протокол исследования проб (смесь: МЭРМ + ДТ марки Л-0,2-62) ГОСТ 305-82 с изменениями № 1-5

№	Вид топлива	Наименование показателя		
		Плотность, кг/м ³ , ГОСТ 51069, норма н/б 840	Вязкость кинематическая, мм ² /с, ГОСТ 33, норма 1,8-5,0	Температура вспышки в закрытом тигле, °С, ГОСТ 6356, норма н/м 35
1.	100% ДТ	826	4,20	47
2.	25%ДТ+75%МЭРМ	846	4,78	77
3.	50%ДТ+50%МЭРМ	857	5,77	85
4.	75%ДТ+25%МЭРМ	869	6,58	91
5.	100% МЭРМ	880	7,96	172

В таблице 4 приведены некоторые физико-химические свойства товарного дизельного топлива (ДТ), МЭРМ и смесей этих топлив (биотопливных композиций) в пропорциях: 25% МЭРМ + 75% ДТ, 50% МЭРМ + 50% ДТ, 75% МЭРМ + 25% ДТ (Анализ проб проводился в аккредитованной лаборатории НИИАР г. Димитровграда).

Следует отметить, что физические свойства исследуемых смесей топлива незначительно отличаются от аналогичных свойств товарного дизельного топлива.

Для определения молекулярного состава биотоплива МЭРМ и его низшей теплоты сгорания необходимы следующие исходные данные: число атомов углерода, водорода и кислорода в молекуле каждой кислоты, молекулярная масса кислот и их метиловых эфиров, которые были определены расчетным путем, а также процентное содержание каждой кислоты в исходном рапсовом масле и метиловых эфиров в биотопливе, определенное путем хроматографирования.

По данным хроматографического анализа в биотопливе содержится 0,508% моноглицеридов, 0,103% диглицеридов, 0,0015% триглицеридов высших жирных алифатических кислот; 0,007% глицерина, 0,0005% воды и $12,76 \cdot 10^{-6}$ % механических примесей.

Содержанием механических примесей можно пренебречь, сумма же оставшихся примесей составит 0,62%. Оставшиеся 99,38% приходятся на метиловые эфиры высших алифатических кислот.

Таблица 5- Элементарный состав и низшая теплота сгорания исследуемых топлив

Вид топлива	Элементарный состав			Н _д , МДж/кг
	С	Н	О	
100% ДТ	0,87	0,126	0,004	42,437
100% биотоплива	0,7681	0,1226	0,1093	37,561
25% биотоплива + 75% ДТ	0,8445	0,1252	0,0303	41,289
50% биотоплива + 50% ДТ	0,8191	0,1243	0,0566	40,042
75% биотоплива + 25% ДТ	0,7936	0,1235	0,0829	38,790

Процентное содержание метиловых эфиров высших алифатических кислот в биотопливе будет пропорционально содержанию кислот, если учесть наличие 0,62% вышеперечисленных примесей.

Результаты расчетов молекулярного состава и низшей теплоты сгорания приведены в таблице 5.

Выполненные исследования показывают, что физико-химические свойства смесевых топлив и биотоплива МЭРМ близки к свойствам минерального дизельного топлива, причем с увеличением доли МЭРМ в биотопливной композиции наблюдается незначительное увеличение расхождения показателей. Это позволяет сделать вывод о возможности использования биотопливных композиций, в качестве дизельного топлива, без

конструктивной адаптации серийно выпускаемого дизеля. Наиболее близкой, к составу дизельного топлива, является биотопливная композиция 25% МЭРМ + 75% ДТ.

Список литературы

1. Уханов, А.П. Рапсовое биотопливо – альтернатива нефтяному моторному топливу / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, В.А. Рачкин, Н.С. Киреева // *Нива Поволжья*. – 2007. – № 2(3). – С. 37-40.
2. Уханов, А.П. Есть ли альтернатива минеральному дизельному топливу? / А.П.Уханов, В.А. Рачкин, Д.А. Уханов, Н.С. Киреева, В.А. Иванов // *Сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф.* – Пенза: РИО ПГСХА. - 2008. – С. 177-178.
3. *Химия жиров.* / Б.Н. Тютюнников, З.И. Бухштаб, Ф.Ф. Гладкий и др. – М.: 3-е изд., перераб. и доп.// Колос. - 1992. – 448 с.

05.13.06

Ю.П. Кирин, С.Л. Краев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Березниковский филиал, klu2010@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИЕЙ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

В статье изложена методология структурной и параметрической идентификации моделей динамики процесса вакуумной сепарации губчатого титана для целей оптимального управления процессом. Методология основана на исследовании автоколебаний в двухпозиционной системе регулирования температуры вакуумной сепарации.

Ключевые слова: вакуумная сепарация, модели динамики, автоколебания, структурная и параметрическая идентификация, оптимальное.

Процессы восстановления тетрахлорида титана магнием и последующей вакуумной сепарации составляют основу промышленного производства губчатого титана. Цель вакуумной сепарации состоит в очистке титановой губки от примесей магния и хлорида магния. Процесс основан на значительной разнице равновесного давления паров магния, хлорида магния и титана. Полученную после процесса восстановления реакционную массу (блок губчатого титана, пропитанный магнием и хлоридом магния) нагревают в герметичном аппарате, в котором создают вакуум. При этом магний и хлорид магния, имеющие достаточно высокое давление паров, испаряются и конденсируются в специальном устройстве – конденсаторе. Процесс проводят в аппаратах периодического действия. Промышленный аппарат сепарации имеет три и более зон нагрева. При существующем аппаратном оформлении исполнительными механизмами служат релейные элементы – электромеханические контакторы с двумя рабочими положениями «включено – выключено». Это обстоятельство предопределило двухпозиционный принцип регулирования температуры зон нагрева аппарата сепарации. Обычно используются многоканальные двухпозиционные регуляторы. Система многоканального двухпозиционного регулирования температуры зон нагрева аппарата работает в автоколебательном режиме. Вакуумная сепарация – лимитирующая стадия, наиболее энергоемкий и малопроизводительный процесс всей технологической схемы производства губчатого титана [1].

Построение моделей динамики является одним из основных этапов синтеза оптимальных систем управления, повышающих эффективность функционирования процесса вакуумной сепарации губчатого титана. Основное назначение оптимальных систем управления – обеспечение воспроизводства и интенсификации технологических режимов вакуумной сепарации за счет улучшения качества управления температурой процесса [2].

Задача математического описания динамики процесса вакуумной сепарации состоит в установлении математических соотношений между входными и выходными переменными зон нагрева аппарата сепарации – структурная идентификация моделей динамики и в определении по результатам измерений входных и выходных переменных неизвестных коэффициентов полученных математических соотношений – параметрическая идентификация моделей динамики зон нагрева [3,4]. Такие модели не вскрывают особенностей физических и химических процессов, протекающих в аппарате сепарации. Однако получаемая с их помощью связь образует совокупность тех сведений о динамических свойствах процесса сепарации, которая достаточна для разработки оптимальных систем управления процессом.

Приняты следующие допущения:

- зоны нагрева аппарата сепарации являются несвязанными друг с другом нестационарными объектами управления;
- каждая зона нагрева рассматривается на интервале идентификации (в течение периода автоколебаний температуры) как квазистационарный объект управления.

Построение моделей динамики вакуумной сепарации осуществляется экспериментальным методом. Структурная и параметрическая идентификация моделей динамики основывается на исследовании автоколебаний в системе многоканального двухпозиционного регулирования температуры зон нагрева аппарата сепарации, измеренных на интервале идентификации в процессе нормального функционирования системы.

С учетом принятых допущений система управления аппаратом вакуумной сепарации с многозонным нагревом реакционной массы состоит из ряда типовых двухпозиционных систем регулирования температуры зон нагрева. В состав каждой такой системы регулирования входит обобщенный нестационарный объект управления (ОНОУ), на вход которого воздействует неконтролируемое возмущение $z(t)$, и МДР – многоканальный двухпозиционный регулятор (рис. 1) [3].

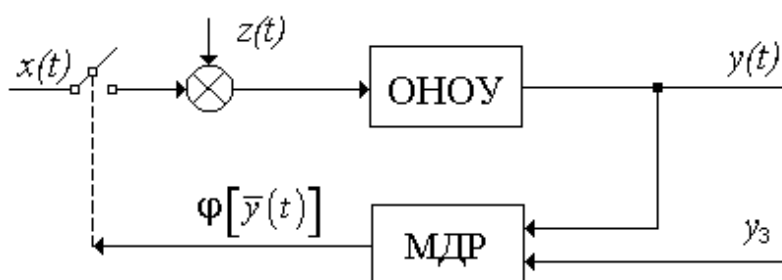


Рис.1. Типовая структурная схема двухпозиционного регулирования температуры зоны нагрева аппарата сепарации

Под ОНОУ подразумевают зону нагрева аппарата сепарации; под $z(t)$ – изменение тепла, потребляемого зоной нагрева на испарение из титановой губки примесей магния и хлорида магния. МДР включением и выключением входной величины $x(t)$ (мощности нагрева зоны) поддерживает выходную величину $y(t)$ (температуру) ОНОУ на заданном уровне y_3 в соответствии с алгоритмом:

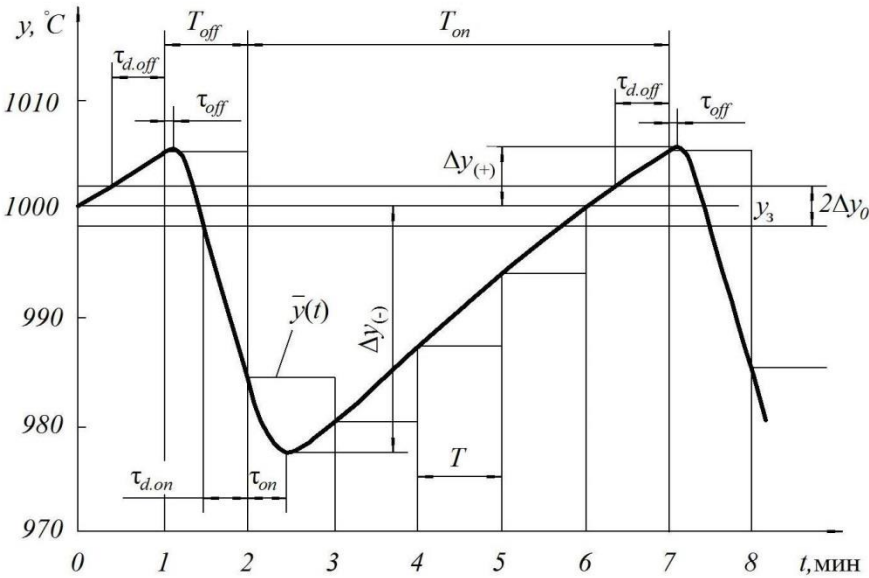
$$\varphi[\bar{y}(t)] = \begin{cases} x(t) & \text{при } \bar{y}(t) < y_3 - \Delta y_0 \text{ и} \\ y_3 - \Delta y_0 \leq \bar{y}(t) \leq y_3 + \Delta y_0, y'(t) > 0; \\ 0 & \text{при } \bar{y}(t) > y_3 + \Delta y_0 \text{ и} \\ y_3 - \Delta y_0 \leq \bar{y}(t) \leq y_3 + \Delta y_0, y'(t) < 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$\bar{y}(t) = y(\gamma T) \text{ при } \gamma T \leq t < (\gamma + 1) \cdot T, (\gamma = 1, 2, \dots),$$

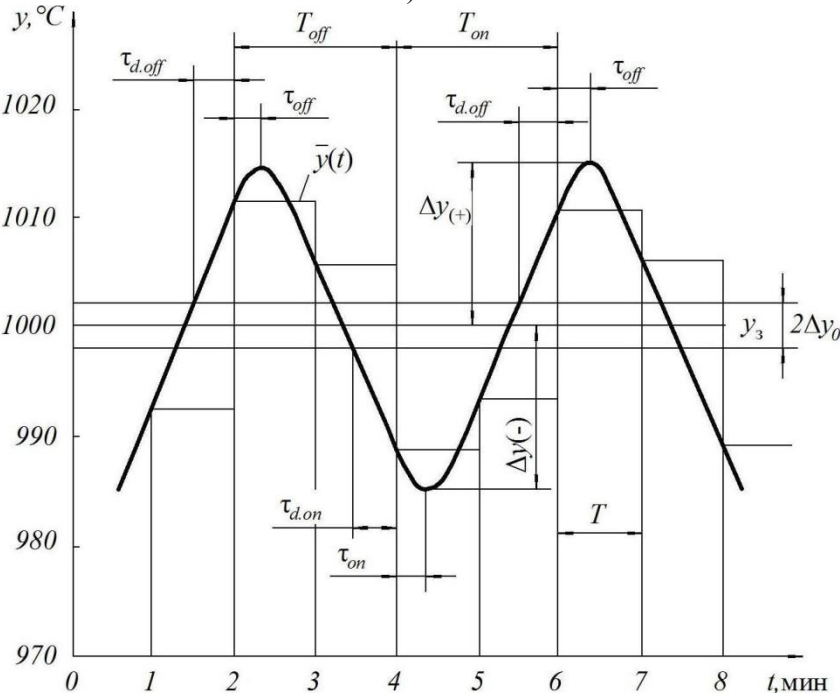
где $\bar{y}(t)$ – квантованная по времени выходная величина ОНОУ; $\varphi[\bar{y}(t)]$ – выходная величина МДР; $2\Delta y_0$ – зона нечувствительности МДР; $y'(t)$ – скорость изменения выходной величины; T – интервал квантования по времени.

Таким образом, при включении $x(t)$ на входе ОНОУ действует разность $x(t) - z(t)$, при выключении $x(t)$ поведение ОНОУ определяется возмущающим воздействием $z(t)$. Система регулирования температуры при этом работает в режиме автоколебаний.

Процессы регулирования температуры в каждой типовой системе подчиняется одним и тем же закономерностям (рис.2). Поэтому в статье приведены результаты исследований автоколебаний в одной типовой системе регулирования температуры, которые обобщены на другие системы [4,5].



а)



б)

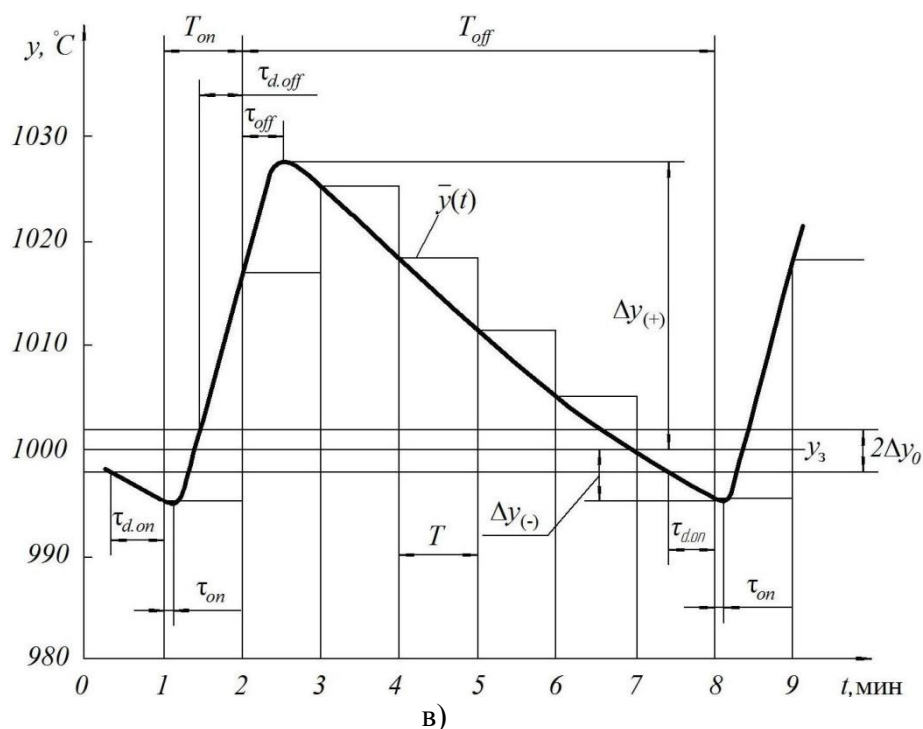


Рис. 2. Автоколебания температуры на интервале идентификации ОНОУ в начале (а), в середине (б) и в конце (в) процесса сепарации титана:

$\Delta y_{(+)}$, $\Delta y_{(-)}$ – соответственно амплитуды положительного и отрицательного отклонений выходной величины от y_3 ; T_{on} , T_{off} – время включения и выключения входной величины; τ_{on} , τ_{off} – время запаздывания ОНОУ при включении и выключении входной величины; $\tau_{d.on}$, $\tau_{d.off}$ – дополнительное время запаздывания МДР при включении и выключении входной величины.

В табл. 1 приведены экспериментальные данные параметров автоколебаний температуры, измеренных в ходе процесса сепарации.

Таблица 1

Автоколебания температуры на интервале идентификации ОНОУ

№ измерения	Значения параметров автоколебаний							
	$\Delta y_{(+)}, ^\circ\text{C}$	$\Delta y_{(-)}, ^\circ\text{C}$	$T_{on}, \text{с}$	$T_{off}, \text{с}$	$\tau_{on}, \text{с}$	$\tau_{off}, \text{с}$	$\tau_{d.on}, \text{с}$	$\tau_{d.off}, \text{с}$
1	5,5	22,5	300	60	25,9	8,9	29,6	34,4
2	7,1	18,1	240	60	23,5	12,2	21,8	42,4
3	9,9	12,3	180	60	20,8	14,5	9,3	54,5
4	13,1	13,1	120	120	18,0	18,0	35,2	35,2
5	13,6	8,8	60	180	15,6	21,1	41,0	13,8
6	16,7	8,7	60	240	12,1	22,8	47,9	20,2
7	21,7	5,9	60	300	10,3	25,8	33,2	29,6
8	24,2	4,9	60	360	8,2	27,1	35,6	33,3

В результате экспериментальных исследований установлены следующие особенности регулирования температуры вакуумной сепарации:

- рабочие режимы регулирования температуры зон нагрева – сложные автоколебательные процессы, характеризующиеся асимметрией автоколебаний и остаточной неравномерностью;
- параметры автоколебаний температуры в зонах нагрева изменяются в ходе процесса сепарации;

- зоны нагрева имеют переменную величину времени запаздывания;
- низкое быстродействие МДР вносит дополнительное переменное запаздывание в процесс регулирования температуры.

На основании полученных экспериментальных данных высказана гипотеза о том, что для оценки динамических свойств реального ОНОУ его можно представить нестационарными объектами без самовывравнивания и с самовывравниванием, описываемыми соответствующими дифференциальными уравнениями с переменными коэффициентами [4]:

$$\frac{d[y(t)]}{dt} = K_0(t) \cdot \{x[t - \tau(t)] - z(t)\}; \quad (2)$$

$$T_0(t) \cdot \frac{d[y(t)]}{dt} + y(t) = K_0(t) \cdot \{x[t - \tau(t)] - z(t)\}, \quad (3)$$

где $K_0(t)$ – коэффициент усиления объектов; $T_0(t)$ – постоянная времени объекта с самовывравниванием; $\tau(t)$ – время запаздывания объектов.

Таким образом, считаем, что априорно известна структура ОНОУ, представленная дифференциальными уравнениями (2), (3).

При этом нестационарность обусловлена тем, что коэффициенты $K_0(t)$, $T_0(t)$, $z(t)$, $\tau(t)$ дифференциальных уравнений (2), (3) являются некоторыми неизвестными функциями времени.

Задача параметрической идентификации состоит в определении неизвестных коэффициентов дифференциальных уравнений. Для решения этой задачи получены аналитические выражения, описывающие автоколебания в системе многоканального двухпозиционного регулирования температуры [3].

Полагаем, что на интервале идентификации динамические свойства ОНОУ остаются постоянными, т.е. $K_0(t) = \text{const}$, $T_0(t) = \text{const}$, $z(t) = \text{const}$, $\tau(t) = \text{const}$. В этом случае автоколебания температуры описываются системами конечных уравнений, устанавливающими взаимосвязь параметров автоколебаний с искомыми коэффициентами дифференциальных уравнений для ОНОУ без самовывравнивания

$$\Delta y_{(+)} = \Delta y_0 + (\tau_{\text{off}} + \tau_{d.\text{off}}) \cdot K_0 \cdot (x - z); \quad (4)$$

$$\Delta y_{(-)} = \Delta y_0 + (\tau_{\text{on}} + \tau_{d.\text{on}}) \cdot K_0 \cdot \psi; \quad (5)$$

$$T_{\text{on}} = \tau_{\text{on}} + \tau_{d.\text{off}} + \frac{2\Delta y_0 + (\tau_{\text{on}} + \tau_{d.\text{on}}) \cdot K_0 \cdot \psi}{K_0 \cdot \psi(x - z)}; \quad (6)$$

$$T_{\text{off}} = \tau_{\text{off}} + \tau_{d.\text{on}} + \frac{2\Delta y_0 + (\tau_{\text{off}} + \tau_{d.\text{off}}) \cdot K_0 \cdot \psi(x - z)}{K_0 \cdot \psi} \quad (7)$$

и для ОНОУ с самовывравниванием

$$\Delta y_{(+)} = K_0 \cdot (x - z) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_{\text{off}} + \tau_{d.\text{off}}}{T_0}\right) \right] + \Delta y_0 \cdot \exp\left(-\frac{\tau_{\text{off}} + \tau_{d.\text{off}}}{T_0}\right); \quad (8)$$

$$\Delta y_{(-)} = K_0 \cdot z \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_{\text{on}} + \tau_{d.\text{on}}}{T_0}\right) \right] + \Delta y_0 \cdot \exp\left(-\frac{\tau_{\text{on}} + \tau_{d.\text{on}}}{T_0}\right); \quad (9)$$

$$T_{\text{on}} = \tau_{\text{on}} + \tau_{d.\text{off}} + T_0 \cdot \ln \frac{K_0 \cdot x - (K_0 \cdot z - \Delta y_0) \cdot \exp\left(-\frac{\tau_{\text{on}} + \tau_{d.\text{on}}}{T_0}\right)}{K_0 \cdot (x - z) - \Delta y_0}; \quad (10)$$

$$T_{off} = \tau_{off} + \tau_{d.on} + T_0 \cdot \ln \frac{K_0 \cdot x - [K_0 \cdot (x - z) - \Delta y_0] \cdot \exp\left(-\frac{\tau_{off} + \tau_{d.off}}{T_0}\right)}{K_0 \cdot z - \Delta y_0}. \quad (11)$$

При известных x , Δy_0 ($x = 130$ кВт, $\Delta y_0 = 2^\circ\text{C}$) задача параметрической идентификации ОНОУ без самовыравнивания сводится к определению по соотношениям (4)–(7) и экспериментальным данным автоколебательного процесса (см. табл. 1) неизвестных коэффициентов K_0 , z дифференциального уравнения (2), а задача идентификации ОНОУ с самовыравниванием – к определению по соотношениям (8)–(11) и экспериментальным данным неизвестных коэффициентов K_0 , T_0 , z дифференциального уравнения (3).

Заметим, что системы (4) – (7), (8) – (11) являются переопределенными (на четыре уравнения (4) – (7) – два неизвестных, на четыре уравнения (8) – (11) – три неизвестных). В данном случае искомые коэффициенты найдены следующим способом, позволяющим получить приемлемую для практики точность идентификации. Из системы (4) – (7) выбраны третье и четвертое уравнения, из системы (8) – (11) – второе, третье и четвертое уравнения, из которых определены соответственно K_0 , z ОНОУ без самовыравнивания и K_0 , T_0 , z ОНОУ с самовыравниванием. При этом в отброшенных уравнениях выполнены оценки величин «невязок» и вычислены значения относительных погрешностей идентификации, которые для указанных объектов не превышают соответственно 8 и 5%. Результаты решения задачи параметрической идентификации ОНОУ приведены в табл. 2 [4,6].

В работе [7] задача параметрической идентификации ОНОУ решена применением метода пошаговой многомерной оптимизации. Полученные в этой работе результаты идентификации ОНОУ оказались достаточно близкими результатам, приведенным в табл. 2. Таким образом, можно считать, что предложенные модели адекватно описывают динамику реального ОНОУ.

Таблица 2

Результаты идентификации ОНОУ

№ измерения	ОНОУ без самовыравнивания		ОНОУ с самовыравниванием		
	$K_0 \cdot 10^{-3}$, $^\circ\text{C}/\text{с} \cdot \text{кВт}$	z , кВт	K_0 , $^\circ\text{C}/\text{кВт}$	T_0 , с	z , кВт
1	3,427	102,538	2,43	708,27	105,51
2	3,311	99,020	2,48	722,27	100,94
3	3,625	93,736	2,57	749,47	94,29
4	3,421	65,000	2,52	750,16	65,00
5	3,703	36,242	2,62	728,54	34,64
6	3,585	31,922	2,57	745,36	29,49
7	3,583	27,989	2,62	743,67	24,42
8	3,218	23,700	2,58	740,20	21,36

Как видно из табл. 2, динамические параметры K_0 , T_0 ОНОУ изменяются в ходе процесса незначительно. Существенно изменяется (снижается) возмущающее воздействие z (рис.3).

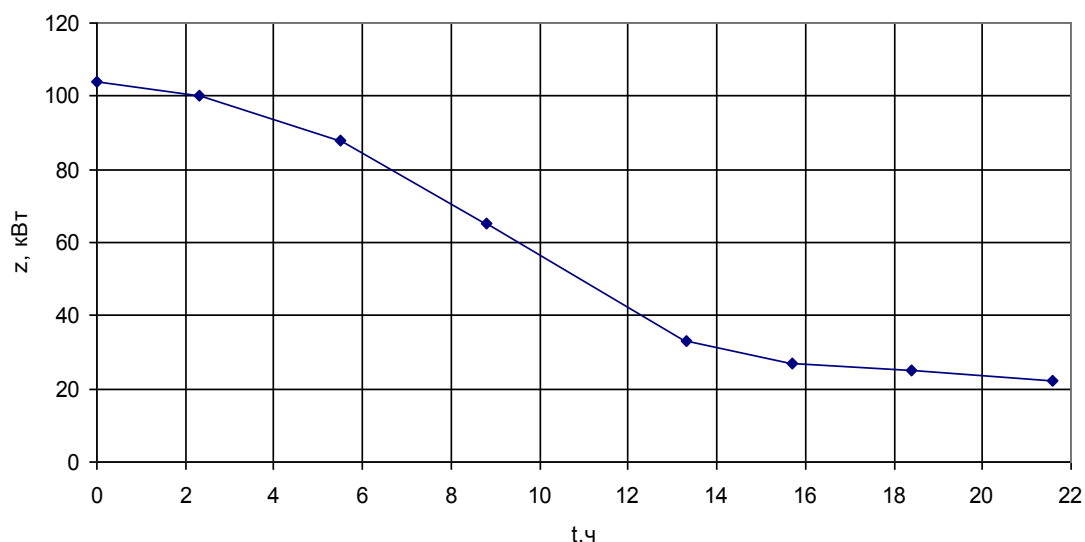


Рис.3 Изменение тепла, потребляемого ОНОУ на испарение из титановой губки примесей магния и хлорида магния: t – время процесса сепарации

С применением моделей динамики разработан класс оптимальных систем управления температурным режимом вакуумной сепарации:

- комбинированная система управления с корректирующим сигналом на входе регулятора;
- комбинированная система управления с корректирующим сигналом на входе объекта;
- адаптивная система управления;
- импульсная система управления.

Внедрение оптимальных систем управления позволило сократить продолжительность процесса сепарации и снизить энергозатраты.

Список литературы

1. Тарасов А.В. Металлургия титана. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 328 с.
2. Кирин Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф., Бильфельд Н.В. Синтез и анализ оптимального позиционного управления технологическими процессами производства губчатого титана. // Автоматизация и современные технологии. – 2010 – № 9. – С. 18 – 21.
3. Кирин Ю.П. Методы расчета параметров многоканального двухпозиционного регулирования температуры процесса вакуумной сепарации губчатого титана // Наука в решении проблем Верхнекамского промышленного региона: сб. науч. тр. – Березники: БФ ПГТУ. – 1998. – Вып. 1. – С.116 – 122.
4. Кирин Ю.П. Идентификация аппарата вакуумной сепарации губчатого титана как объекта управления температурой. Там же. – С.123 – 127.
5. Кирин Ю.П. Экспериментальные исследования динамики позиционного управления технологическими процессами производства губчатого титана // Наука в решении проблем Верхнекамского промышленного региона: сб. науч. тр. – Березники: БФ ПГТУ. – 2010. – Вып. 7. – С. 266 – 273.
6. Кирин Ю.П., Краев С.Л., Шуколюкова К.А. Идентификация объектов в позиционных системах регулирования с использованием MathCAD // Наука в решении проблем Верхнекамского промышленного региона: сб. науч. тр. –Березники: БФ ПГТУ. –2007. – Вып. 6. – С. 257 – 261.
7. Кирин Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф., Краев С.Л. Идентификация технологических процессов производства губчатого титана // Проблемы управления. – 2008. – №4. – С. 71–77.

05.13.06

Ю.П. Кирин, С.Л. Краев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Березниковский филиал, klu2010@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ СИНТЕЗА СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИЕЙ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

В статье изложена методология структурной и параметрической идентификации моделей динамики процесса вакуумной сепарации губчатого титана для целей ситуационного управления процессом. Методология основана на исследовании автоколебаний в двухпозиционной системе регулирования температуры вакуумной сепарации.

Ключевые слова: вакуумная сепарация, модели динамики, автоколебания, структурная и параметрическая идентификация, ситуационное управление.

В работе [1] изложена методология построения моделей динамики для целей оптимального управления процессом вакуумной сепарации губчатого титана. Указанные модели динамики могут быть преобразованы и использованы для создания математического описания ситуаций функционирования вакуумной сепарации, необходимого для ситуационного управления процессом. В настоящей статье рассматривается методология построения моделей динамики, предназначенных для разработки системы ситуационного управления вакуумной сепарацией.

Совершенствование производства губчатого титана предполагает обязательное участие технолога – лица, принимающего решения (ЛПР) в управлении вакуумной сепарацией. Ситуационное управление обеспечивает поддержку принимаемых ЛПР решений и повышает эффективность управления процессом сепарации [2]. Исходным этапом синтеза ситуационного управления является построение моделей динамики, описывающих ситуации функционирования (СФ) – стадии вакуумной сепарации. Для этого используют ранее рассмотренные модели динамики [1] в которых СФ вакуумной сепарации отслеживают по изменению возмущения $z(t)$, характеризующего потребляемое тепло на испарение из титановой губки примесей магния и хлорида магния. Для вакуумной сепарации как эндотермического процесса потребление тепла отражает совокупность всех физико-химических явлений и служит обобщенным показателем испарения примесей из титановой губки [3]. Потребляемое тепло максимально в начале сепарации, когда из титановой губки испаряется основное количество примесей магния и хлорида магния. По мере отгонки примесей в конденсатор потребляемое тепло постепенно снижается и становится минимальным в конце процесса, когда из титановой губки испаряется незначительное количество оставшихся примесей. Таким образом, изменение потребляемого тепла $z(t)$ образует СФ вакуумной сепарации. Построение моделей динамики основывается на идентификации возмущения $z(t)$ по результатам измерений автоколебаний в двухпозиционной системе регулирования температуры сепарации. Полученная информация используется ЛПР для управления процессом вакуумной сепарации.

Для описания СФ достаточно в рассмотренных моделях динамики использовать усредненные на интервале функционирования процесса вакуумной сепарации значения динамических параметров $K_0(t)$, $T_0(t)$, $\tau(t)$. Методика определения этих параметров заключается в следующем [4].

Из данных табл.1, табл.2 [1] определены средние арифметические значения $\bar{\tau}_{on} = 16,8$ с и $\bar{\tau}_{off} = 18,8$ с, а также – среднее арифметическое значение $\bar{K}_0 = 3,484 \times 10^{-3}$ °C/с·кВт ОНОУ без самовыравнивания и средние арифметические значения $\bar{K}_0 = 2,54$ °C/кВт, $\bar{T}_0 = 735,99$ с ОНОУ с самовыравниванием. Полагаем, что в уравнениях моделей динамики $\tau(t) = \bar{\tau}_{on} = \bar{\tau}_{off} = \tau = \text{const}$, в уравнении $K_0(t) = \bar{K}_0 = K_0 = \text{const}$, $T_0(t) = \bar{T}_0 = T_0 = \text{const}$. Тогда с учетом принятых допущений структуры моделей динамики, описывающие СФ вакуумной сепарации, могут быть представлены в следующем виде [5]:

$$\frac{d[y(t)]}{dt} = K_0 \cdot [x(t - \tau) - z(t)]; \quad (1)$$

$$T_0 \cdot \frac{d[y(t)]}{dt} + y(t) = K_0 \cdot [x(t - \tau) - z(t)], \quad (2)$$

где K_0 , T_0 , τ , x – известные постоянные величины.

В уравнениях (1), (2) $z(t)$ является некоторой неизвестной функцией времени. Задача параметрической идентификации заключается в определении переменной $z(t)$.

Автоколебательные режимы описываются следующими системами конечных уравнений, устанавливающими взаимосвязь параметров автоколебаний с переменной $z(t)$ дифференциальных уравнений (1),(2) для ОНОУ без самовыравнивания

$$\Delta y_{(+)}(z) = \Delta y_0 + \tau \cdot K_0 \cdot [x - z(t)]; \quad (3)$$

$$\Delta y_{(-)}(z) = \Delta y_0 + \tau \cdot K_0 \cdot z(t); \quad (4)$$

$$T_{on}(z) = \tau + \frac{2\Delta y_0 + \tau \cdot K_0 \cdot z(t)}{K_0 \cdot [x - z(t)]}; \quad (5)$$

$$T_{off}(z) = \tau + \frac{2\Delta y_0 + \tau \cdot K_0 \cdot [x - z(t)]}{K_0 \cdot z(t)} \quad (6)$$

и для ОНОУ с самовыравниванием

$$\Delta y_{(+)}(z) = K_0 \cdot [x - z(t)] \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau}{T_0}\right) \right] + \Delta y_0 \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{T_0}\right); \quad (7)$$

$$\Delta y_{(-)}(z) = K_0 \cdot z(t) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau}{T_0}\right) \right] + \Delta y_0 \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{T_0}\right); \quad (8)$$

$$T_{on}(z) = \tau + T_0 \cdot \ln \frac{K_0 \cdot x - [K_0 \cdot z(t) - \Delta y_0] \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{T_0}\right)}{K_0 \cdot [x - z(t)] - \Delta y_0}; \quad (9)$$

$$T_{off}(z) = \tau + T_0 \cdot \ln \frac{K_0 \cdot x - \{K_0 \cdot [x - z(t)] - \Delta y_0\} \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{T_0}\right)}{K_0 \cdot z(t) - \Delta y_0}. \quad (10)$$

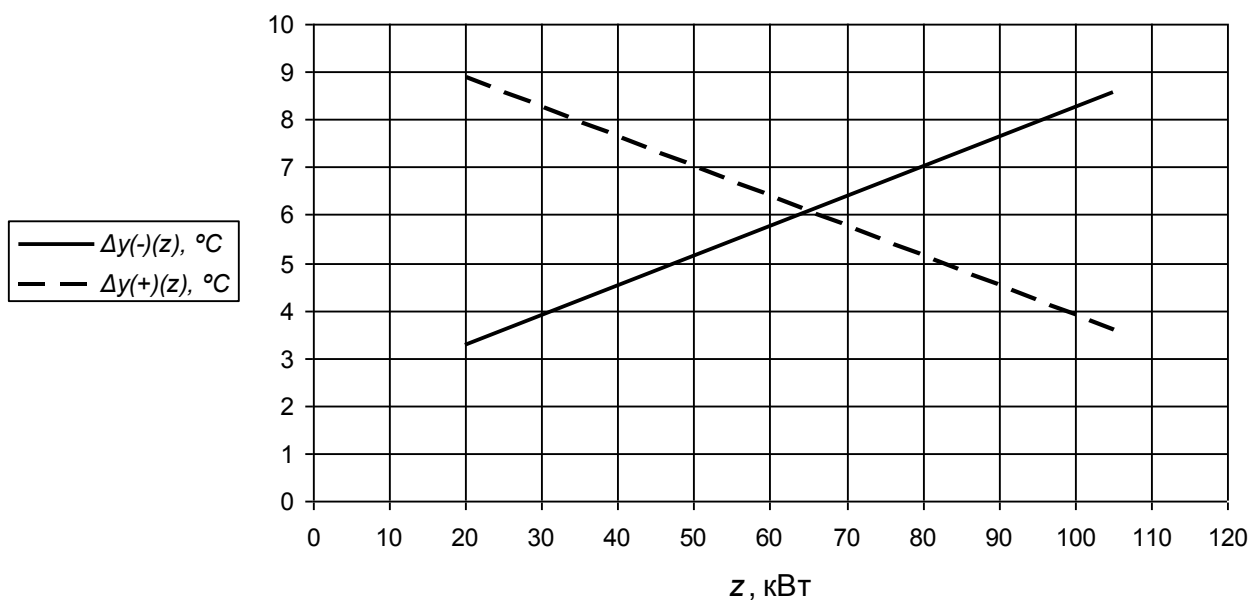
При заданных значениях K_0 , T_0 , τ , x , $2\Delta y_0$ системы уравнений (3–6), (7–10) представляют функциональные зависимости изменения параметров автоколебаний от $z(t)$. Указанные зависимости, предварительно построенные для возможного диапазона изменения $z(t)$ в виде таблиц или графиков (рис.1), позволяют идентифицировать текущие СФ по результатам измерения параметров автоколебаний температуры. Полученные зависимости изменения параметров автоколебаний отражают основные закономерности испарения

примесей из титановой губки. Как видно из рис.1, параметры автоколебаний температуры $\Delta y_{(-)}(z)$, $T_{\text{он}}(z)$ максимальны, а параметры $\Delta y_{(+)}(z)$, $T_{\text{off}}(z)$ минимальны в начальной стадии процесса при испарении из титановой губки основного количества примесей. По мере отгонки примесей в конденсатор два первых параметра автоколебаний убывают, два вторых параметра возрастают. В конце процесса два первых параметра достигают минимальных, два вторых параметра – максимальных значений. На основании этой информации процесс сепарации разделяют на две основные стадии [6]:

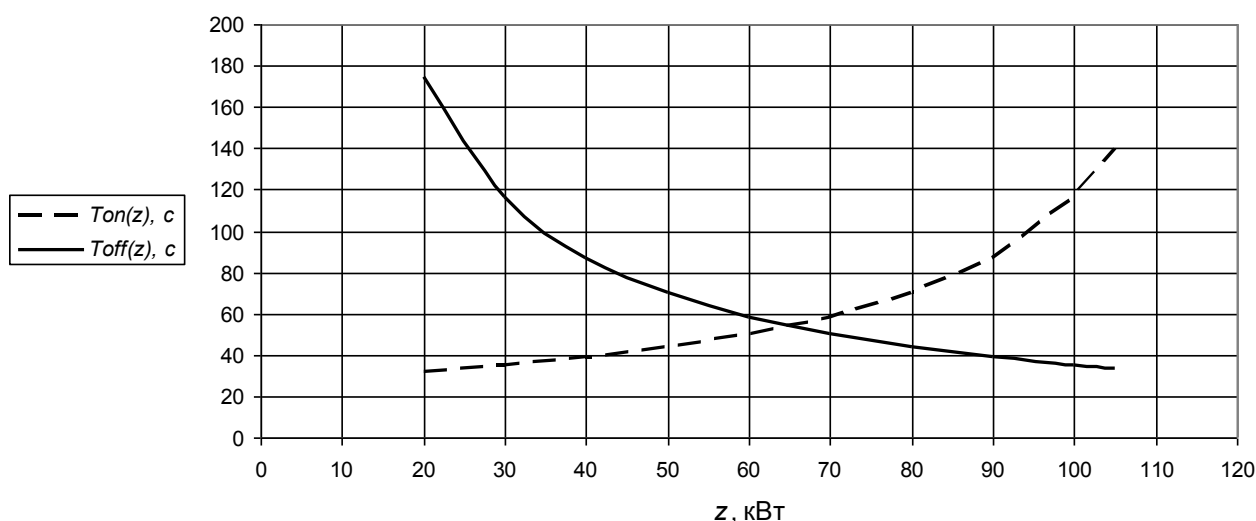
- отгонка из титановой губки в конденсатор основного количества примесей магния и хлорида магния;
- отгонка в конденсатор незначительного количества оставшихся примесей (около 2% от общего их количества).

Информация о СФ вакуумной сепарации используется ЛПР для более точного определения момента окончания процесса и выбора режима охлаждения конденсатора.

Таким образом, задача параметрической идентификации моделей динамики сводится к определению переменной $z(t)$ по результатам измерений параметров автоколебаний температуры в системе управления вакуумной сепарацией.



a)



б)

Рис. 1. Изменение параметров автоколебаний температуры ОНОУ в процессе испарения из титановой губки примесей магния и хлорида магния:

а) – $\Delta y_{(-)}(z)$, $\Delta y_{(+)}(z)$; б) – $T_{on}(z)$, $T_{off}(z)$.

Адекватность предложенных моделей динамики (1), (2) реальным СФ вакуумной сепарации подтверждена сопоставлением на разных стадиях процесса результатов измерений параметров автоколебаний температуры в зонах нагрева промышленного аппарата сепарации и результатов расчетов, полученных по соотношениям (3–6), (7–10) [6].

С применением моделей динамики разработана система ситуационного управления, обеспечивающая поддержку решений, принимаемых ЛПР при определении продолжительности процесса и теплового режима конденсатора аппарата сепарации. В результате внедрения системы ситуационного управления сокращена продолжительность процесса и снижены энергозатраты.

Список литературы

1. Кири́н Ю.П., Краев С.Л. Построение моделей динамики для синтеза оптимального управления вакуумной сепарацией губчатого титана. – В настоящем Вестнике.
2. Кири́н Ю.П., Краев С.Л. Ситуационное управление процессами производства губчатого титана // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2011. – №11. – С. 6 –11.
3. Тарасов А.В. Металлургия титана. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 328 с.
4. Кири́н Ю.П. Идентификация аппарата вакуумной сепарации губчатого титана как объекта управления температурой // Наука в решении проблем Верхнекамского промышленного региона: сб. науч. тр. – Березники: БФ ПГТУ. – 1998. – Вып. 1. –С.123 – 127.
5. Кири́н Ю.П., Краев С.Л. Построение системы идентификации ситуаций функционирования ТП производства губчатого титана // Автоматизация в промышленности. – 2013. – №2 – С. 20 – 24.
6. Кири́н Ю.П., Краев С.Л. Поддержка принятия решений в управлении конденсатором аппарата сепарации губчатого титана // Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова – Кострома: КГУ. – 2013. – №1. – Т.19. – С.29 – 32.

05.17.07

А.В. Кудинов, Н.П. Углев, В.Г. Рябов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Химико-технологический факультет, Пермь, kudinov@pstu.ru

МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ПАВ В ПРОЦЕССЕ СЕРНОКИСЛОТНОГО АКИЛИРОВАНИЯ ИЗОБУТАНА ОЛЕФИНАМИ

Приведены результаты исследований по растворимости изобутана в серной кислоте в присутствии ПАВ, данные по изменению межфазной поверхности эмульсии кислота-углеводороды в зависимости от концентрации ПАВ. Представлены данные по выходу различных углеводородов от времени проведения процесса при введении в систему ПАВ. На основе полученных данных и имеющихся в литературе предложен механизм действия ПАВ и приведена модель процесса алкилирования изобутана олефинами.

Ключевые слова: сернокислотное алкилирование, серная кислота, изобутан, бутены.

В связи с ужесточением норм Евро по содержанию в топливах для бензиновых двигателей ароматических углеводородов требуется использование в составе топлива неароматических компонентов обладающих высоким октановым числом. Одним из таких компонентов может выступать алкилбензин, получаемый при алкилировании изобутана бутенами.

Существующие в настоящее время технологии алкилирования изобутана основаны на использовании в качестве катализатора серной кислоты и фтористого водорода. Однако, несмотря на ряд преимуществ доля установок использующих фтористый водород снижается из-за большей опасности их эксплуатации.

Одним из существенных недостатков серной кислоты как катализатора в данном процессе является ее достаточно большой расход, и меньший выход целевой фракции по сравнению с фтористым водородом.

Одним из перспективных путей интенсификации гетерогенных процессов и данного процесса в частности в направлении увеличения выхода целевых продуктов, улучшения их качества, снижения расходных норм катализаторов и реагентов, уменьшения неблагоприятного экологического влияния на окружающую среду, может выступать введение в систему добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ) [1,2].

Введение добавок ПАВ в процесс сернокислотного алкилирования изобутана олефинами позволяет без крупной реконструкции технологической установки поднять выход целевой фракции - алкилбензина и его детонационную стойкость. Кроме того, применение поверхностно-активных веществ приводит к снижению расхода H_2SO_4 - катализатора данного процесса [1-4].

Вместе с тем механизм действия ПАВ на протекание сернокислотного алкилирования до конца не изучен. В настоящее время существует две точки зрения на механизм воздействия ПАВ. Одна из них [5] предполагает, что образование целевого продукта происходит на поверхности раздела фаз. Добавка катионоактивных веществ снижает стабильность промежуточно образующихся карбоний-ионов, ускоряя отрыв гидрид-иона от молекул изобутана или других потенциальных доноров гидрид-ионов. Ускорение гидридного переноса способствует более быстрому насыщению карбоний-ионов на поверхности раздела фаз, что приводит к улучшению образования целевой фракции и соответственно замедляет протекание полимеризации и других побочных реакций.

Согласно другой точке зрения, предполагается, что селективность процесса повышается не столько за счет изменения поверхности межфазного контакта, сколько за счет образования мицелл и солюбилизации в них углеводородов, вступающих в реакцию, что создает условия мицеллярного катализа [1].

Авторы работы [3] указывают, что введение в систему поверхностно-активных веществ при проведении процесса алкилирования оказывает, наряду с технологическими показателями, существенное действие на физико-химические и структурные свойства составляющих ее компонентов, в частности, серной кислоты. При этом следует отметить наличие в указанном воздействии достаточно четкой корреляции между физико-химическими свойствами катализатора и показателями процесса.

Для исследования механизма действия добавок к катализатору на процесс сернокислотного алкилирования нами были взяты следующие поверхностно-активные вещества: тяжелые смолы пиролиза (ТСП), нафтеновые кислоты (НК) и алкамон ОС-2.

Исследования показали, что наибольшее влияние на физико-химические свойства серной кислоты оказывают добавки, проявляющие типичные свойства поверхностно-активных веществ. При этом первоначально происходит насыщение поверхности катализатора молекулами ПАВ и лишь, затем они начинают переходить в объем кислоты. Причем за счет того, что молекулы ПАВ имеют дифильный характер они образуют не истинный, а мицеллярный раствор. Критические концентрации мицеллообразования (ККМ) исследованных добавок составили: для ТСП и НК 0,1 мас.%; ОС-2 0,01 мас.%. .

Проведение реологических исследований систем серная кислота - ПАВ позволило определить концентрации присадок, при которых происходит изменение форм мицелл от сферических к пластинчатым частицам. Для ПАВ ТСП и НК эта концентрация составила 0,5 мас.%, а для ОС-2 - 0,05 мас.%. .

Выполнение технологических экспериментов позволило установить, что именно в области концентраций близких к ККМ наблюдаются наибольшие изменения по выходу и качеству получаемого алкилбензина [3,4].

Как известно, растворы, содержащие ПАВ в количествах выше критической концентрации мицеллообразования, могут обладать повышенной растворяющей способностью по отношению к нерастворимым или плохо растворимым в данной среде веществам - явление солюбилизации [6].

Согласно мнению ряда исследователей [1], считается, что реакция алкилирования протекает в фазе катализатора, поэтому увеличение растворимости в нем одного из компонентов должно привести к улучшению показателей процесса. В этом случае одним из факторов, определяющих скорость протекания реакции алкилирования согласно закону действующих масс, является концентрация изобутана в серной кислоте.

Вводимые в катализатор ПАВ могут оказать влияние на растворимость в нем изобутана. Концентрация растворенного изобутана определяется коэффициентом распределения его между углеводородной и кислотной фазами. Присутствие органических соединений в объеме серной кислоты и в ее поверхностном слое может способствовать изменению этого коэффициента. Поэтому исследования в направлении изучения действия ПАВ на растворимость изобутана в серной кислоте, величина которой согласно литературным данным [7] очень мала и составляет доли процента, дают возможность в какой-то мере приблизиться к пониманию механизма действия ПАВ на процесс сернокислотного алкилирования.

В табл.1 представлены результаты по изменению растворимости изобутана в серной кислоте в присутствии присадок ТСП и НК. Главным выводом, следующим из этих данных, является то, что мицеллообразование в системе ПАВ - серная кислота не приводит к значительному росту концентрации изобутана в фазе катализатора. Так, для присадки НК при концентрации ее 1 мас.% от серной кислоты, что примерно в 10 раз превышает критическую концентрацию мицеллообразования, изменение растворимости изобутана незначительно и не превышает погрешности эксперимента. Следовательно, растворенный изобутан вряд ли находится в объеме мицелл в значительном количестве. Отсюда возникают сомнения в достоверности применения в данном случае механизма мицеллярного катализа.

Таблица 1 – Растворимость изобутана в серной кислоте в присутствии ПАВ НК и ТСП*

Наименование ПАВ	Объем поглощенного изобутана ($V_p \times 10^6$, м ³), при концентрации ПАВ (мас.%) в расчете на серную кислоту				
	0	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0
НК	0,79±0,05	0,77±0,07	0,82±0,05	1,17±0,05	0,93±0,03
ТСП	0,79±0,05	0,79±0,04	0,66±0,03	0,79±0,04	1,10±0,05

*Концентрация серной кислоты 94,5%, температура 10^0 °С, давление 0,1 мПа.

Для выяснения более точного механизма действия ПАВ нами были изучены кинетические зависимости протекания процесса алкилирования в присутствии ПАВ НК. Некоторые результаты экспериментов показаны в табл.2-4.

Таблица 2 – Величина межфазной поверхности эмульсии при различных концентрациях ПАВ

Наименование ПАВ	Концентрация ПАВ	Удельная поверхность эмульсии, (м ² /м ³ углеводородов)×10 ⁻⁵
НК	0	1,33
	0,01	1,41
	0,05	1,66
	0,1	2,02
	0,5	2,18
ОС-2	0	1,33
	0,005	1,68
	0,01	2,10
	0,05	2,21

Величину исследуемой поверхности эмульсии измеряли методом микрофотографирования при использовании микроскопа с фотонасадкой. Как видно из табл.2, величина поверхности эмульсии наиболее сильно возрастает при концентрациях ПАВ, близких к ККМ, дальнейшее повышение концентрации приводит уже к не столь значительному ее росту.

Таблица 3 – Изменение выхода углеводородов в процессе алкилирования на катализаторе промотированным ПАВ НК при температуре 10 °С

Углеводороды	Выход, (моль/моль бутенов)×10 ² , при концентрации ПАВ НК (мас.%) и времени контакта, (мин)															
	0,05								0,1							
	2,5	5	10	20	40	2,5	5	10	20	40	2,5	5	10	20	40	40
C ₆ -C ₇	9,15	9,75	9,41	9,84	10,29	8,57	10,28	9,87	9,14	12,94	8,99	9,36	9,90	10,19	11,81	
ТМП	13,51	16,01	21,11	20,92	22,16	14,51	19,54	21,49	23,93	22,45	14,22	17,49	20,98	23,40	23,61	
ДМП	9,24	10,87	13,22	13,78	15,02	10,28	12,88	13,85	15,28	14,65	9,87	11,90	13,57	14,43	14,79	
C ₈	30,58	36,72	43,91	45,14	49,08	33,04	41,33	44,67	48,37	46,94	32,86	40,18	43,91	49,18	52,87	
C ₉ -C ₁₂	7,94	7,96	8,05	8,29	9,06	7,90	7,99	8,00	7,77	7,91	7,78	8,06	7,35	8,11	9,25	
C ₆ -C ₁₂	47,67	54,43	61,37	63,27	68,43	49,51	59,60	62,54	65,28	67,79	49,63	56,60	61,16	67,48	73,93	

Таблица 4 – Изменение выхода углеводородов в процессе алкилирования на единицу поверхности катализатора промотированного ПАВ НК при температуре 10 °С

Углеводороды	Выход, (моль/моль бутенов×м ²)×10 ² , при концентрации ПАВ НК (мас.%) и времени контакта (мин)															
	0,05								0,1							
	2,5	5	10	20	40	2,5	5	10	20	40	2,5	5	10	20	40	40
C ₆ -C ₇	0,688	0,733	0,707	0,739	0,773	0,529	0,609	0,635	0,564	0,798	0,517	0,538	0,569	0,585	0,679	
ТМП	1,016	1,204	1,587	1,573	1,666	0,896	1,206	1,327	1,477	1,386	0,817	1,005	1,206	1,345	1,357	
ДМП	0,695	0,817	0,994	1,036	1,129	0,635	0,795	0,855	0,943	0,904	0,567	0,684	0,780	0,829	0,850	
C ₈	2,299	2,761	3,302	3,394	3,690	2,040	2,551	2,757	2,986	2,898	1,889	2,309	2,524	2,826	3,039	
C ₉ -C ₁₂	0,597	0,598	0,605	0,623	0,681	0,487	0,494	0,494	0,480	0,488	0,447	0,462	0,423	0,466	0,531	
C ₆ -C ₁₂	3,584	4,092	4,614	4,756	5,144	3,056	3,680	3,860	4,030	4,184	2,853	3,253	3,516	3,877	4,249	

В табл.3 и 4 показаны результаты кинетических исследований, причем в табл.3 выходы углеводорода даны на весь процесс в целом. Видно, что с повышением концентрации ПАВ общий выход всех углеводородов возрастает.

В табл.4 представлены выходы углеводорода на единицу поверхности катализатора, с повышением концентрации ПАВ НК выход углеводородов на единицу поверхности снижается. Это говорит о том, что адсорбируясь на границе раздела фаз, поверхностно-активные вещества затрудняют диффузию реагентов к катализатору, но за счет того, что поверхность контакта возрастает в большей степени общий выход алкилата в процессе в целом увеличивается.

Анализируя полученные результаты исследований влияния ПАВ на физико-химические [3,4], реологические свойства H_2SO_4 [8,9], растворимость в ней изобутана, величину межфазной удельной поверхности и кинетические закономерности протекания процесса алкилирования изобутана олефинами можно предложить следующий механизм протекания процесса с учетом ряда допущений:

1. Химический процесс протекает в мономолекулярном слое на поверхности кислоты.
2. Поверхность кислоты покрыта мономолекулярным слоем адсорбированных молекул, активированных молекул и карбоний-ионами различной молекулярной массы.
2. Поверхность кислоты покрыта мономолекулярным слоем адсорбированных молекул, активированных молекул и карбоний-ионами различной молекулярной массы.
3. Все заряженные карбоний-ионы, с молекулярной массой более C_4 , адсорбированы на поверхности. Не занятая поверхность покрыта изобутильными карбоний-ионами.
4. Закон действующих масс в отношении реакции с карбоний-ионами применяется исходя из поверхностной концентрации этих карбоний-ионов.
5. Некоторые изомеры группы C_{116}^+ и большая часть C_{120}^+ образуют "внутризарядные" карбоний-ионы, которые необратимо адсорбируются на поверхности.
6. Реакции ионного равновесия, а также реакции изомеризации карбоний-ионов протекают "быстро" или "очень быстро" и учитываются по уравнениям равновесия.
7. Все изомеры бутиленов вступают в реакцию одинаково, с одной скоростью.
8. Разбавление кислоты реакционной водой не учитывается.
9. Возникающие при распаде тяжелых карбоний-ионов непредельные углеводороды и более легкие карбоний-ионы могут вступать в такие же реакции, как и бутилены и изобутильные карбоний-ионы, образуя при этом различные углеводороды. Учесть все такие реакции затруднительно. Для упрощения примем, что в результате разложения будут образовываться предельные углеводороды с соответствующими молекулярными массами.
10. Кроме того, не учитываются также реакции окисления и сульфирования углеводородов.

С учетом вышеназванных допущений сущность предлагаемой модели заключается в следующем.

В отсутствии ПАВ, при контакте углеводородного сырья с H_2SO_4 , бутилены диффундируют через пограничный слой в объем серной кислоты с образованием карбоний-ионов вида $n-C_4H_9^+$. При этом часть карбоний-ионов из объема кислотной фазы адсорбируется на поверхности раздела фаз [5].

Образовавшиеся карбоний-ионы $n-C_4H_9^+$ могут либо изомеризоваться с образованием равновесной смеси изомеров, либо отрывать гидрид-ион от изобутана с образованием $i-C_4H_9^+$. В равновесной же смеси изомеров карбоний-ионов $C_4H_9^+$ будет преобладать третичный $i-C_4H_9^+$, т.к. он наиболее устойчив среди всех изомеров.

Адсорбированные изобутильные карбоний-ионы, взаимодействуя с молекулой бутилена, дают изооктильный карбоний-ион, который также адсорбируется на поверхности катализатора. В свою очередь изооктильный карбоний-ион может взаимодействовать либо с молекулой изобутана, либо с молекулой бутилена. В первом случае образуется адсорбированная молекула изооктана и изобутильный карбоний-ион. Образовавшиеся изооктаны представляют собой равновесную смесь изомеров и диффундируют через

пограничную пленку в объем углеводородной фазы. В случае же взаимодействия с бутиленом образуется додецильный карбоний-ион, который так же, как и другие карбоний-ионы, может вступать в описанные выше реакции. Кроме того, возможно разложение данного карбоний-иона до пентана, гексана и гептана.

Аналогичным образом ведут себя и образующиеся карбоний-ионы C_{16}^+ , только при разложении они дают углеводороды от C_5 до C_{11} . Образующиеся же при взаимодействии с бутиленами карбоний-ионы C_{20}^+ могут изомеризоваться до состояний, когда заряд локализован внутри молекулы (с образованием "внутризарядного" карбоний-иона). В силу этого такие ионы с локализованным внутренним зарядом концентрируются у поверхности кислоты. По своему строению такие молекулы близки к молекулам ПАВ. То есть налицо образование межфазного слоя, в котором роль ПАВ играют молекулы с повышенной молекулярной массой. В начальный момент они так же, как и искусственно вводимые поверхностно-активные вещества, способствуют образованию более мелкодисперсной эмульсии (увеличивается поверхность раздела фаз и, как следствие этого, возрастает общая скорость процесса). Это подтверждается тем фактом, что в процессе алкилирования существует "индукционный период", т.е. при работе на свежем катализаторе выход алкилата и селективность процесса ниже, чем по прошествии определенного времени, необходимого для образования достаточного количества молекул, обладающих поверхностно-активными свойствами [10]. В дальнейшем по мере протекания процесса доля поверхности, не занятая высокомолекулярными адсорбированными карбоний-ионами, уменьшается и общая скорость процесса начинает падать. В приповерхностном слое снижается концентрация изобутана и в силу этого возрастает доля реакций полимеризации бутиленов и взаимодействия высокомолекулярных карбоний-ионов с бутиленами с образованием еще более тяжелых молекул. Протекают реакции окисления и распада углеводородов. Селективность процесса падает, выход алкилбензина уменьшается.

Введение в катализатор (серную кислоту) искусственных ПАВ способствует тому, что индукционный период работы катализатора сильно сокращается. Благодаря тому, что добавляемые ПАВ имеют незначительный разброс по молекулярной массе, мы можем их достаточно точно дозировать и получать адсорбционные слои с заранее заданными свойствами. В данном случае мы получаем максимальную поверхность раздела фаз для данных гидродинамических условий. В отличие от предложений добавлять к свежей кислоте отработанную кислоту процесса, в которой вещества, подобные ПАВам, имеют широкий интервал молекулярных масс и разнообразны по строению [10]. Кроме того, искусственные ПАВы более активны, чем образующиеся в процессе, и не позволяют им вытеснить себя из межфазного слоя.

Добавление в кислоту искусственно синтезированных поверхностно-активных веществ приводит к образованию адсорбционного слоя. Наличие такого слоя, кроме увеличения поверхности раздела фаз, влияет и на диффузию углеводородов между поверхностью кислоты и объемом углеводородной фазы. При этом, по нашему мнению, в пленке, толщина которой приблизительно равна длине молекулы ПАВ, коэффициенты диффузии углеводородов не постоянны, что связано со строением адсорбционного слоя.

Коэффициент диффузии углеводородов по толщине пограничной пленки уменьшается в направлении от углеводородов к кислоте. Это связано с тем, что противоположные части молекулы ПАВ имеют различную подвижность, за счет того, что гидрофильная часть молекулы жестко закреплена на поверхности кислоты и гораздо менее подвижна, чем гидрофобная. В то же время, хотя скорость диффузии к поверхности раздела снижается, в целом скорость процесса возрастает за счет образования более развитой поверхности раздела фаз.

Кроме того, коэффициент диффузии существенно зависит и от размера молекул: чем меньше молекула, тем выше коэффициент диффузии. Среди образующихся изооктанов наиболее высокий коэффициент диффузии имеют триметилпентаны, поэтому они будут с большей скоростью переходить в углеводородную фазу. Чтобы сохранилось равновесие

между изомерами октанов, медленно диффундирующие изомеры должны переходить (за счет реакций изомеризации) в триметипентаны. Это и приводит к увеличению селективности процесса.

Ниже представлена система дифференциальных уравнений описывающих процесс серноокислотного алкилирования изобутана бутенами.

Условные обозначения в математическом описании процесса алкилирования:

φ_i - концентрация i -го углеводорода в объеме углеводородной фазы;

(C_i) - концентрация i -го углеводорода или карбоний-иона в объеме кислотной фазы;

$[C_i]$ - концентрация i -го углеводорода или карбоний-иона на поверхности раздела фаз;

D_{in} - коэффициенты диффузии i -го углеводорода из n -ной группы через пограничную пленку;

$K_{i,j}$ - константа скорости реакции, при взаимодействии i -го и j -го углеводородов;

$K_{k,i}$ - константа скорости k -той реакции распада i -го карбоний-иона;

α_{in} - доля i -го изомера в n -ной группе углеводородов;

$K_i^{\#}$ - константа протонирования i -го бутилена;

K_i^a - константа адсорбции i -го углеводорода или карбоний-иона на поверхности раздела фаз;

δ - толщина пограничной пленки;

τ - время протекания процесса;

γ_i - коэффициент распределения i -го углеводорода между углеводородной и кислотной фазами;

χ_i - поправочный коэффициент для расчета диффузии через пограничную пленку из молекул ПАВ;

K_{ca} - константа скорости реакции передачи протона от изобутильного карбоний-иона кислоте;

Σ - сумма уравнений по каждому изомеру из данной группы углеводородов.

$$\Sigma\left(\frac{dC_{4=}}{d\tau}\right) = (\varphi_{4=} - \left(\frac{C_{4=}}{\gamma_{4=}}\right)) \times \chi_{4=} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \Sigma\left(\frac{dC_{i4}}{d\tau}\right) = & (\varphi_{i4} - \left[\frac{C_{i4}}{K_{i4}^a}\right]) \times \chi_{i4} - K_{i8^+,i4} [\alpha_{i8^+} \times \Sigma C_{i8^+}] \times [C_{i4}] - \\ & - K_{i12^+,i4} [\alpha_{i12^+} \times \Sigma C_{i12^+}] \times [C_{i4}] - K_{i16^+,i4} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] \times [C_{i4}] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Sigma\left(\frac{dC_{i4^+}}{d\tau}\right) = & K_{i4,4^+} [C_{i4}] [C_{4^+}] - K_{ca} [C_{i4^+}] - K_{i4^+,4=} [C_{i4^+}] [C_{4=}] + K_{i8^+,i4} [\alpha_{i8^+} \times \Sigma C_{i8^+}] \times [C_{i4}] + \\ & + K_{i12^+,i4} [\alpha_{i12^+} \times \Sigma C_{i12^+}] \times [C_{i4}] + K_{i16^+,i4} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] \times [C_{i4}] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Sigma\left(\frac{dC_{i4=}}{d\tau}\right) = & K_{i4,4^+} [C_{i4}] [C_{4^+}] + K_{ca} [C_{i4^+}] - K_{i4^+,4=} [C_{i4^+}] [C_{4=}] - K_{i8^+,4=} [\alpha_{i8^+} \times \Sigma C_{i8^+}] \times [C_{4=}] - \\ & - K_{i12^+,4=} [\alpha_{i12^+} \times \Sigma C_{i12^+}] \times [C_{4=}] + K_{i16^+,4=} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] \times [C_{4=}] \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Sigma\left(\frac{dC_{i8^+}}{d\tau}\right) = & K_{i4^+,4=} [C_{i4^+}] [C_{4=}] - K_{i8^+,i4} [\alpha_{i8^+} \times \Sigma C_{i8^+}] \times [C_{i4}] - \\ & - K_{i8^+,4=} [\alpha_{i8^+} \times \Sigma C_{i8^+}] \times [C_{4=}] + K_{416} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] \end{aligned} \quad (5)$$

$$\Sigma\left(\frac{dC_{i8}}{d\tau}\right) = K_{i8^+,i4} [\alpha_{i8^+} \times \Sigma C_{i8^+}] \times [C_{i4}] + K_{416} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] +$$

$$+ (\varphi_{i8} - [\frac{\alpha_{i8^+} \times \Sigma C_{i8^+}}{K_{i8}^a}]) \times \chi_{i8} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Sigma(\frac{dC_{i12^+}}{d\tau}) = & K_{i8^+,4=} [\alpha_{i8^+} \times \Sigma C_{i8^+}] \times [C_{4=}] - K_{i12^+,i4} [\alpha_{i12^+} \times \Sigma C_{i12^+}] \times [C_{i4}] - \\ & - K_{i12^+,4=} [\alpha_{i12^+} \times \Sigma C_{i12^+}] \times [C_{4=}] - K_{112} [C_{i12^+}] - K_{212} [C_{i12^+}] \end{aligned} \quad (7)$$

$$\Sigma(\frac{dC_{i12}}{d\tau}) = K_{i12^+,i4} [\alpha_{i12^+} \times \Sigma C_{i12^+}] \times [C_{i4}] + (\varphi_{i12} - [\frac{\alpha_{i12^+} \times \Sigma C_{i12^+}}{K_{i12}^a}]) \times \chi_{i12} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \Sigma(\frac{dC_{i16^+}}{d\tau}) = & K_{i12^+,4=} [\alpha_{i12^+} \times \Sigma C_{i12^+}] \times [C_{4=}] - K_{i16^+,i4} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] \times [C_{i4}] - \\ & - K_{i16^+,4=} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] \times [C_{4=}] - K_{116} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] - K_{216} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] - \\ & - K_{316} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] - K_{416} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] \end{aligned} \quad (9)$$

$$\Sigma(\frac{dC_{i16}}{d\tau}) = K_{i16^+,i4} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] \times [C_{i4}] + (\varphi_{i16} - [\frac{\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}}{K_{i16}^a}]) \times \chi_{i16} \quad (10)$$

$$\Sigma(\frac{dC_{i20^+}}{d\tau}) = K_{i20^+,4=} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] \times [C_{4=}] \quad (11)$$

$$\Sigma(\frac{dC_{i5}}{d\tau}) = K_{112} [\alpha_{i12^+} \times \Sigma C_{i12^+}] + K_{116} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] + (\varphi_{i5} - [\frac{\alpha_{i5} \times \Sigma C_{i5}}{K_{i5}^a}]) \times \chi_{i5} \quad (12)$$

$$\Sigma(\frac{dC_{i6}}{d\tau}) = 2K_{212} [\alpha_{i12^+} \times \Sigma C_{i12^+}] + K_{216} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] + (\varphi_{i6} - [\frac{\alpha_{i6} \times \Sigma C_{i6}}{K_{i6}^a}]) \times \chi_{i6} \quad (13)$$

$$\Sigma(\frac{dC_{i7}}{d\tau}) = K_{112} [\alpha_{i12^+} \times \Sigma C_{i12^+}] + K_{316} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] + (\varphi_{i7} - [\frac{\alpha_{i7} \times \Sigma C_{i7}}{K_{i7}^a}]) \times \chi_{i7} \quad (14)$$

$$\Sigma(\frac{dC_{i9}}{d\tau}) = K_{316} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] + (\varphi_{i9} - [\frac{\alpha_{i9} \times \Sigma C_{i9}}{K_{i9}^a}]) \times \chi_{i9} \quad (15)$$

$$\Sigma(\frac{dC_{i10}}{d\tau}) = K_{216} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] + (\varphi_{i10} - [\frac{\alpha_{i10} \times \Sigma C_{i10}}{K_{i10}^a}]) \times \chi_{i10} \quad (16)$$

$$\Sigma(\frac{dC_{i11}}{d\tau}) = K_{116} [\alpha_{i16^+} \times \Sigma C_{i16^+}] + (\varphi_{i11} - [\frac{\alpha_{i11} \times \Sigma C_{i11}}{K_{i11}^a}]) \times \chi_{i11} \quad (17)$$

Несмотря на принятые допущения, система дифференциальных уравнений получается достаточно громоздкой с множеством неизвестных величин.

Объединим получаемые углеводороды в 3 группы, а именно C₅-C₇, C₈ и C₉-C₁₂ и упростим нашу систему до 3-х реакций:

1. i-C₄H₁₀ + C₄H₈ → i-C₈H₁₈;
2. i-C₈H₁₈ + C₄H₈ → i-C₁₂H₂₆;
3. 2 i-C₁₂H₂₆ → C₅H₁₂ + 2C₆H₁₄ + C₇H₂₆.

Обозначим эффективные константы скорости через $k_{\text{эф1}}$, $k_{\text{эф2}}$ и $k_{\text{эф3}}$ соответственно. Эффективные константы скорости включают в себя константы скорости самих химических реакций, диффузии реагентов к поверхности и диффузии продуктов в объем углеводородов.

Тогда система дифференциальных уравнений будет иметь следующий вид:

$$\Sigma\left(\frac{dC_8}{d\tau}\right) = k_{\text{эф1}}[i - C_4H_{10}][C_4H_8] - k_{\text{эф2}}[i - C_8H_{18}][C_4H_8] \quad (18)$$

$$\Sigma\left(\frac{dC_{9-12}}{d\tau}\right) = k_{\text{эф2}}[i - C_8H_{18}][C_4H_8] - k_{\text{эф3}}[i - C_{12}H_{26}]^2 \quad (19)$$

$$\Sigma\left(\frac{dC_{5-7}}{d\tau}\right) = 2k_{\text{эф3}}[i - C_{12}H_{26}]^2 \quad (20)$$

Решение системы численным методом позволяет подобрать значения эффективных констант скоростей реакций при температуре 10°C в зависимости от концентрации ПАВ (табл.5-6).

Таблица 5 – Значения эффективных констант скоростей реакций на катализаторе промотированном ПАВ при температуре 10°C

Наименование ПАВ	Концентрация ПАВ	$k_{\text{эф1}} \times 10^3$	$k_{\text{эф2}} \times 10^2$	$k_{\text{эф3}} \times 10^2$
НК	0	2,79	3,50	1,13
	0,05	3,47	4,06	1,13
	0,1	3,45	4,03	0,92
	0,5	3,28	3,57	1,13
ОС-2	0	2,79	3,50	1,13
	0,005	2,93	3,50	1,13
	0,01	3,30	3,57	1,13
	0,05	3,30	3,75	1,13

Таблица 6 – Значения эффективных констант скоростей реакций на единицу поверхности катализатора промотированного ПАВ при температуре 10°C

Наименование ПАВ	Концентрация ПАВ НК	$k_{\text{эф1}} \times 10^8$	$k_{\text{эф2}} \times 10^7$	$k_{\text{эф3}} \times 10^8$
НК	0	2,09	2,63	8,46
	0,05	2,09	2,44	6,78
	0,1	1,71	2,00	4,57
	0,5	1,51	1,64	5,16
ОС-2	0	2,09	2,63	8,46
	0,005	1,75	2,08	6,70
	0,01	1,57	1,70	5,36
	0,05	1,49	1,70	5,09

Как видно из полученных данных эффективные константы скорости в расчете на единицу поверхности с увеличением концентрации ПАВ снижаются, что может быть связано только с ухудшением диффузионной составляющей. Можно также заметить, что снижение $k_{\text{эф}}$ происходит тем интенсивней, чем больше молекулярная масса реагента, так для реакции взаимодействия изобутана с бутеном эффективная константа скорости уменьшается в меньшей степени, чем для реакции взаимодействия изооктана с бутеном и самое значительное изменение наблюдается для константы скорости реакции распада додеканов, что говорит о возрастании диффузионных сопротивлений для более крупных молекул в большей степени, чем для малых.

Таким образом, на основе полученных данных можно предположить, что предложенная модель процесса сернокислотного алкилирования достаточно адекватна. Согласно ее влиянию ПАВ осуществляется через 2 фактора, а именно через увеличение поверхности раздела фаз (что сказывается в основном на увеличении выхода продуктов) и через

возникновение диффузионных сопротивлений мономолекулярного слоя ПАВ (что приводит к увеличению селективности процесса).

Список литературы

1. *Овсянников В.П.* Особенности сернокислотного алкилирования изобутана бутиленами в присутствии добавок ПАВ //Тр./ Грозн.нефт. науч.-исслед. ин-т. Грозный, 1986. Вып.40 С.99-107.
2. *Пинегина Л.Ю., Расказовская Н.В., Абрамова З.А.* Действия активирующих присадок на серную кислоту процесса алкилирования //Тр./ Перм.сельск.ин-т. 1971. Т. 79.С.93-99.
3. *Крылов В.А., Рябов В.Г., Свириденко А.Л.* Сернокислотное алкилирование в присутствии поверхностно-активных веществ// Химия и технология топлив и масел.1990. № 1. С.19-21.
4. *Рябов В.Г., Кудинов А.В., Тархов Л.Г.* Поверхностно-активные вещества – эффективные активаторы жидкофазных каталитических нефтехимических процессов // Наука и техника углеводородов.1999. № 1. С..
5. *Олбрайт Л.Ф. и др.* Алкилирование. Исследование и промышленное оформление процесса. М.:Химия, 1982. 336 с.
6. *Фридрихсберг Д.А.* Курс коллоидной химии.Л.,1984.368 с.
7. *Дорогочинский А.З. и др.* Сернокислотное алкилирование изопарафинов олефинами. М.:Химия,1970. 216 с.
8. *Кудинов А.В., Рябов В.Г.* Влияние поверхностно-активных веществ на реологические свойства серной кислоты. Деп. в ЦНИИТЭ-нефтехим, М., № 47нх-90. Деп. 1990, реф. «ДНР» №9, 1990. 22 с.
9. *Кудинов А.В., Рябов В.Г., Жоров Ю.М.* Регулирование реологических свойств нефтяных дисперсных систем в процессах жидкость-жидкость. Тез. докл. Междунар. конгр. ХИСА-90.- Прага, 1990.- С. 135
10. *Тагавов И.Т., Суманов В.Г., Хаджиев С.Н.* Влияние состава каталитического комплекса на октановое число алкилбензина // Химия и технология топлив и масел. 1988. №11. С. 17-18.

05.17.01

М.А. Куликов, С.Г. Козлов, В.А. Тихонов, Н.С. Шеманская, Е.В. Морева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, kulikov.74@list.ru

КИНЕТИКА ПРОЦЕССА ОТЛОЖЕНИЯ СОЛЕЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ

В статье рассматриваются результаты математической обработки экспериментальных данных, полученных при исследовании процесса солеотложения применительно к условиям сушильного отделения сальвинитовой обогатительной фабрики ОАО «Уралкалий». Приведены значения констант скорости процесса солеотложения при использовании некоторых нейтрализующих добавок.

Ключевые слова: процесс солеотложения, сальвинитовая обогатительная фабрика, математическое моделирование, константа скорости, регрессионный анализ.

На сальвинитовой обогатительной фабрике четвёртого Березниковского калийного производственного рудоуправления (СОФ БКПРУ-4) ОАО «Уралкалий» реализован галургический способ получения хлорида калия, который включает переработку сальвинитовой руды методом растворения с последующей кристаллизацией хлорида калия из осветлённого насыщенного раствора. Кристаллизат хлорида калия отделяют от маточного раствора, обезвоживают и сушат в сушилках кипящего слоя КС.

При работе сушилок КС выделяются горячие дымовые газы, которые вместе с пылевой фракцией подаются в скруббер и подкисляют орошающий раствор, необходимый для очистки отходящих газов от мелких фракций хлорида калия. В качестве орошающего раствора используется минерализованная вода. В настоящее время нейтрализацию орошающего раствора проводят содовым раствором.

В процессе работы сушильного отделения наблюдается образование солевых отложений на технологическом оборудовании и в трубопроводах, что приводит к снижению производительности отделения и требует дополнительных затрат на очистку поверхностей, замену оборудования.

Анализ работы отделения показал, что интенсивность солеотложений возрастает при переходе с природной воды на минерализованную оборотную воду в качестве орошающей жидкости.

Наиболее вероятные причины этого заключаются в том, что содержание солей жёсткости в природной воде изначально ниже, чем в минерализованной. Кроме того, при использовании минерализованной воды происходит накопление в ней карбонатов, в частности, за счёт подаваемого в процесс содового раствора.

Проведённые исследования показали, что добиться снижения интенсивности солеотложений можно заменой содового раствора раствором гидроксида калия [1,2].

Целью настоящей работы является математическая обработка экспериментальных данных, полученных для следующих нейтрализующих добавок: содовый раствор, растворы гидроксидов калия и натрия [1,2].

Применение методов математического моделирования к процессу солеотложения позволяет получить количественное описание кинетических закономерностей оцениваемых параметров.

Задача решается путём подбора таких значений констант, при которых наблюдалось бы максимальное согласование между расчётными и экспериментальными данными. Для расчёта были использованы данные, полученные для материалов сталь Ст.3 и сталь X18H10T [2].

Для исследования механизма инкрустации на поверхности Ст. 3 выбрано математическое описание процесса в виде дифференциального уравнения (при $n = 1$):

$$dm / d\tau = k \cdot m^n$$

Изменение массы образующихся продуктов оценивали с использованием метода Эйлера [3]:

$$m_{i+1} = m_i + (dm_i / d\tau) \cdot (\tau_{i+1} - \tau_i)$$

Расчёт константы скорости солеотложения проводили методом наименьших квадратов [3], результаты расчёта представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения констант скорости солеотложения

Параметр	КОН	NaOH	Na ₂ CO ₃
k, ч ⁻²	0,34	0,70	1,26
m, г [2]	2,74	8,24	27,65

Как следует из табл. 1 скорость солеотложения определяется природой нейтрализующей добавки. При этом количество осадка прямо пропорционально величине константы скорости (рис. 1).

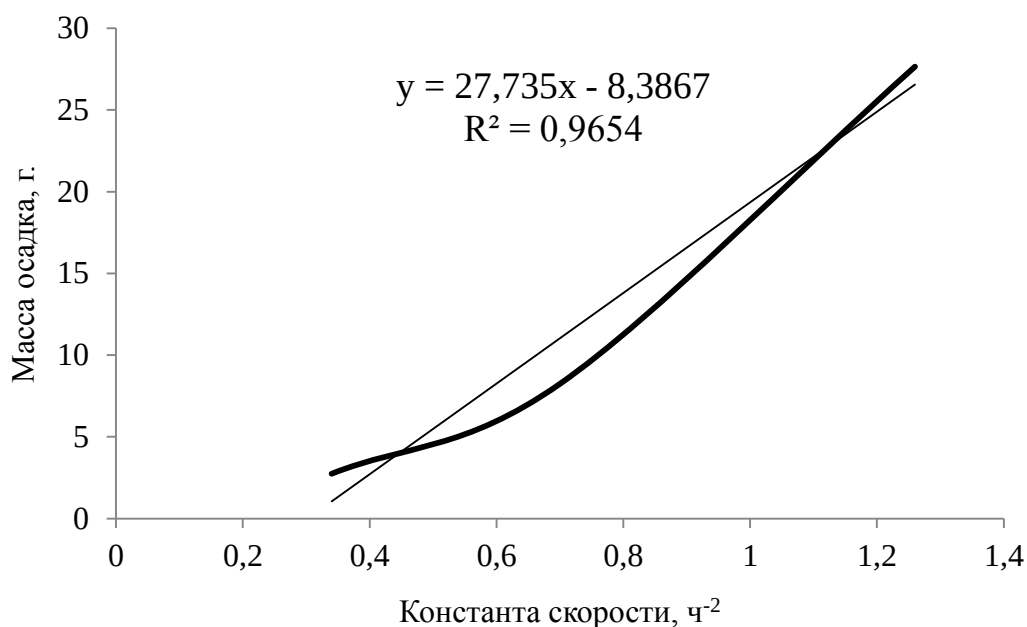


Рис. 1 – Зависимость массы осадка от константы скорости

Для обработки экспериментальных данных использован метод регрессионного анализа [3]. Экспериментальная зависимость изменения массы осадка от времени адекватно описывается полиномиальным уравнением второго порядка (рис. 2, табл.2).

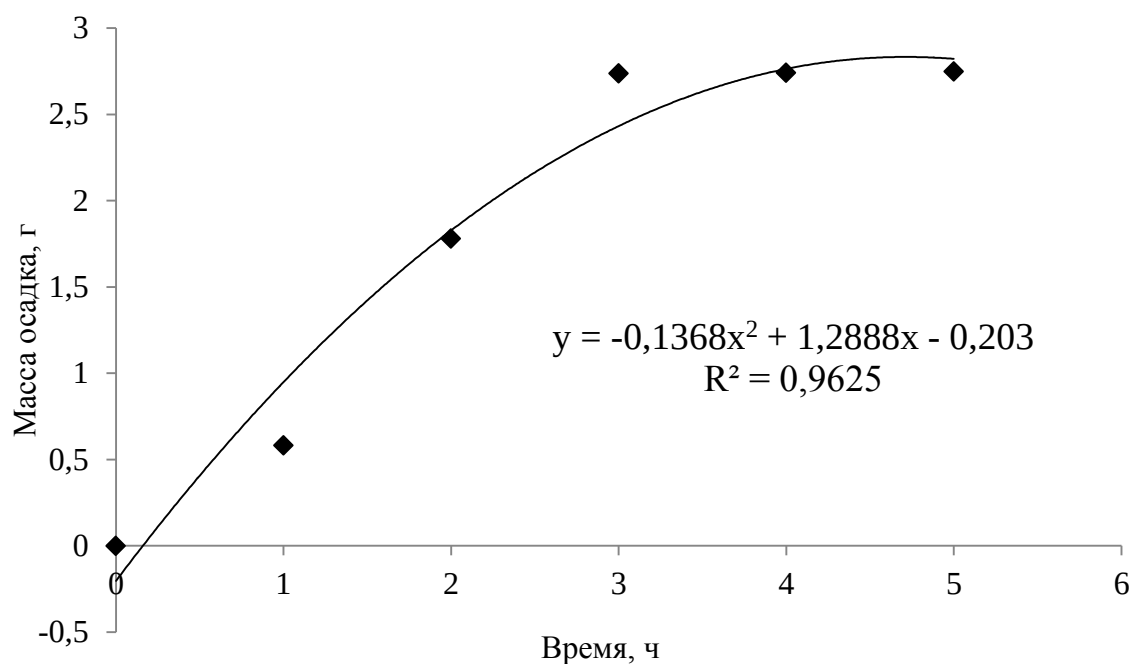


Рис. 2 – Скорость образования осадка (нейтрализующая добавка – KOH)

Таблица 2 – Регрессионные уравнения

Нейтрализующая добавка	Вид регрессионного уравнения
KOH	$y = -0,1368x^2 + 1,2888x - 0,203$
NaOH	$y = -0,3991x^2 + 3,8315x - 0,6659$
Na ₂ CO ₃	$y = -1,2729x^2 + 12,577x - 2,35$

Максимальная интенсивность солеотложений наблюдается в течение первых трёх часов эксперимента (рис. 3, табл. 3).

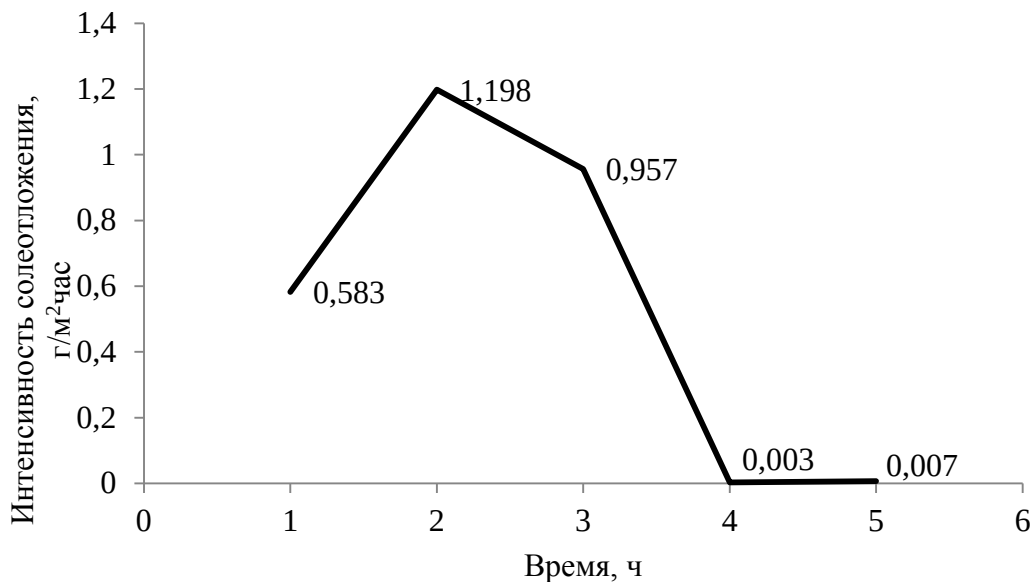


Рис. 3 – Изменение интенсивности солеотложения (нейтрализующая добавка – KOH)

Таблица 3 – Динамика изменения интенсивности солеотложения

Время, ч	КОН	NaOH	Na ₂ CO ₃
1	0,583	1,590	4,977
2	1,198	3,610	11,613
3	0,957	3,040	11,060
4	0,003	0,008	0,011
5	0,007	0,002	0,002

Аналогичные результаты получены для стали X18H10T.

Таким образом, математическое моделирование позволило получить значения констант скорости солеотложения при использовании в качестве нейтрализующих добавок содового раствора, растворов гидроксида калия и натрия. Найденные значения констант подтверждают, что применение гидроксида калия в качестве нейтрализующей добавки является оправданным с точки зрения снижения интенсивности солеотложения.

Список литературы

1. Морева Е.В., Нисина О.Е., Козлов С.Г., Кирьянов В.В. Исследование процесса отложения солей на технологическом оборудовании сушильного отделения химической обогатительной фабрики БКПРУ-4 ОАО «Уралкалий» // Молодёжная наука в развитии регионов: Материалы II Всероссийской конференции студентов и молодых учёных с международным участием. – Березники, 2012. С. 289 – 292.
2. Нисина О.Е., Козлов С.Г., Лановецкий С.В., Косвинцев О.К. Исследование процесса отложения солей на технологическом оборудовании. – Научно-технический вестник Поволжья, 2012. № 4. С. 164 – 168.
3. 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.

05.09.07

¹Е.Г. Мальцев к.т.н., ²А.В. Волков¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, кафедра Светотехника, Саранск, maltseveg@mail.ru²Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, кафедра Электроники и наноэлектроники, Саранск, elsoldador@rambler.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ РАЗРЯДНЫХ ЛАМП НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

В статье представлены результаты исследований разрядных ламп низкого давления при их питании импульсами тока повышенной частоты, а также схема электронного полупроводникового импульсного пускорегулирующего аппарата. Экономия электроэнергии в настоящее время является важной народно-хозяйственной задачей. Одним из путей её решения является переход на питание люминесцентных ламп импульсами тока повышенной (20 – 50 кГц) частоты.

Ключевые слова: *разрядная лампа низкого давления, импульсный режим, импульсный электронный пускорегулирующий аппарат, концентрация электронов, концентрация возбужденных атомов, ионизация.*

В настоящее время на цели искусственного освещения в России расходуется до 15 % всей вырабатываемой электроэнергии. Поэтому экономия электроэнергии путём повышения эффективности комплекта разрядная лампа низкого давления – пускорегулирующий аппарат (РЛНД - ПРА) является важной народнохозяйственной проблемой.

Одним из путей повышения эффективности комплекта РЛНД – ПРА является переход на питание люминесцентных ламп импульсами тока повышенной (20 – 50 кГц) частоты (ТПЧ). Для этого необходимо заменить традиционный электромагнитный ПРА на полупроводниковые пускорегулирующие аппараты повышенной частоты (ППРА ПЧ) [1,2].

Известно также, что импульсный режим наиболее благоприятен для работы транзисторов с точки зрения минимальных потерь потребляемой ими мощности. Поэтому в настоящей работе проводились исследования импульсного режима питания РЛНД токами повышенной частоты (ТПЧ).

Задачей исследований являлось решение принципиального вопроса о возможности повышения КПД выхода резонансной линии ртути длиной волны $\lambda=253,7$ нм (до 80% подводимой к лампе мощности идет на генерацию излучения этой линии) при импульсном питании ТПЧ, импульсы прямоугольной формы, по сравнению с питанием постоянным током. Питались РЛНД импульсами тока различной частоты и различной скважности. Под скважностью D мы понимали величину отношения длительности импульса к длительности периода процесса, равного сумме длительности паузы и импульса, т.е.

$$D = \frac{\tau_u}{\tau_u + \tau_n} \quad (1)$$

В качестве испытуемых нами использовались специально изготовленные люминесцентные лампы на 50% покрытые стандартным люминофором. В центре лампы имелось окно из увиолевого стекла, пропускающее ультрафиолетовое излучение. Диаметр окна был примерно 10 мм. Температура холодной точки $t_{х.т.}$ поддерживалась во время измерений постоянной при помощи водяного термостата.

Коэффициент полезного действия η выхода излучения линии 253,7 нм определялся по формуле:

$$\eta_u = \frac{I_{cp254}}{P_{лср}}, \quad (2)$$

где I_{cp254} – среднее за период значение фототока фотоэлемента Ф-29 по показаниям микроамперметра В7 – 27;

$P_{лср}$ – средняя за период мощность РЛНД при импульсном питании, которая определялась по формуле:

$$P_{лср} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{\tau_1} i_{л}(t) \cdot u_{л}(t) \cdot dt + \int_{\tau_1}^{\tau_2} i_{л}(t) \cdot u_{л}(t) \cdot dt \right] \quad (3)$$

где: $0 \div \tau_1$ – длительность паузы тока; $\tau_1 \div \tau_2$ – длительность импульса тока.

Из приведенных выше соображений первый интеграл равен нулю, а второй можно представить как:

$$P_{лср} = \frac{1}{T} I_m \int_{\tau_1}^{\tau_2} u_{л}(t) dt, \quad (4)$$

или

$$P_{лср} = I_m \cdot U_{лср}, \quad (4a)$$

где: $U_{лср}$ – среднее за период напряжение на РЛНД при импульсном питании.

Значения $U_{лср}$ легко могут быть измерены вольтметром постоянного тока.

В итоге КПД выхода излучения линии 253,7 нм можно определить как:

$$\eta_u = \frac{I_{cp254}}{I_m U_{лср}}. \quad (5)$$

Сравнение к.п.д. излучения при импульсном питании ЛЛ проводилось нами с режимом равного постоянного тока. КПД выхода излучения на постоянном токе определялся отношением:

$$\eta_0 = \frac{I_{o254}}{P_{ло}}, \quad (6)$$

где I_{o254} – интенсивность выхода линии 253,7 нм в относительных единицах в установившемся режиме;

$I_{ло}, U_{ло}, P_{ло}$ – ток, напряжение и мощность лампы на постоянном токе соответственно.

Относительный прирост КПД выхода излучения находился по формуле:

$$\Delta\eta = \frac{n_i - n_o}{n_o} 100\%. \quad (7)$$

Сравнение проводилось для следующих режимов:

- режим, при котором обеспечивалось равенство среднего за период тока при импульсном питании РЛНД (определяемого по показаниям амперметра постоянного тока) постоянному току лампы ($I_{лср} = I_{ло}$);

- режим, при котором обеспечивалось равенство средней за период мощности ЛЛ при импульсном питании мощности лампы на постоянном токе ($P_{лср} = P_{ло}$);

- режим, при котором обеспечивалось равенство среднего за период потока излучения линии 253,7 нм потоку излучения РЛНД на постоянном токе ($I_{cp254} = I_{o254}$).

При импульсном питании РЛНД варьировались следующие параметры:

- частота следования импульсов тока - $1 \div 50$ кГц;
- амплитуда импульсов тока РЛНД $I_m = 0,2 \div 0,5$ А;
- скважность $D = 1 \div 0,2$.

Исходя из полученных результатов, можно сделать выводы:

- на принципиальный вопрос о возможности повышения КПД выхода резонансного излучения линии 253,7 нм при импульсном питании РЛНД токами повышенной частоты по сравнению с постоянным током можно дать положительный ответ. Повышение составляет в среднем до 10% и зависит от длины и диаметра колбы лампы;

- КПД выхода резонансного излучения 253,7 нм возрастает с ростом частоты питающего тока (1÷50кГц) при фиксированной скважности и амплитуде импульса тока и на частотах свыше 25 кГц входит в режим насыщения;

- с ростом амплитуды импульса тока при постоянной частоте и скважности КПД выхода резонансного излучения снижается;

- в зависимости энергетического КПД выхода резонансной линии 253,7 нм от скважности питающего тока имеется максимум, положение которого зависит от частоты питающего тока;

- при постоянной амплитуде импульса тока с уменьшением скважности (увеличением паузы тока t_n) амплитуда напряжения в импульсе возрастает. Об этом же говорит и тот факт, что средняя за период мощность лампы с уменьшением скважности уменьшается нелинейно. Отсюда можно сделать вывод о возрастании градиента потенциала лампы при импульсном питании РЛНД.

В качестве примера импульсного питания разрядных ламп нами разработана схема ЭППРА на базе шимконтроллера IR2153, который имеет минимальное количество элементов. Контроллер IR2153 содержит в себе встроенный генератор и драйвер управления полумостовым инвертором на MOSFET транзисторе.

Рассмотрим более подробно схему, представленную на рис. 1. Она состоит из следующих элементов:

- входной выпрямитель;
- блок инвертора;
- схема розжига лампы.

Входной выпрямитель состоит из конденсаторов C1, C2, C3, C4, C5 (фильтр), L1, VD1(диодный мост)

Блок инвертора состоит из входного источника напряжения для питания шимконтроллера IR2153, выполненный на элементах R1, C6. На элементах R2', R2, C7 выполнена времязадающая RC цепочка для встроенного генератора IR2153. На элементах VD2 и C8 выполнен умножитель напряжения для обеспечения надёжной работы встроенного драйвера и входных транзисторов VT1 и VT2. Конденсатор C9 предназначен для сглаживания входного напряжения и согласования с трансформатором T1, а также для уменьшения насыщения трансформатора T1.

Блок зажигания выполнен на полупроводниковом выпрямителе VD4. Элементы C10, VD3, R5 и T1 образуют импульсно-зажигающее устройство.

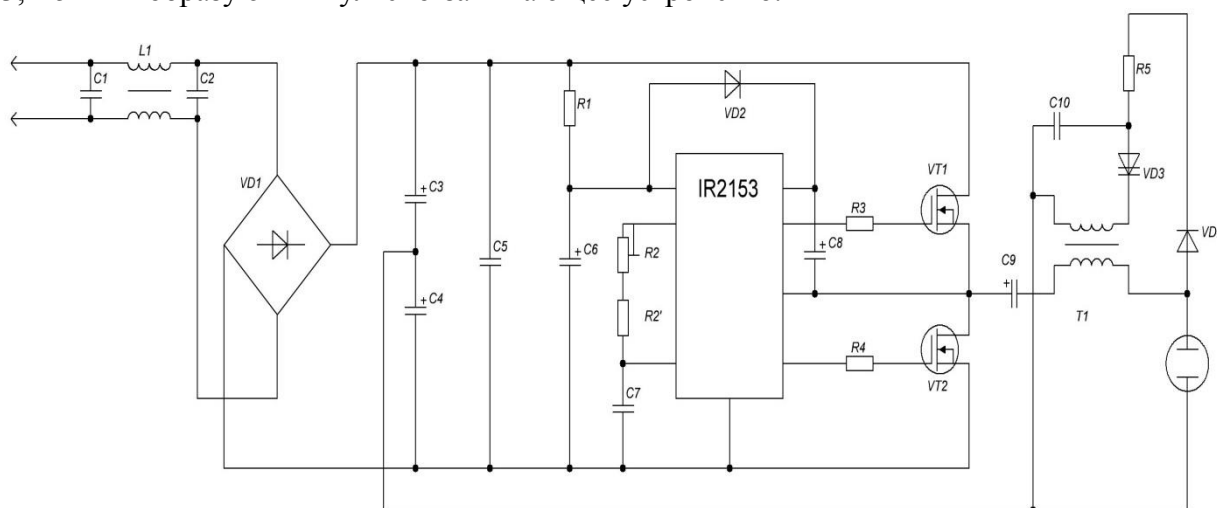


Рис. 1 Схема импульсного полупроводникового ИЭППРА.

Блок инвертора состоит из входного источника напряжения для питания шимконтроллера IR2153, выполненный на элементах R1, C6. На элементах R2', R2, C7 выполнена времязадающая RC цепочка для встроенного генератора IR2153. На элементах VD2 и C8

выполнен умножитель напряжения для обеспечения надёжной работы встроенного драйвера и входных транзисторов VT1 и VT2. Конденсатор С9 предназначен для сглаживания входного напряжения и согласования с трансформатором Т1, а также для уменьшения насыщения трансформатора Т1.

Список литературы

1. *Краснопольский А.Е.* Дифференциальная аппроксимация вольт- амперных характеристик люминесцентных ламп // Светотехника, 1978, №12. С. 10 – 11.
2. *Мальцев Е.Г.* Экспериментальные исследования излучения люминесцентных ламп при импульсном питании токами повышенной частоты. Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники энергетики: Сб. науч. тр. IX Междунар. науч.-техн. конф., Саранск, 14 декабря 2011 г. - Саранск: СВМО, 2011. С. 115-118.

05.13.01

Р.И. Насыров

Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», отделение энергетики и информатизации, кафедра системного анализа и информатики, Набережные Челны, rinasyrov@gmail.com

ПОТРЕБНОСТЬ В ПРОГРАММЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ НАКОПИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРАХ ЧАСТНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Выявлена потребность в разработанной программе прогнозирования надежности компьютерных накопителей информации среди частных пользователей. Произведена дифференциация пользователей по группам согласно степени потребности в программе прогнозирования надежности компьютерных накопителей информации. Обоснована цена предложения программы прогнозирования надежности компьютерных накопителей информации для частных пользователей.

Ключевые слова: программа, прогнозирование, накопитель информации, надежность.

Известно, что потребность в программе прогнозирования у крупных организаций обусловлена электронным документооборотом и наличием систем управления с большим количеством компьютерной техники. В процессе работы ежедневно выходят из строя элементы компьютеров, что приводит к частичной или полной утрате их работоспособности, результатом чего являются простои [1-2].

Как показал анализ всех возникающих в компьютерах технических неисправностей, большинство из них легко устранимы за счет замены отказавших элементов аналогичными рабочими. Единственными элементами, замена которых невозможна без существенных затрат времени на обеспечение их работоспособности, являются накопители информации, из-за необходимости восстановления данных.

Для сохранения возможности восстановления записанной информации у организаций имеется достаточно широкий спектр вариантов: от постоянного дублирования данных с каждого компьютера на сервер резервного копирования до вскрытия отказавших накопителей в условиях лаборатории и посекторного чтения с поверхности магнитных дисков при помощи специализированного оборудования. Однако эти способы не позволяют заметно сократить затрачиваемое при этом время.

Для решения проблемы длительного простоя при восстановлении данных был разработан метод прогнозирования надежности накопителей информации, ориентированный на возможность своевременной замены тех из них, у которых прогнозируемые значения параметров превышают критический уровень [3-8]. Сокращение времени простоя при использовании этого метода достигается за счет предварительной параллельной подготовки копии накопителя со всеми необходимыми данными без прерывания работы основного устройства.

Была разработана программа для прогнозирования надежности накопителей информации [9], целевой функцией которой является эффективность системы управления предприятием [10]. Минимум целевой функции достигается в точке, где все подлежащие замене согласно прогнозу накопители вовремя заменяются. Если заменять чаще, то возрастают расходы на оборудование, если опоздать и какой-нибудь накопитель выйдет из строя, то начинаются простои.

Возникает закономерный вопрос: есть ли потребность в подобном прогнозировании у частных пользователей? Если есть, то кто из них и за какую цену готов приобрести инструменты прогнозирования?

Отсюда целью исследования является выявление потребности среди частных пользователей в разработанной автором программе прогнозирования надежности компьютерных накопителей информации, а также дифференциация пользователей по группам согласно степени потребности и обоснование цены предложения данного инструмента прогнозирования.

Новизна исследования, в случае его положительных результатов, заключается в появлении возможности резкого расширения рынка сбыта и точной настройки потребительских свойств программы прогнозирования надежности компьютерных накопителей информации.

Для ответа на поставленные вопросы 24.05.13 г. среди студентов 4 курса Набережночелнинского института Казанского федерального университета был проведен опрос, в котором участвовало 79 человек, из них девушек – 69, юношей – 10, обучающихся по близким направлениям: «Бухгалтерский учет, анализ и аудит» – 31, «Финансы и кредит» – 38. Эта возрастная и социальная группа является активным пользователем персональных компьютеров, а также имеет полное представление о компьютерных системах управления в крупных организациях, на которых они проходили практику. Опрос проводился двумя способами: сначала требовалось распределить 100% своего мнения среди рассматриваемых факторов, а затем выбрать из них единственный, наиболее важный. Результаты обрабатывались с помощью среднеарифметического усреднения, определения мнения большинства, а также усреднения мнения при выборе только одного варианта из возможных.

Сначала рассматривался вопрос: «Нужна ли вам для домашнего компьютера подобная программа прогнозирования надежности накопителей информации?». Получено, что при процентном распределении своего мнения около 70% доли выбора как в среднем, так и для большинства опрошиваемых пришлось на то, что эта программа им нужна (рис. 1). В случае однозначного выбора эта доля возросла до 83%.

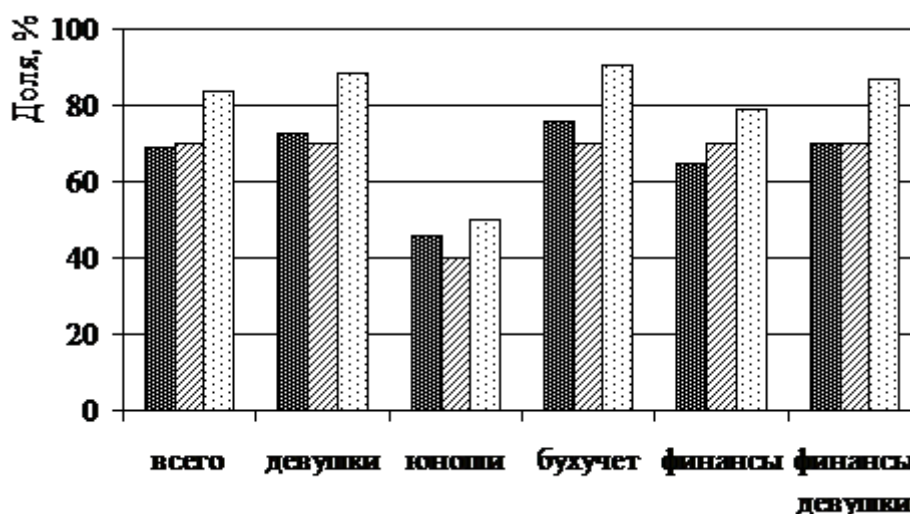


Рис. 1 – Мнение опрошенных, считающих указанные факторы важными: слева в каждой категории – усредненное мнение при процентном распределении, посередине – мнение большинства, справа – при единственном выборе

Девушкам эта программа значительно важнее, чем юношам. Для юношей можно сказать, что она по большей части им не нужна. Есть небольшие различия в потребности между бухгалтерами и финансистами, однако если учесть, что юноши являются исключительно финансистами, и сравнить мнение только девушек между собой, то различие становится несущественным.

Следующим рассматривался вопрос: «Какую цену вы готовы платить в год за работу программы прогнозирования надежности накопителей информации в вашем персональном компьютере?». Получено, что девушки как в среднем, так и однозначно выбирают цену в 100

рублей в год (рис. 2).

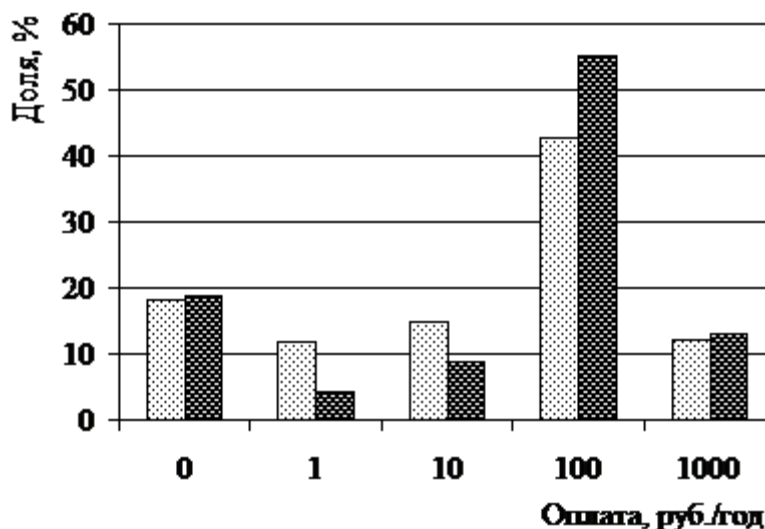


Рис. 2 – Мнение девушек: слева в каждой категории – усредненное мнение при процентном распределении выбора, справа – при единственном выборе

Юноши, в отличие от девушек, вообще не считают нужным платить за использование этой программы, она им попросту не является необходимой (рис. 3).

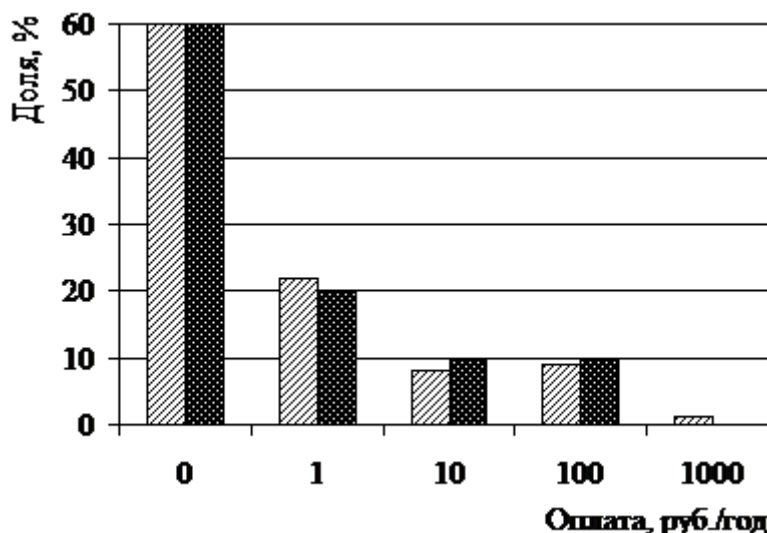


Рис. 3 – Мнение юношей: слева в каждой категории – усредненное мнение при процентном распределении выбора, справа – при единственном выборе

Таким образом установлено, что потребность в программе прогнозирования надежности накопителей информации в персональных компьютерах у частных пользователей есть, и она значительна. Основными потребителями являются девушки, которые готовы платить за использование этой программы 100 рублей в год. Юноши готовы обойтись без нее.

Исходя из результатов исследования, можно сделать вывод о возможности значительного расширения области применения программы прогнозирования надежности накопителей информации в компьютерных системах управления, разработанной вначале для крупных организаций, на сферу частных потребителей.

Список литературы

1. *Насыров И.И., Насыров Р.И.* Проблема оценки качества и надежности оборудования сложных автоматизированных систем управления производством // Третьи Камские чтения: матер. межрегион. науч.-практ. конф. 30 апр. 2011. Наб. Челны: ИНЭКА, 2011. С. 112-113.
2. *Насыров И.И., Насыров Р.И.* Анализ зависимости работы накопителей информации на жестких дисках для нечеткой нейросетевой модели оценки надежности систем управления промышленными предприятиями // Проектирование и исследование технических систем: межвуз. науч. сб. Вып. 18. Наб. Челны: ИНЭКА, 2011. С. 20-24.
3. *Насыров И.И., Насыров Р.И.* Прогнозирование надежности накопителей информации на жестких дисках // Образование и наука закамья Татарстана. 2011. № 22. URL: <http://www.nauctat.ru>.
4. *Насыров И.И., Насыров Р.И.* Критерии оценки надежности накопителей информации на жестких дисках // Социально-экономические и технические системы. 2011. № 3 (60). URL: <http://sets.ru>.
5. *Насыров Р.И.* Функциональное моделирование работоспособности оборудования систем управления машиностроительным предприятием // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров: матер. 77 междунар. науч.-техн. конф. ААИ, 27-28 марта 2012. Кн. 13. М.: МГТУ «МАМИ», 2012. С. 44-46. URL: <http://www.mami.ru/science/aai77/Start.html>.
6. *Насыров И.И., Насыров Р.И.* Методика формирования базы знаний интеллектуальной системы для диагностирования систем управления промышленными предприятиями // Четвертые Камские чтения: матер. межрегион. науч.-практ. конф. 27 апр. 2012. Наб. Челны: ИНЭКА, 2012. С. 105-106.
7. *Насыров И.И., Насыров Р.И.* Методика формирования базы знаний экспертной системы диагностики накопителей информации в системах управления промышленными предприятиями // Измерения, контроль и диагностика – 2012: матер. всеросс. науч.-техн. конф. 14-16 мая 2012. Ижевск: ИжГТУ, 2012. С. 253-256.
8. *Насыров И.И., Насыров Р.И., Ломаев Г.В.* Гибридный метод прогнозирования надежности накопителей информации. Saarbrücken, Deutschland: Palmarium academic publishing, 2012. 143 p.
9. *Насыров Р.И., Насыров И.И., Тимергалиев С.Н., Ломаев Г.В.* Программа ранжирования накопителей информации по степени надежности в компьютерных системах управления предприятиями // Образование и наука закамья Татарстана. 2012. № 25. URL: <http://www.nauctat.ru>.
10. *Насыров Р.И.* Целевая функция при разработке программы оценки и прогнозирования надежности накопителей информации в системах управления предприятиями // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 1. – С. 226-229.

05.13.10

А.В. Новичихин

Сибирский государственный индустриальный университет,
кафедра разработки пластовых месторождений,
Новокузнецк, novitchihin@pochta.ru

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ТОПЛИВНО-СЫРЬЕВОГО РЕГИОНА: ПРОЦЕДУРЫ И МОДЕЛИ

В статье представлена процедура планирования в социально-экономических системах топливно-сырьевого региона. Предложен модельный комплекс планирования, учитывающий пределы энергетического сырья в регионе.

Ключевые слова: планирование, процедура управления, топливно-сырьевой регион; пределы энергетического сырья.

Современные условия функционирования социально-экономических систем (СЭС) топливно-сырьевого региона (ТСР) обуславливают более высокие требования к планированию (например, [1, 6]), которое заключается в разработке стратегий, программ функционирования и развития, включая периодическое формирование кратко-, средне- и долгосрочных прогнозов и гибкое изменение стратегий и программ, а также адаптацию к быстро изменяющимся условиям. В основе предлагаемого механизма планирования лежит соответствующая процедура (рис. 1). Механизм планирования взаимосвязан с соответствующими процедурами диагностики, адаптации и изменений [4].

Результатами реализации механизма планирования являются кратко-, средне- и долгосрочный прогноз, определение показателей функционирования и направлений развития СЭС топливно-сырьевого региона на основе мультиагентных динамических моделей [3]. Получаемые в результате моделирования показатели функционирования СЭС обеспечивают многокритериальную и интегральную оценки эффективности на базе частных и обобщенных показателей планируемых преобразований, которые представляют общую характеристику социально-экономических процессов, удобную для представления ЛПР, даже для не владеющего специальными навыками моделирования и обработки информации. Разработанные модели являются громоздкими, поэтому в настоящей работе представлены в укрупненном виде.

Модель «Экономика». Показателем эффективности функционирования СЭС ТСР, определяемым в модели «Экономика», является *вклад в валовой региональный продукт (ВРП) на душу населения*, который занимает приоритетное положение в системе региональных счетов.

ВРП (определяемый производственным методом) – сумма валовой добавленной стоимости (ВДС) всех резидентных единиц экономики [7]. ВРП составляет региональный счет производства по видам экономической деятельности и определяется в текущих основных ценах, включающих все налоги за вычетом субсидий на продукты.

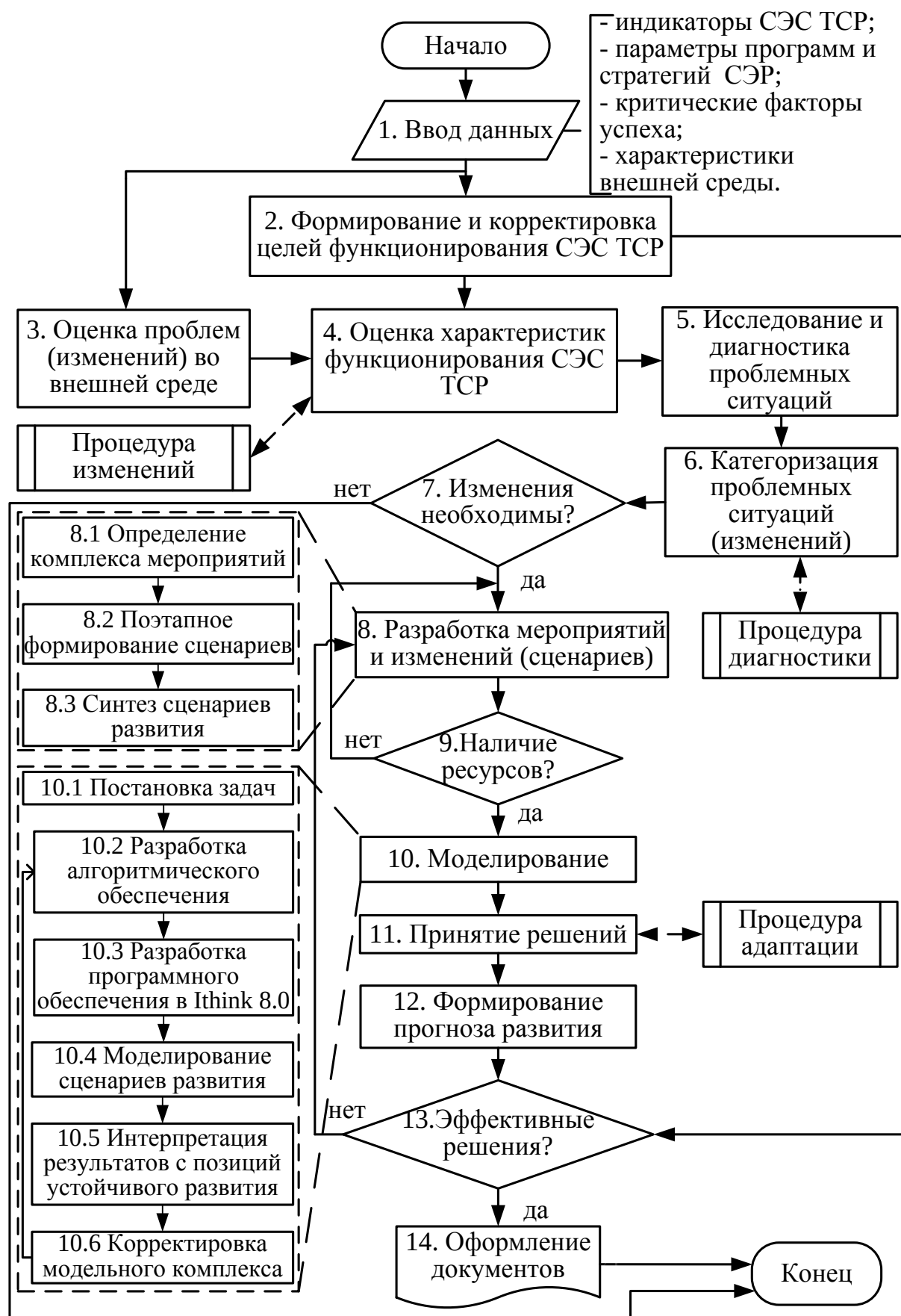


Рис. 1 – Процедура планирования в СЭС топливно-сырьевого региона

В общем виде вклад в ВРП на душу населения $\Delta GRPP(t)$ определяется:

$$\Delta GRPP(t) = \int_{t_0}^t \left[\frac{\sum_{n=1}^p GVA_n}{PR} \right] (\theta) d\theta, \quad (1)$$

где θ – переменная; GVA_n – ВДС n -ой резидентной единицы экономики ТСР; p – количество резидентов экономики ТСР; PR – численность населения ТСР; t – горизонт прогнозирования.

ВДС в условиях ТСР определяется с учетом переделов энергетического сырья. Учет переделов энергетического сырья обеспечивает повышение точности расчетов ВРП и выявление конкурентных преимуществ ТСР с целью реализации более высоких стадий переработки для повышения эффективности экономики региона.

Модель «Полюса роста». Показателем эффективности функционирования СЭС ТСР, определяемым в модели «Полюса роста», является *чистый дисконтированный доход (NPV)*. Выбор *NPV* обуславливается законами рыночной экономики, возможностью оценки экономических показателей СЭС ТСР в текущем и будущих периодах функционирования с учётом инфляции и проблемных ситуаций.

В общем виде *NPV* (например, [5]) определяется:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+E)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{Inv_t}{(1+E)^t}, \quad (2)$$

где CF_t – денежный поток за период t ; Inv_t – сумма инвестиций в сценарий в период t ; E – ставка дисконтирования; T – период реализации сценария развития СЭС ТСР.

Инвестиции для реализации сценария развития учитываются в виде кредитных средств для капитальных вложений в строительство, техническое перевооружение, расширение предприятий соответствующих переделов в ТСР. В выражении (2) инвестиции учитываются следующим образом: выплаты по процентам за пользование кредитом в затратах на производство и реализацию продукции; выплаты основного долга в инвестициях для реализации сценария.

Расходы на строительство или реконструкцию предприятий соответствующих переделов вместе с другими капитальными затратами (на приобретение основных фондов или нематериальных активов) за предполагаемый срок эксплуатации предприятия определяются с учетом дисконтирования. В модели учитываются транспортные затраты, зависящие от места расположения предприятий первого, второго и третьего переделов, технологических стадий переделов энергетической продукции ТСР и объемов перевозимых грузов. Предполагается, что транспортные затраты включают капитальные расходы и себестоимость перевозки (в случае использования услуг транспортных компаний учитывается плата за перевозку).

Модель «Социум». Показателем эффективности функционирования СЭС ТСР, определяемым в модели «Социум», является *количество новых рабочих мест*.

Количество новых рабочих мест в ТСР предлагается определять:

$$NJ(t) = \int_{t_0}^t \left[\sum_l \left(\sum_i NJ_i^l + \sum_j NJ_j^l + \sum_r NJ_r^l \right) \right] (\theta) d\theta, \quad (3)$$

где NJ_i^l , NJ_j^l , NJ_r^l – соответственно количество новых рабочих мест l -го вида в результате строительства или реконструкции i -го предприятия первого передела, j -го предприятия второго передела, r -го предприятия третьего передела.

Модель «Экология». В качестве показателя эффективности, определяемого в модели «Экология», предлагается использовать *комплексную интенсивность загрязнения окружающей среды (КИЗОС)*, которая является одним из показателей природоемкости (наряду с экологоемкостью, ресурсоемкостью и т.д.).

Выделяют два типа показателей природоемкости [2]: 1) удельные затраты природных ресурсов в расчете на единицу конечного результата (конечной продукции); 2) удельные величины загрязнений в расчете на единицу конечного результата (конечной продукции).

Под природоемкостью СЭС ТСР понимается приоритетный эколого-экономический показатель развития территорий или отраслей промышленности, отражающий антропогенную нагрузку различных СЭС ТСР на окружающую среду.

Неблагоприятная экологическая обстановка в ТСР РФ является следствием приоритетов деятельности различных СЭС ТСР, реализующих переделы энергетических продуктов, которые оказывают значимую нагрузку на окружающую среду в виде: а) выбросов, загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников; б) сбросов загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты; в) отходов производства и потребления. При этом значимая нагрузка наблюдается по каждому из данных показателей. Под КИЗОС $PI(t)$ понимается удельная величина всех видов загрязнений в расчете на единицу конечного результата (вклада в ВРП), которая определяется:

$$PI(t) = \int_{t_0}^t \left[\frac{\sum_{n=1}^p (EA_n + EW_n + EL_n)}{\Delta GRP} \right] (\theta) d\theta, \quad (4)$$

где ΔGRP – вклад в ВРП ТСР; EA_n – объемы выбросов, загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников n -ой резидентной единицы экономики ТСР; EW_n – объемы сбросов загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты n -ой резидентной единицы экономики ТСР; EL_n – объемы отходов производства и потребления n -ой резидентной единицы экономики ТСР.

Модель «Природно-ресурсный потенциал». В модели «Природно-ресурсный потенциал» в качестве показателя эффективности функционирования СЭС ТСР предлагается *природная ресурсоотдача (RI)*. Под природной ресурсоотдачей понимается удельная величина конечного результата (стоимости товарной продукции) на единицу использованного природного ресурса. Выбор RI обусловлен необходимостью смены сырьевой ориентации функционирования ТСР РФ на выпуск товарной продукции высоких переделов посредством диверсификации производств и рационального недропользования.

Природную ресурсоотдачу предлагается определять:

$$RI(t) = \int_{t_0}^t \left[\frac{\sum_k U_k^{III} \cdot X_k^{III}}{\sum_i Q_i} \right] (\theta) d\theta, \quad (5)$$

где U_k^{III} – стоимость в текущих основных ценах 1 т товарной продукции соответствующих переделов, производимых на предприятиях i, j, r , для k потребителя; X_k^{III} – объем товарной продукции соответствующих переделов, производимых на предприятиях i, j, r , для k потребителя; Q_i – объем отработанных балансовых запасов угля на i -ом предприятии первого передела.

Разработанный модельный комплекс реализован в среде Ithink 8.0 для обеспечения имитационного моделирования сценариев функционирования СЭС ТСР на различный горизонт прогнозирования для разработки, адаптации и изменения соответствующих программ развития.

Список литературы

1. Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Механизмы управления эколого-экономическими системами; под ред. С.Н. Васильева. М.: Физматлит, 2008. 244 с.
2. Индикаторы устойчивого развития России (эколого-экономические аспекты): под ред. С.Н. Бобылева, П.А. Макеенко. М.: ЦПРП, 2001. 220 с.
3. Новичихин А.В. Разработка процедуры планирования в социально-экономических системах топливно-сырьевого региона // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 2. С. 261-264.
4. Новичихин А.В., Фрянов В.Н. Социально-экономические системы топливно-сырьевого региона: механизмы адаптивного управления // Проблемы теории и практики управления. 2012. № 3. С. 40-46.
5. Финансовый менеджмент: теория и практика: Учебник; под ред. Е.С. Стояновой. 6-е изд. М.: Перспектива, 2010. 656 с.
6. Шнипер Н.И. Регион: экономические методы управления. Новосибирск: Наука, 1991. 320 с.
7. Энциклопедия статистических терминов: в 8 т. / Том 4. Экономическая статистика. М.: Росстат, 2011. 822 с.

05.13.06

М.Я. Пашаев, М.Ш. Минцаев

Грозненский Государственный Нефтяной Технический Университет
им. акад. М.Д. Миллионщикова, факультет автоматизации и прикладной информатики,
кафедра «Автоматизация и управление», г. Грозный, ranas@rambler.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СКЛАДСКОГО ГРУЗООБОРОТА: АКТУАЛЬНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ

В статье выполнено описание процесса складского грузооборота, изложены основные проблемы его автоматизации и обоснована их актуальность. Приведены существующие способы решения данных проблем. Сформулирована постановка задачи и перечислены вопросы, которые планируется решить в результате исследования. Приведено краткое описание информационных технологий, выбранных для дальнейшей алгоритмической и программной реализации.

Ключевые слова: *складской грузооборот, автоматизация складского грузооборота, ГЛОНАСС.*

Введение

Складские комплексы – (далее СК) одна из отраслей экономической составляющей крупных и средних предприятий России. По объему складского грузооборота Россия занимает лидирующие позиции на мировом рынке и вопросы повышения эффективности данного направления являются, несомненно, актуальными. Для обеспечения эффективной работы складских комплексов в настоящее время необходимы прорывные инновационные разработки, направленные на оптимизацию текущей и перспективной деятельности с использованием современных технических средств. Именно к таким разработкам относится интеграция современных спутниковых технологий с системами связи и передачи данных в повседневной работе складского грузооборота для оптимального управления потоками груза и логистикой. Внедрение подобных систем, автоматизирующих процессы складского грузооборота, позволяет контролировать местоположение транспортных средств и грузов, осуществлять непрерывное слежение, обеспечивая условия безопасности [1-2].

Описание объекта и проблемы исследования

В общей модели системы функционирования складского грузооборота (СГ) разрабатываемая автоматизированная система, обеспечивающая выполнение необходимых задач, должна представлять собой совокупность бортового интеллектуального комплекса со средствами автоматизации, которые осуществляют позиционирование, а также информационную поддержку водителей складских каров (посредством информационного графического оповещения на дисплей бортового ПК водителя и голосовой поддержки) и наземного интеллектуального комплекса, обеспечивающего автоматизацию работы подразделений, управляющих перевозочным процессом.

Необходимым условием создания автоматизированной системы является наличие:

- специализированных навигационных карт, основным элементом которых является реальная инфраструктура предприятия (стойки, стеллажи, точные обозначения отведенных мест хранения, пути следования складских каров, и т.д.). Следует отметить, что при применении предлагаемой автором статьи системы автоматизации предприятию будет поставляться готовая коробочная версия с необходимым программным обеспечением, позволяющим автоматизированным способом создавать и редактировать электронную карту склада предприятия с учетом геометрических особенностей препятствий и разрабатываемых маршрутов.

- бортового интеллектуального комплекса для подвижных средств.
- наземного интеллектуального комплекса для диспетчерских служб.
- системы связи и передачи данных на основе современных информационных технологий.

Общая структура разрабатываемой системы представлена на рис. 1



Рис. 1 - Обобщенная структура автоматизированной системы управления (АСУ) складским грузооборотом

Предлагаемые технические решения

Специализированные электронные навигационные карты участков движения необходимо формировать с помощью специально разработанного программного обеспечения. На подвижных средствах необходимо установить оборудование, обеспечивающее прием спутниковых сигналов, получение навигационной информации для формирования специализированных карт с учетом складской инфраструктуры.

Бортовой интеллектуальный комплекс должен представлять собой автоматизированную систему навигации, которая обеспечивает возможность автоматического приема, отображения и передачи навигационной информации, формирования сообщений о проходе складским каром необходимых опорных точек, для достижения большей наглядности рабочего процесса. При дополнении штатного оборудования СК современной системой спутниковой навигационной информации и применении алгоритмов автоматизации, появится возможность отображения в режиме реального времени общей складской обстановки на заданных участках движения [3].

Наземный интеллектуальный комплекс должен представлять собой комплекс аппаратных (сервера, АРМы) и программных средств, объединенных в единую систему, основное назначение которой: повышение надежности и оперативности контроля и управления потоками подвижных складских ТС путем автоматизации процессов приема и обработки навигационной информации, определение дислокации ТС, формирование и передача сообщений о проходе необходимых опорных точек в АСУ перевозочного процесса, планирование, координирование расчета параметров движения ТС, выбор оптимальных маршрутов движения.

Вместе с тем, для обеспечения функционирования столь сложной АСУ, в состав которой входят бортовые иностранные программно-технические комплексы, необходимо разработать *специальную систему связи передачи данных* на базе современных цифровых технологий.

В настоящее время на складах, для связи с подвижными объектами используются аналоговые системы радиосвязи, которые не позволяют обеспечить решение вышеперечисленных задач. К тому же эти системы не могут обеспечить передачу массива данных.

Поэтому актуальной задачей является выбор и внедрение таких технологий, которые решали бы традиционные задачи существующих систем связи и одновременно обеспечивали бы решение задач современных бортовых и наземных интеллектуальных комплексов.

Отдельное внимание необходимо уделить целостности и безопасности передаваемых данных между составными частями автоматизированной системы, используя эффективные технологии защиты, конфиденциальности и целостности информации при ее передаче между рабочими станциями и точками доступа. Для выполнения этих задач представляют практический интерес сети VPN (Virtual Private Network — виртуальная частная сеть), различные алгоритмы криптографии и так далее.

Для создания автоматизированной системы связи и передачи данных для транспортных средств складского грузооборота также необходим стандарт связи, удовлетворяющий необходимым требованиям для функционирования всей системы в целом.

На современном этапе развития информационных цифровых технологий передачи данных есть возможность использования, бортового интеллектуального комплекса с технологиями «Assisted» и «Режимом дифференциальных поправок».

Данные Assisted используются:

- для уменьшения TTFF (Time to First Fix – время получения первого решения) при «холодном» старте;
- для повышения чувствительности/помехоустойчивости приемника GNSS (Global Navigation Satellite Systems - глобальные навигационные спутниковые системы), случае, когда приемник GNSS следит за сигналом, но не в состоянии выделить данные из-за низкого уровня сигнала и/или срывов в слежении.

Использование дифференциальных поправок:

- данные дифференциальных поправок используются для реализации дифференциального режима работы приемника GNSS, предназначенного для улучшения точностных характеристик и повышения достоверности решения.

Для безопасного и стабильного обмена информацией между бортовыми комплексами и телематическим сервером рекомендуется использовать специализированные программные средства, позволяющие организовать распределенную корпоративную сеть, представляющую собой объединение отдельных компьютеров в виртуальной сети, которая обеспечивает целостность и безопасность передаваемых данных. Она должна обладать свойствами выделенной частной сети и позволять передавать данные между двумя компьютерами через промежуточную сеть (internetwork), например Internet.

Список литературы

1. Принципы работы и возможности современного программного обеспечения при использовании навигационных спутниковых систем в управлении автомобильными перевозками / *И.Н. Пугачев, Ю.И. Куликов, Г.Я. Маркелов* // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: межвуз. сб. науч. статей / Самар. Гос. Техн. ун-т. – Самара, 2010. – С. 222-237.
2. Использование навигационных спутниковых систем в управлении автомобильными перевозками / *И.Н. Пугачев, Ю.И. Куликов, Г.Я. Маркелов* // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2011. - № 4. – С.64-69.
3. Комплект автомобильного терминала // Руководство по эксплуатации ТДЦК.46151.118РЭ

05.02.22

К.А. Пекина

ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ–Прогресс», г. Самара, ksenia160597@yandex.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ КОНКУРЕНТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ

Разработаны модели и механизмы конкурентного взаимодействия между промышленными комплексами по производству ракетно-космической техники в условиях объемной конкуренции, как инструментов обоснованного принятия устойчивых равновесных решений по выбору эффективных конкурентных стратегий при формировании производственной программы с целью максимизации прибыли с учетом надежности изделия.

Ключевые слова: *организационный механизм конкурентного взаимодействия, производственная программа, надежность.*

Увеличение присутствия российских предприятий на мировых рынках выступает характерной чертой современного этапа развития отечественной промышленности. Это, в первую очередь, касается наукоемких отраслей, в частности ракетно-космической, которая постоянно расширяет свои позиции на международном рынке космических услуг.

В целом российская ракетно-космическая промышленность имеет на рынке производства ракетно-космической техники достаточно устойчивые позиции. Ее доля в общемировом производстве ракетно-космической техники в 2011 г. была равна 10,7%.

Ключевым фактором, позволяющим обеспечить достижение планируемого роста доли присутствия Российской Федерации на международном космическом рынке, является повышение уровня конкурентоспособности ее ракетно-космической техники. Для решения поставленной задачи предусмотрены следующие направления работы:

- внедрение перспективных базовых и критических технологий машиностроения, приборостроения и материаловедения;
- развитие экспериментальной базы для отработки перспективной космической техники;
- освоение технологий создания средств межспутниковой связи, бортовой аппаратуры цифровой обработки сигналов и информации, микроэлектромеханических и робототехнических систем, новых датчиковых систем, транспортно-энергетических систем;
- совершенствование системы управления ракетно-космической промышленности, осуществление комплексных мероприятий по её реструктуризации, техническому переоснащению и реконструкции предприятий ракетно-космической промышленности и объектов наземной космической инфраструктуры;
- развитие кадрового потенциала отрасли;
- расширение государственно-частного партнерства [1].

Планируется, что особое внимание будет уделено развитию тех сфер, в отношении которых Россия обладает существенными конкурентными преимуществами. В первую очередь, это касается предоставления услуг по выведению на орбиту полезных нагрузок, ракетного двигателестроения и пилотируемой космонавтики.

Учитывая, что уровень надежности изделия, измеряемый вероятностью его безаварийной работы, определяет конкурентоспособность предприятия, рассмотрена проблема выбора организационного механизма конкурентного взаимодействия, обеспечивающего устойчивое равновесное состояние на рынке в условиях объемной конкуренции [2].

Пусть на рынке участвуют n предприятий по производству и запуску ракет-носителей, величина которых $q_i(\omega_i)$, $i = \overline{1, n}$, зависит от уровня надежности. Для определения

оптимальных значений уровня надежности при максимизации объема производства предложена следующая модель механизма конкурентного взаимодействия:

$$\text{ОП}_i(\omega) = p(q(\omega))q_i(\omega_i) \rightarrow \max_{\omega_i}, i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

$$\underline{\omega}_i \leq \omega_i \leq \overline{\omega}_i,$$

где $\underline{\omega}_i, \overline{\omega}_i$ – нижний и верхний предел надежности i -го предприятия.

Задача каждого предприятия в соответствии с (1) сводится к определению такого уровня надежности изделия, которое обеспечивает максимальное значение объема производства с учетом инвестиций в качество. Дифференцируя целевые функции модели по параметрам $\omega_i, i = \overline{1, n}$ получим:

$$\frac{\partial \text{ОП}_i(\omega)}{\partial \omega_i} = \frac{\partial p(q(\omega))}{\partial q_i(\omega_i)} \frac{\partial q_i(\omega_i)}{\partial \omega_i} q_i(\omega_i) + p(q(\omega)) \frac{\partial q_i(\omega_i)}{\partial \omega_i} = 0, i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Из системы (2) следует, что решение систему существует внутри допустимой области $\underline{\omega}_i \leq \omega_i \leq \overline{\omega}_i, i = \overline{1, n}$, если выполняются следующие неравенства:

$$\left\{ \frac{\partial p(q(\omega))}{\partial q_i(\omega_i)} < 0, i = \overline{1, n} \right\} \wedge \left\{ \frac{\partial q_i(\omega_i)}{\partial \omega_i} > 0, i = \overline{1, n} \right\} \wedge \{p(q(\omega)) > 0\}. \quad (3)$$

Для выполнения совокупности неравенств (3) необходимо, чтобы обратная функция спроса была убывающей, неотрицательной, а объем выпуска и затрат увеличивался с ростом уровня надежности для каждого участника рынка. В результате решения системы (2) определяются такие значения параметров надежности, которые обеспечивают максимальное значение критерия задачи (1).

Полученные результаты проиллюстрированы при параметрически заданных следующих функциях выпуска, обратной функции спроса, каждая из которых зависит от показателей надежности:

$$\begin{aligned} q_i(\omega_i) &= q_{0i} + \delta_i \omega_i, i = \overline{1, n} \\ p(q(\omega)) &= p_0 - b \sum_{i=1}^n (q_{0i} + \delta_i \omega_i), \end{aligned} \quad (4)$$

где δ_i – скорость нарастания объема выпуска изделия в зависимости от изменения уровня их надежности, q_{0i} – начальный выпуск изделий i -го предприятия.

Систему уравнений (2) с учетом (4) представим в виде

$$\omega_i^* = \frac{p_0 - b \sum_{j=1}^n q_{0j} - b^0 q_{0i}}{2b\delta_i} - \frac{\sum_{j \neq i}^n \delta_j \omega_j}{2\delta_i}, \underline{\omega}_j \leq \omega_j \leq \overline{\omega}_j, i, j = \overline{1, n}, j \neq i \quad (5)$$

Каждое из уравнений системы (5) представляет собой оптимальную с позиции критерия максимизации объема производства ответную стратегию на выбранную его конкурентами значение уровня надежности выпускаемых изделий.

Решая систему (5) относительно значений надежности изделия получим следующие равновесные их значения:

$$\omega_i^p = \frac{p_0 - b \sum_{j=1}^n q_{0j} - \delta q_{0i}}{3b\delta_i}, i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Из (6) следует, что значение уровня надежности является неотрицательной величиной, если для начального объема выпуска изделий каждым участником выполняется следующие неравенства:

$$q_{0i} < \frac{p_0 - b \sum_{j \neq i}^n q_{0j}}{2b}, i = \overline{1, n}. \quad (7)$$

В работе сформулирована задача и сформулирована следующая модель организационного механизма конкурентного взаимодействия между предприятиями, каждый из которых использует в качестве критерия величину получаемой прибыли:

$$\text{Пр}_i(\omega) = [p(\omega) - c_i^q(\omega_i)]q_i(\omega_i) - c_i^\omega(\omega_i) \rightarrow \max_{\omega_i}, i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} P(q(\omega)) &= p_0 - b \sum_{j=1}^n (q_{0j} + \delta_j \omega_j), q_i(\omega_i) = q_{0i} + \delta_i \omega_i, \\ C_i^q(\omega_i) &= c_{0i} - \gamma_i \omega_i, \quad C_i^\omega(\omega_i) = C_i^\omega \omega_i^2, \underline{\omega}_i \leq \omega_i \leq \overline{\omega}_i, \end{aligned}$$

где $C_i^q(\omega_i)$ – удельные затраты i -го предприятия, γ_i – скорость снижения удельных затрат при изменении уровня надежности, $C_i^\omega(\omega_i)$ – затраты i -го предприятия на повышение уровня надежности изделия.

Из необходимых условия задачи (8) $\frac{\partial \Pi_i(\omega)}{\partial \omega_i} = 0, i = \overline{1, n}$, получена следующая система уравнений линейной реакции каждого предприятия в процессе их конкурентного взаимодействия.

$$\omega_i^* = \frac{(P_0 - b \sum_{j=1}^n q_{0j} - c_{0i}^q) \delta_i - (b \delta_i - \gamma_i) q_{0i} - b \delta_i \sum_{j \neq i} \delta_j \omega_j^*}{2 \delta_i (b \delta_i - \gamma_i) + c_{0i}^\omega} \quad (9)$$

$$\underline{\omega}_j \leq \omega_j^* \leq \overline{\omega}_j, i = \overline{1, n}, j \neq i.$$

В результате решения системы линейных уравнений относительно переменных ω_i^* , $i = \overline{1, n}$, определяется равновесное по уровню надежности состояние рыночной системы.

Из анализа системы уравнений (9) следует, что уровень надежности изделия находится в заданных пределах для каждого предприятия, если одновременно выполняются следующие неравенства.

$$\left\{ q_{0i} < \frac{(P_0 - b \sum_{j=1}^n q_{0j} - c_{0i}^q) \delta_i}{b \delta_i - \gamma_i}, i = \overline{1, n} \right\} \wedge \{ b \sigma_i > \gamma_i, i = \overline{1, n} \} \quad (10)$$

Полученные результаты проиллюстрированы на числовом примере выбора уровня надежности изделий предприятиями. Параметры функций спроса на изделия первого и второго предприятия и функциональной зависимости цен от уровня надежности определяются следующим образом:

$q_{01} = q_{02} = q_0 = 26$ шт – емкость рынка космических услуг; $\delta_1 = 5$ шт.; $\delta_2 = 4,85$ шт. – коэффициенты чувствительности объема спроса к уровню надежности у первого и второго предприятия; $b = 0,2 \cdot 10^6$ д. ед./шт. – скорость уменьшения цены у каждого предприятия, в зависимости от изменения объема выпуска; $p_1 = 18,52 \cdot 10^6$ д.ед. – начальная цена изделия, выпускаемого первым и вторым предприятием.

При имеющихся данных функции спроса на изделия первого и второго предприятия будут иметь вид:

$$q_1(\omega) = q_0 + \delta_1 \omega_1 = 26 + 5 \omega_1;$$

$$q_2(\omega) = q_0 + \delta_2 \omega_2 = 26 + 4,85 \omega_2;$$

При известной функции спроса каждым участником рынка модель задачи выбора уровня надежности изделия при максимизации объема производства имеет вид:

$$\begin{aligned} \text{ОП}_1(\omega) &= P_0 - b \sum_{j=1}^n (q_0 + \delta_i \omega_i)(q_0 + \delta_j \omega_j) = \\ &= [13,3 \cdot 10^6 - 0,2 \cdot 10^6 (52 + 5 \omega_1 + 4,85 \omega_2)] (52 + 5 \omega_1) \rightarrow \max \text{ по } \omega_1 \\ \text{ОП}_1(\omega) &= [18,52 \cdot 10^6 - 0,2 \cdot 10^6 (52 + 5 \omega_1 + 4,85 \omega_2)] (52 + 5 \omega_2) \rightarrow \max \text{ по } \omega_2 \end{aligned}$$

В результате решения задачи получена следующая система необходимых условий оптимальности уровня надежности изделий:

$$\begin{cases} \omega_1^* = \frac{(P_0 - b \sum_{j=1}^n q_{0j} - b q_{01})}{2 b \delta_1} - \frac{\delta_2 \omega_2}{2 b_1} = 1,46 - 0,485 \omega_2^*, \\ \omega_2^* = \frac{(P_0 - b \sum_{j=1}^n q_{0j} - b q_{01})}{2 b \delta_2} - \frac{\delta_1 \omega_1}{2 b_2} = 1,505 + 0,515 \omega_1^* \end{cases}$$

Решая систему двух уравнений получим, что равновесные значения уровней надежности изделия первого и второго предприятия составят величину:

$$\omega_1^0 = 0,987$$

$$\omega_2^0 = 0,99$$

Подставляя равновесные значения уровней надежности в функции спроса, получим следующие равновесные значения объема выпуска изделий для каждого предприятия:

$$q_1^0 = 31 \text{ шт. и } q_2^0 = 31 \text{ шт.}$$

Подставляя равновесные значения уровней надежностей в уравнение для обратной функции спроса получим следующие значения равновесной цены изделия:

$$p(\omega) = 5,32 \cdot 10^6 \text{ д. ед.}$$

Равновесные значения объема производства в стоимостном выражении равны:

$$ОП_1^0 = ОП_2^0 = 31 \cdot 5,32 \cdot 10^6 \text{ д. ед.}$$

Из полученных результатов следует, что высокий уровень надежности у первого и второго предприятия в точке равновесия обеспечивает им эффективный результат с позиции критерия максимизации объема производства. Следует также отметить, что условия устойчивости равновесного решения выполняются, то есть параметры функций спроса для каждого участника рынка обеспечивают устойчивость конкурентной среды.

Таким образом, рассмотрена задача формирования организационного механизма конкурентного взаимодействия и на этой основе осуществлен выбор конкурентных стратегий по формированию производственной программы при максимизации прибыли в условиях конкуренции. С учетом надежности изделия сформулирована постановка задачи, определены множества оптимальных стратегий для каждого участника космического рынка и сформированы условия, выполнение которых обеспечивает существование равновесных и устойчивых стратегий рынка средств выведения.

Список литературы

1. Федеральная космическая программа России на 2006-2015 гг (ФКП-2015): постановление Правительства РФ от 22.10.2005 г. № 635 [Электронный ресурс] / Официальный сайт Федерального Космического Агентства (РОСКОСМОС). – Режим доступа: http://www.federspace.ru/media/files/docs/3/fkp_2006_2015_osn_pol.doc
2. Канчавели, А.Д., Канчавели Т.Г. Стратегическое управление организационно-экономической надежностью производственно-коммерческих систем / А.Д. Канчавели, Т.Г. Канчавели. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 98 с.

05.17.07

С.Н. Пепеляев к.х.н., Р.А. Анферова, М.В. Касаткина, Е.И. Мошкина, В.А. Оборская

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
химико-технологический факультет, Пермь, opereyaev@mail.ru

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ УГЛЕВОДОРОДОВ В КАПИЛЛЯРНОМ КОАЛЕСЦЕРЕ

Проведены эксперименты по разрушению спиртоводной эмульсии дизельного топлива в капиллярном коалесцере. Выявлено существенное изменение как фракционного, так и группового состава дизельного топлива, при прохождении эмульсии через коалесцер с различной скоростью. Изменение состава дизельного топлива приводит также и к изменению его низкотемпературных свойств – температур помутнения и застывания.

Ключевые слова: *дизельное топливо, эмульсия, коалесценция, фракционный состав, химический состав, н-парафины, низкотемпературные свойства.*

Вторичные процессы переработки нефтяных фракций, направленные на улучшение эксплуатационных свойств либо самих фракций, либо конечных продуктов, характеризуются, как правило, большими экономическими затратами связанными с их технологической сложностью. Так удаление н-парафинов из нефтяных дистиллятов методами депарафинизации [1-3] имеет ряд недостатков: во-первых, предполагает стадию отделения растворителя, как от парафинов, так и от депарафинизата – ректификацию – процесс достаточно энергоемкий; во-вторых, уменьшает выход дизельного топлива и приводит к снижению его цетанового числа, что ухудшает воспламеняемость топлив [2, 3]. Поэтому, при производстве зимних сортов топлив приходится прибегать к компромиссу между двумя трудносочетимыми свойствами топлива: низкой температурой помутнения и низкой температурой самовоспламенения.

В связи с этим в настоящее время проводится активный поиск новых физических способов обработки углеводородов, способных если не заменить, то значительно упростить технологические схемы этих процессов [4, 5].

Следует отметить, что все эти методы, если они дают воспроизводимый результат, представляют значительный интерес, поскольку в их составе могут лежать определенные, ранее неизвестные или не учтенные, физические воздействия на молекулы углеводородов.

Одним из таких методов физического воздействия на углеводороды нефтяных фракций является пропускание этих соединений через тонкие капилляры из различных материалов. Можно предположить, что при малом диаметре объем слабоподвижного адсорбированного слоя углеводородов на внутренней поверхности капилляра составляет заметную долю от общего количества жидкости. Поскольку адсорбированный (или просто взаимодействующий) слой находится в явно измененном квантовом состоянии, при медленном пропускании жидкости через капилляр можно ожидать не только физических, но, возможно, и химических изменений в составе смеси.

Ранее работы подобного типа проводились нами со смесями нитробензола и воды, 2-этилгексеналя и воды, а также N,N-диметиланилина и воды [6]. В этих работах было показано, что при определенной организации эксперимента можно добиться существенного разделения компонентов, связанного в том числе и с возвратом одного из компонентов в исходную ёмкость. Этот эффект может быть объяснен течением адсорбированного слоя навстречу основному потоку вещества [7, 8].

Аналогичный эффект известен для бинарных металлических расплавов – за счет разнонаправленного движения атомов олова и свинца в одноатомном межфазном слое происходит существенное расслоение металлов, достигающее десятков процентов [9, 10].

В настоящей работе изучается возможность изменения фракционного состава и низкотемпературных свойств дизельного топлива (ДТ) при разрушении его спиртоводной эмульсии в капиллярном коалесцере.

Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из исходной стеклянной емкости, соединенной с капиллярным коалесцирующим фильтром (в дальнейшем коалесцером), представляющим собой систему капилляров диаметром 1,5 мм. Скорость потока эмульсии по капиллярам регулировалась при помощи запорно-регулирующего устройства.

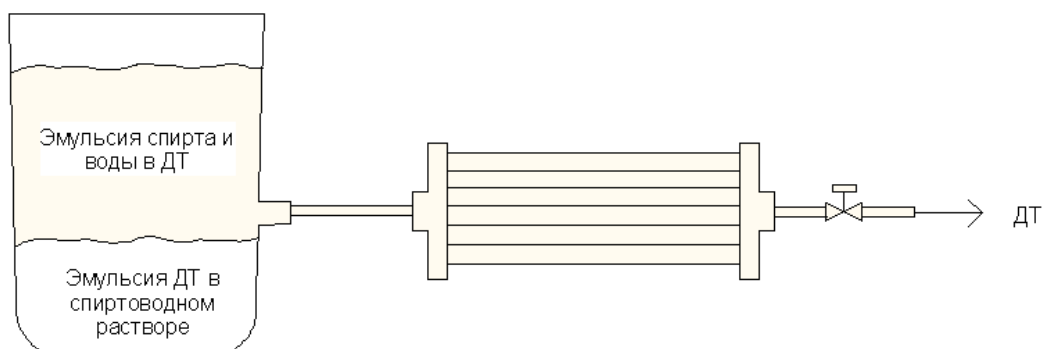


Рис 1 – Схема депарафинизации дизельного топлива в коалесцере

Смесь ДТ и спиртоводного раствора перемешивали не менее 15 мин до получения эмульсии. Эмульсию переносили в исходную емкость и пропускали через коалесцер, где она разрушалась за счет коалесценции и изотермической перегонки вещества дисперсной фазы. Отбирали от 2 до 3 проб объемом по 100 мл. Далее пробы, пропущенные через капилляры, анализировали сразу, а содержимое коалесцера и исходной емкости – после освобождения от воды и спирта.

Количество и состав парафинов в пробах, полученных на выходе из коалесцера при различных расходах смеси, анализировали на хроматомасс-спектрометре. Фракционный состав определяли при атмосферном давлении в колбе Богданова.

Результаты изменения фракционного состава и количества н-парафинов в ДТ, прошедшем через коалесцер при различных расходах, представлены на рис. 2 и 3 соответственно (только вторые пробы из последовательности из 2-3 отборов).

Анализируя рис. 2, можно заметить, что температура кипения фракций, полученных при различных расходах эмульсии в коалесцере, способна не только снижаться, как показано в работах [4, 5], но и повышаться. Так при расходе 2,5 мл/мин на выходе из коалесцера получается фракция (1), выкипающая при более низких температурах (до 7 мас.% перегоняется на 20-30 °С ниже, и далее до 28 мас.% – на 5-10 °С ниже чем базовое ДТ). При расходе 5,0 мл/мин получается фракция (2), выкипающая подобно базовому ДТ. И, наконец, фракция (3), получаемая при расходе 10 мл/мин, выкипает на начальном этапе (до 5 мас.%) при температурах на 20-40 °С выше, и в дальнейшем на 10-15 °С выше, чем базовое ДТ.

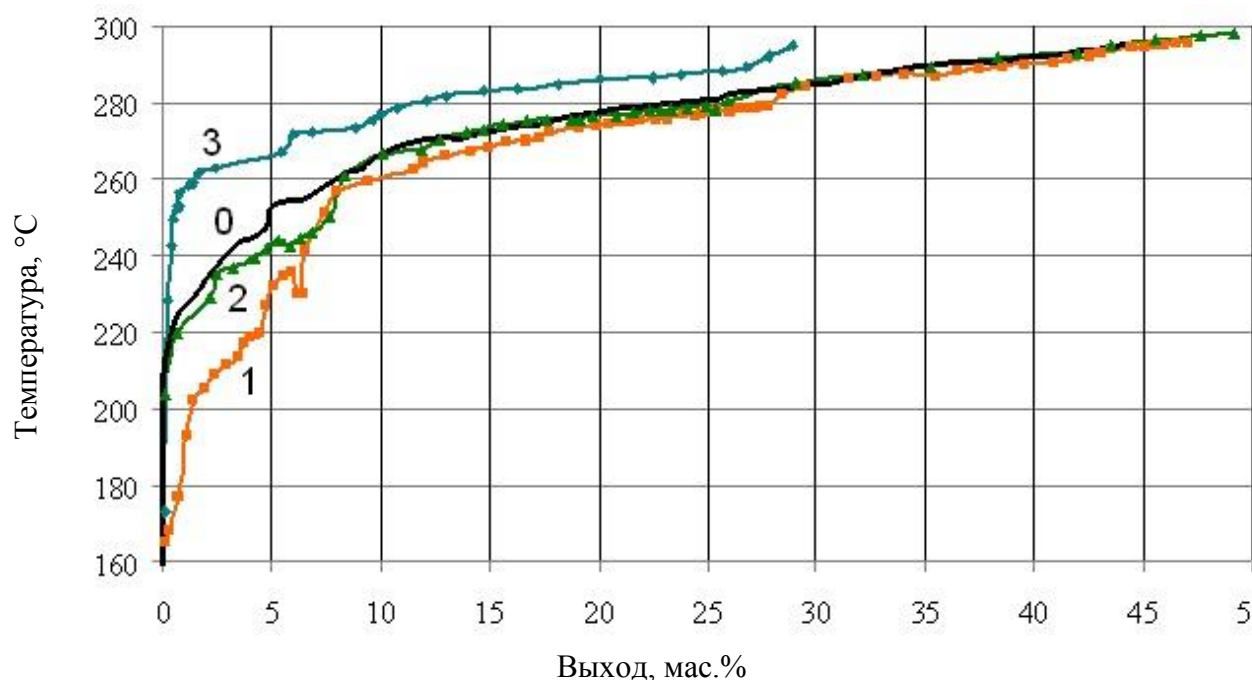


Рис. 2 – Изменение фракционного состава ДТ в результате прохождения через коалесцер
0 – базовое ДТ; Фракции, прошедшие через коалесцер с расходом:
1 – 2,5 мл/мин; 2 – 5,0 мл/мин; 3 – 10,0 мл/мин

Определенный интерес представляет также то, как изменяется количество и состав *n*-парафинов при различных расходах спиртоводной эмульсии ДТ в коалесцере.

Анализ экспериментальных данных (рис. 2) позволяет заметить, что при уменьшении расхода спиртоводной эмульсии ДТ состав выделенных фракций постепенно смещается в область более легких парафинов. Количество экстремумов на всех кривых состава сохраняется в областях C_{12} , C_{15} , C_{17} , C_{19} и C_{21} (лишь при расходе 10,0 мл/мин $C_{21}=0$), увеличивая или уменьшая свои значения при изменении расхода смеси. При этом максимум на кривой состава перемещается с $C_{17}H_{36}$ у базового ДТ до $C_{15}H_{32}$ состава, полученного при расходе 2,5 мл/мин.

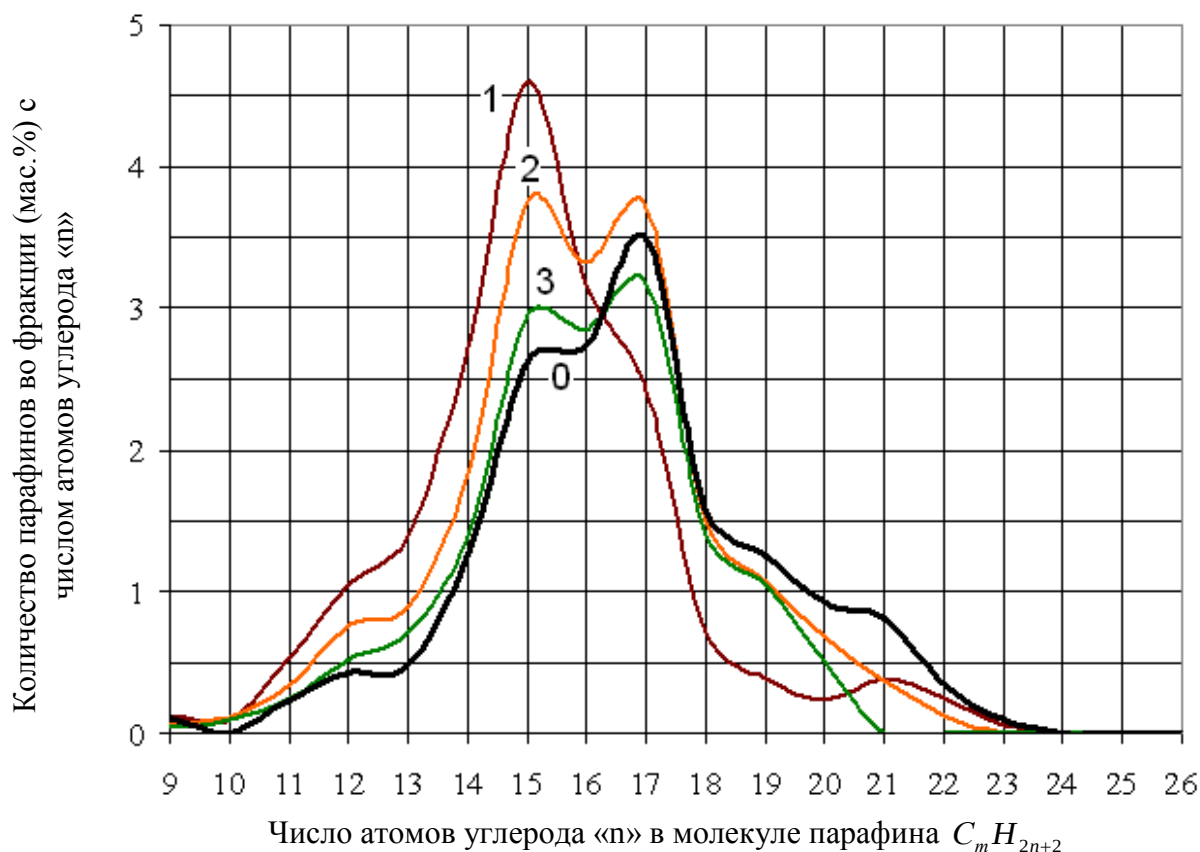


Рис. 3 – Изменение количества н-парафинов в ДТ в результате прохождения через коалесцер (погрешность $\pm 0,2$ мас.%)

0 – базовое ДТ; Фракции, прошедшие через коалесцер с расходом:
1 – 2,5 мл/мин; 2 – 5,0 мл/мин; 3 – 10,0 мл/мин

На кривых состава фракций, прошедших через коалесцер при различных расходах, в области н-парафина $C_{16}H_{34}$ происходит своеобразный перегиб: при уменьшении расхода с 10,0 до 2,5 мл/мин количество легких ($n < 16$) увеличивается с максимумом в области C_{15} , количество тяжелых ($n > 18$) – падает. Область же C_{17} , имеющая максимум на графике базового ДТ, несколько уменьшается при расходе 10,0 мл/мин и значительно уменьшается с исчезновением максимума в области C_{17} – при расходе 2,5 мл/мин.

Результаты анализа низкотемпературных свойств полученных фракций в сравнении с базовым ДТ (определяли только температуры помутнения t_n и застывания t_z) представлены в таблице. Из представленных данных можно заметить, что определенный интерес с точки зрения улучшения НТС представляет расход эмульсии ДТ в коалесцере 2,5 мл/мин, позволяющей снизить t_n и t_z соответственно на $8 (\pm 2)$ и $11 (\pm 2)$ °С. Суммарное количество н-парафинов в этой фракции выше, чем у базового ДТ (см. таблицу), но состав их сильно облегчен (см. рис. 3). Результаты, полученные при других расходах мало отличаются от соответствующих значений базового ДТ. Однако имеется некоторая тенденция к улучшению НТС при увеличении расхода до 5,0 – 10,0 мл/мин. Суммарное же количество н-парафинов во фракции, полученной при расходе 5,0 мл/мин также выше, чем у базового ДТ, а при расходе 10,0 мл/мин – ниже. Некоторое облегчение состава в обеих фракциях имеется, но во фракции, прошедшей через коалесцер с расходом 5,0 мл/мин н-парафина $C_{17}H_{36}$ больше, чем в базовом ДТ.

Определенный интерес представляет также изменение состава парафиновой части ДТ во всех элементах экспериментальной установки, то есть не только на выходе из коалесцера (см. рис. 3), но и в исходной емкости, и в коалесцере.

Таблица – Низкотемпературные свойства фракций ДТ после прохождения через коалесцер

Фракция ДТ, полученная при расходе (мл/мин)	Суммарное количество н-парафинов во фракции, мас. %	Температура, °С	
		помутнения	застывания
0 (базовое ДТ)	16,34	-10 (± 2)	-13 (± 2)
2,5	18,12	-18 (± 2)	-24 (± 2)
5,0	18,51	-9 (± 2)	-14 (± 2)
10,0	14,91	-13 (± 2)	-15 (± 2)

Этот интерес вызван тем, что изменение состава н-парафинов, присутствующих в ДТ, происходит таким образом, что количество легких ($n < 16$) увеличивается, а тяжелых ($n > 16$) – уменьшается. Область около $C_{16}H_{34}$ является серединой отрезка н-парафинов, присутствующих в исследованном ДТ. Причиной этого обстоятельства могла бы быть задержка тяжелых ($n > 16$) н-парафинов в исходной емкости или коалесцере. Вместе с тем, авторы работ [4, 5] предполагают возможность деструкции углеводородов, подвергшихся, например, кавитации.

Итак, количество парафинов C_nH_{2n+2} , в извлеченном из всех элементов экспериментальной установки дизельном топливе, просуммировали по каждому n , а полученные суммы сравнили с количеством н-парафинов в базовом ДТ. Суммарный прирост количества н-парафинов в ДТ в результате прохождения через коалесцер представлен на рис. 4.

Можно видеть, что качественный и количественный состав н-парафинов содержащихся в экспериментальном ДТ (линии 1-3) отличается от базового (линия 0). При низких расходах происходит увеличение содержания н-парафинов. При повышении расхода до 5 мл/мин количество легких увеличивается, тяжелых – уменьшается относительно базового ДТ. При расходе 10 мл/мин «водораздел» смещается несколько вправо, но изменение относительно базового ДТ также имеет место.

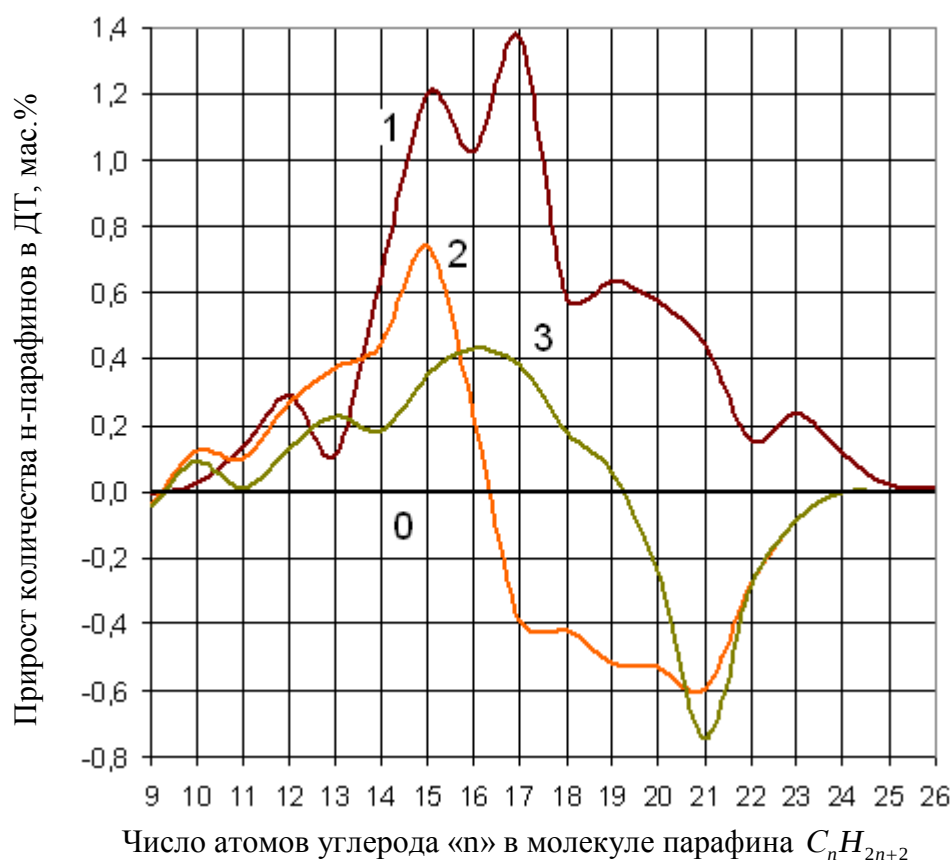


Рис. 4 – Суммарный прирост количества н-парафинов в ДТ в результате прохождения через коалесцер (погрешность $\pm 0,2$ мас.%)

0 – базовое ДТ; Суммарное изменение состава н-парафинов в исходной емкости, коалесцере и фракциях, прошедших через коалесцер с расходом:
1 – 2,5 мл/мин; 2 – 5,0 мл/мин; 3 – 10,0 мл/мин

Таким образом, разрушение спиртоводной эмульсии дизельного топлива, протекающее в капиллярном коалесцере, позволяет достаточно сильно изменить фракционный состав получаемых фракций, спектр н-парафинов и улучшить низкотемпературные свойства. Имеется возможность управления эффектом, варьируя расход эмульсии.

Список литературы

1. *Богданов Н.Ф.* Депарафинизация нефтяных продуктов / Н.Ф. Богданов, А.Н. Переверзев. – М.:Гостоптехидат, 1961. – 249 с.
2. *Овчаров С.Н.* Депарафинизация дизельных фракций нефти с целью получения низкозастывающих дизельных топлив / С.Н. Овчаров, А.Н. Переверзев, А.С. Овчарова // Вестник Северо-Кавказского государственного университета, № 3. – 2005. – С. 64.
3. *Попов Ю.В.* Карбамидная депарафинизация высокопарафинистой нефти / Ю.В. Попов, С.М. Леденев, Я.П. Ускач, М.А. Панарин // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт, № 4. – 2010. – С. 7.
4. *Бесов А.С.* Деструкция углеводородов в кавитационной области в присутствии электрического поля при активации водными растворами электролитов / Бесов А.С., Колтунов К.Ю., Брулев С.О., Кириленко В.Н., Кузьменков С.И., Пальчиков Е.И. // Письма в ЖТФ, 2003, том 29, вып. 5, с.71.
5. *Крестовников М.П., Снегоцкий А.Л.* Способ деструкции органических соединений и установка по переработке нефтехимических отходов. Заявка на изобр. № 2003129180/04, 01.10.2003, Россия.
6. Разрушение водо-углеводородных эмульсий в динамических условиях / Пепеляев С.Н., Углев Н.П., Рябов В.Г. // Наука и технология углеводородов. М. 1999. № 2. с. 23.
7. *Пепеляев С.Н.* Избирательное извлечение парафинов из дизельных топлив в капиллярном коалесценере / Пепеляев С.Н., Ваганова И.Н., Пепеляев А.С. // Вестник ПГТУ. Химическая технология и биотехнология, 2011, № 12. с. 69.
8. *Пепеляев С.Н.* Применение коалесцирующих фильтров для депарафинизации дизельных топлив в спиртоводных средах / Пепеляев С.Н., Ваганова И.Н., Пепеляев А.С. // Синтез знаний в естественных науках. Рудник будущего: проекты, технологии, оборудование: материалы междунар. науч. конф.: в 2 т./Перм.гос.нац.исслед.ун-т [и др.]. - Пермь, 2011. - Т.2. с. 488.
9. *Углев Н.П.* Теоретическое обоснование процесса расслоения бинарных металлических расплавов в капиллярах / Углев Н.П. // Синтез знаний в естественных науках. Рудник будущего: проекты, технологии, оборудование: материалы междунар. науч. конф.: в 2 т./Перм.гос.нац.исслед.ун-т [и др.]. - Пермь, 2011. - Т.2. с. 557.
10. *Углев Н.П.* Механизм расслоения бинарных металлических расплавов в капиллярах / Углев Н.П. // Синтез знаний в естественных науках. Рудник будущего: проекты, технологии, оборудование: материалы междунар. науч. конф.: в 2 т./Перм.гос.нац.исслед.ун-т [и др.]. - Пермь, 2011. - Т.2. с. 564.

05.13.06

Д.А. Попов, И.А. Шмидт

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, popov@msa.pstu.ru

ОПЕРАТИВНЫЙ СБОР ПАРАМЕТРОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ГТУ НА БАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ NATIONAL INSTRUMENTS

В статье предложен метод сбора данных различной структуры с применением оборудования National Instruments. Описана специфика нижнего уровня трехуровневой архитектуры системы испытаний ГТУ – большое количество информации, различная структура наборов параметров, различная размерность характеристик. Предложен метод создания динамической библиотеки переменных и метод конфигурирования тэгов на основании метаинформации об испытании. Собираемые данные передаются между вычислительными терминалами по протоколу PSP, обеспечивая квитирование, визуализацию, сбор данных и событий.

Ключевые слова: Сбор данных, SVE, DSC, испытания ГТУ.

Большинство SCADA-пакетов предоставляют средства по обработке и сохранению данных в процессе производства/испытания. Производится формализация и кодирование испытательного процесса: разрабатывается мнемосхема, код выполнения испытания, настраивается база данных. При проектировании современных испытательных стендов газотурбинных установок закладываются требования к обеспечению универсальности систем испытаний – возможности испытаний на одном стенде различных типов ГТУ и их модификаций [4]. Большинство существующих SCADA-пакетов не обладают достаточной гибкостью и необходимым функционалом для удовлетворения данных требований.

Сложность сбора и организации данных (характеристик) различных типов и модификаций ГТУ обусловлена различием в количестве, размерности и способах получения параметров [1]. Способ получения физического значения параметра определяется соответствием датчика и механизма преобразования канального значения (значения с датчика) в физическое значение. Механизм преобразования, в свою очередь, зависит от расположения датчика, его характеристик. При определении диапазона часто используется несколько датчиков, откалиброванных на различные диапазоны значений. Также бывает, что в процессе испытания ГТУ появляется необходимость получения характеристики, отражающей специфику конкретного двигателя, обработка которой не была заложена в систему испытаний.

Цель данной статьи – разработка механизма сбора данных различной структуры, позволяющего производить получение данных на основании физического смысла переменной, согласующегося со способом исполнения программы испытаний для обеспечения оперативного сбора данных, квитирования и визуализации.

Решение

Для обеспечения возможности проведения испытаний различных типов ГТУ система должна предоставлять конфигурирование нижнего уровня испытаний, среднего и верхнего, что соответственно обеспечивает сбор, обработку и запись/визуализацию данных.

Существующие решения предполагают жесткую обвязку двигателя в соответствии с определенным правилом. Испытание же различных типов ГТУ подразумевает использование различных датчиков и различных вариантов обвязки.

После проведения анализа становится очевидным, что для все уровни трехуровневой архитектуры должны располагать информацией о конфигурации установки, в системе испытания должна содержаться глобальная информация.

Выделим и дополним понятие «паспорт испытания». Обычно, при проведении испытаний ГТУ ведут документ, содержащий метainформацию по конкретному испытанию – описание персонала, производящего испытание, тип ГТУ, план испытания – целевые режимы испытания и другие служебные значения. Данный документ необходим для описания инфраструктуры для соблюдения внутренних правил предприятия и возможной проверки качества получения характеристик двигателя. Сам паспорт испытания, как правило, хранят в формате XML или в проприетарных форматах в бинарных файлах. Поскольку паспорт испытания содержит информацию, актуальную на протяжении всего испытания, и только для конкретного испытания, используем паспорт испытания в качестве конфигурационного документа.

Поскольку паспорт испытания – набор связанных сущностей, обладающих определенными параметрами, то имеет смысл хранить данные паспорта установки в реляционной базе данных, что позволит расширить структуру паспорта испытания[4]. Хранение необходимой информации позволит конфигурировать запросы к СУБД, учитывая специфику установки и набор собираемых параметров.

На рисунке 1 показана упрощенная структура разработанной модели паспорта испытания ГТУ с частичным описанием нижнего уровня.

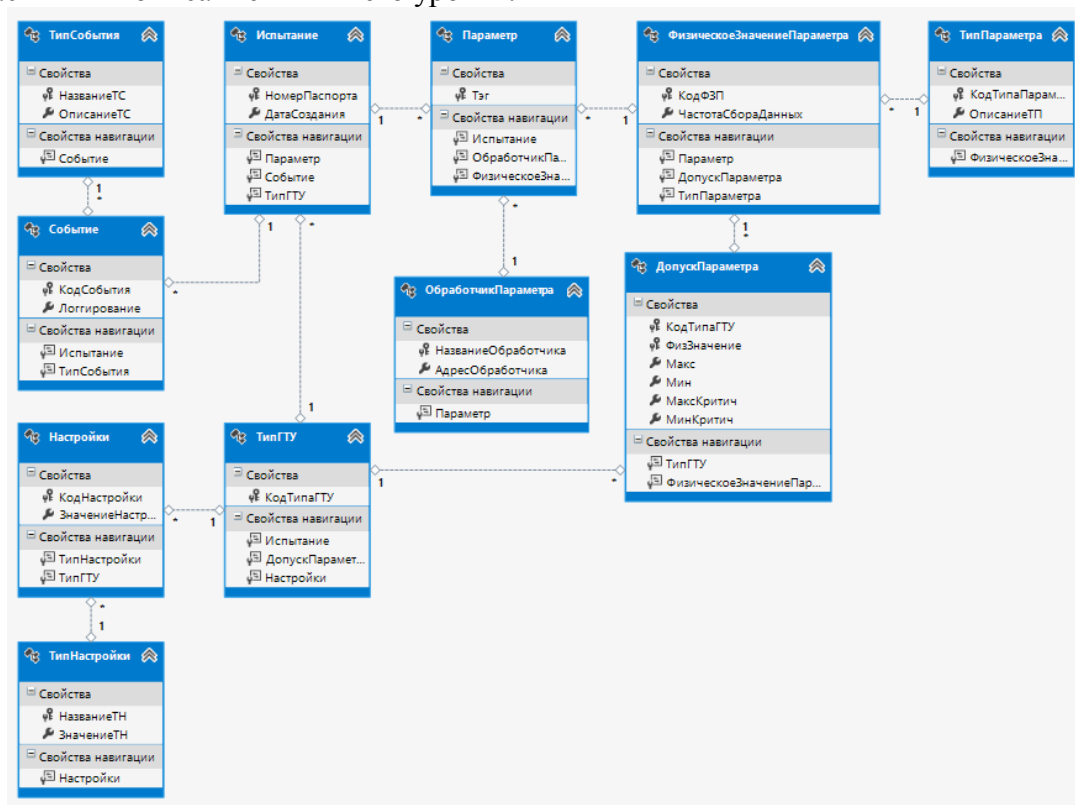


Рис. 1- Упрощенная структура модели паспорта испытания

В процессе анализа системы испытаний ГТУ можно заметить, что понятие паспорта испытания сильно коррелирует с понятием библиотеки переменных в рамках механизма распределенных переменных SVE [3], используемого для реализации функций SCADA в среде LabView. Разумно реализовать синхронизации библиотеки переменных и паспорта испытания. Этим возможно добиться записи различных структур данных в оперативную БД Citadel оптимальными средствами LabView [6].

Таким образом, предложенная методика состоит из следующих этапов: конфигурирование паспорта испытания, обвязка установки, запуск программы испытания, выбор шаблона испытания, автоматическое конфигурирование испытания – создание переменных,

связанных с тэгами записи, непосредственно отработка этапов с записью данных, квитированием и визуализацией.

Реализация

Для конфигурирования паспорта испытаний была разработана программа на базе средств MS ASP.NET MVC, содержащая необходимые справочники и соответствия, определяющие свойства и взаимосвязи между записями БД.

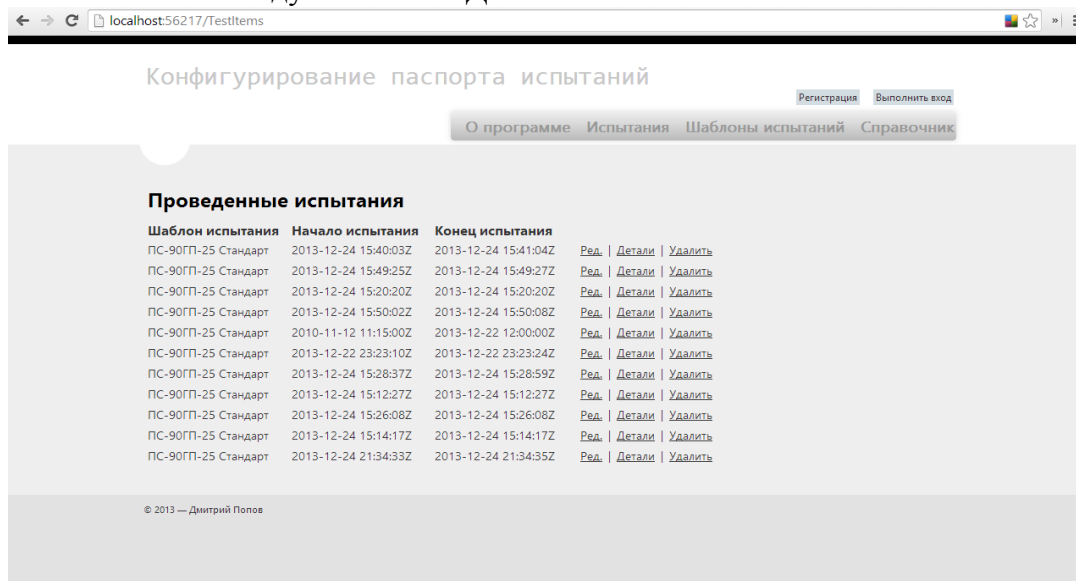


Рис.2- Программа конфигурирования паспорта испытания

До запуска, программа отработки этапов должна произвести конфигурирование параметров в соответствии с паспортом испытания. На рисунке 3 показано добавление параметров в библиотеку. Массив «параметры» содержит уже готовый набор свойств, на основании которых необходимо создать переменную и добавить ее в динамическую библиотеку. Изначально происходит открытие библиотеки и добавление к ней переменной, затем происходит настройка свойств параметра.

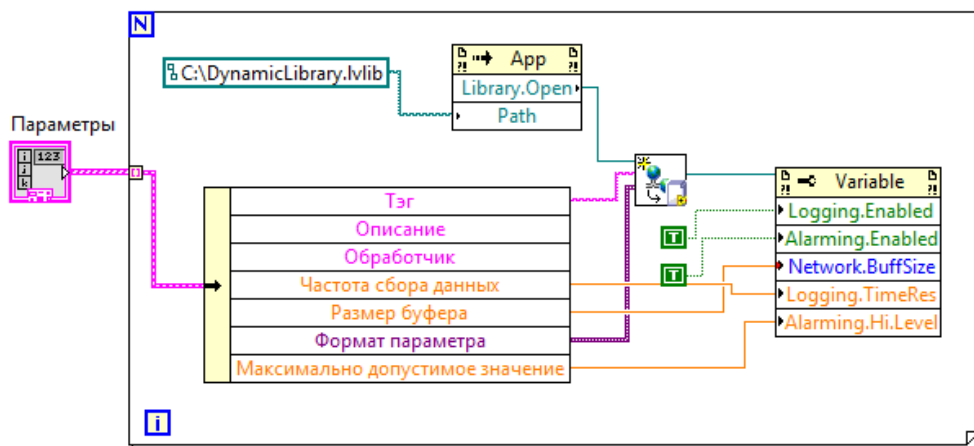


Рис. 3- Добавление переменной в библиотеку проекта испытаний LabView

Так, общая структура выполнения программы испытания (рис. 4) в среде LabView выглядит следующим образом: после проведения обвязки установки происходит конфигурирование испытание – заполнения паспорта испытания, назначение датчикам тэгов и типов переменных. В соответствии с тэгом определяется способ получения и преобразования параметра, а также принцип визуализации.

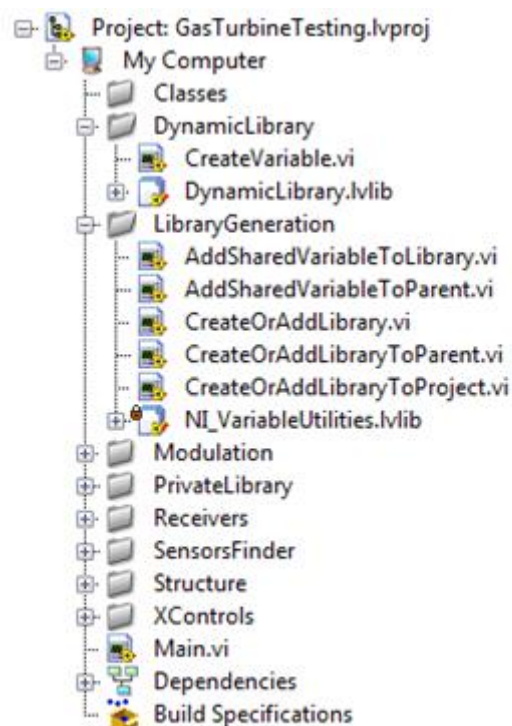


Рис. 4- Структура проекта сбора данных

В рамках среды LabView преобразование канального значения в физическое определяется ссылкой на виртуальный прибор, обеспечивающий непосредственное преобразование. Передача данных между виртуальными приборами, а также по сети происходит с помощью протокола PSP, обеспечивающего высокую скорость доставки и гарантию доставку пакетов. Механизм SVE позволяет производить квити́рование, опираясь также на данные паспорта испытания.

В качестве элемента визуализации в среде LabView может быть использован XControl – инструмент, который объединяет в себе логику и визуализацию. Соответственно, каждый тип предполагаемого тэга должен иметь свой элемент отображения XControl, который получает значение параметра из библиотеки переменных. Данная логика является универсальной, следовательно, при испытаниях различных типов ГТУ элементы визуализации и сбора данных изменять не придется. По аналогии с элементом визуализации, элемент получения физических значений параметров также является универсальным, зависящим от двух входных значений: указателя на адрес датчика и типа параметра (тэга), который определяет способ преобразования канального значения в физическое.

Результаты, выводы и перспективы исследования

Таким образом, нам удалось реализовать универсальную систему проведения испытаний, позволяющую производить отработку этапов различных типов ГТУ и их модификаций, предоставляя функции сбора данных в оперативную базу данных Citadel, квити́рования и визуализации.

Предложенное решение обеспечивает лучшую совместимость с системами пост экспериментального анализа на базе ПО DIAdem – инструмента National Instruments для анализа данных [8].

Список литературы

1. Зеленков Ю.А., Чувилин В.Ю., Журавлев В.Е. Комплексная автоматизация испытаний газотурбинных двигателей. // 2011. Т. 2. № 42. С. 119–125.
2. ООО «ИнСис Лтд». АСУТП стенда испытания вертолетных двигателей [Электронный ресурс]. URL: http://hanneckhall.my1.ru/news/asutp_stenda_ispytanija_vertoletnykh_dvigatелеj/ 2013-08-19-135. (дата обращения: 10.02.2014)
3. Попов Д.А., Шмидт И.А. Разработка системы управления архивными данными испытаний газотурбинных установок большой мощности // Современные проблемы науки и образования. 2014. Т. 1.
4. Попов Д.А., Шмидт И.А. Разработка функциональной структуры программного комплекса испытаний газотурбинных установок для газоперекачки // Автоматизированные системы управления и информационные технологии. Пермь: ПНИПУ, 2012. С. 455–458.
5. Прохоров А.Ю. Алгоритмы, методы хранения, поиска и анализа временных рядов в промышленных СУБД // 2001. С. 121.
6. Bitter R., Mohiuddin T., Nawrocki M. LabVIEW: Advanced Programming Techniques., 2007.
7. Database C. Logging Data with National Instruments Citadel // 2012
8. DIAdem [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ni.com/pdf/manuals/373078d.pdf>. (дата обращения: 10.02.2014)

05.13.18

И.О. Секарова

Тульский государственный университет,
Кафедра АОТиОС, isekarova@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОПРОДУКТИВНОСТИ ВОДОЕМА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Исследовано водохранилище промышленного района Тульской области. Собраны материалы по морфометрическому, гидрохимическому режиму водного объекта, исследованы пробы воды, проводился сбор ихтиологического материала в водоеме. Предложена математическая модель биопродуктивности водной экосистемы, позволяющая учитывать влияние факторов техногенного загрязнения водоема.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, водная экосистема, модель биопродуктивности, качество воды, самоочищение, техногенное загрязнение.

В результате возрастающей промышленной и хозяйственной деятельности усиливается антропогенное воздействие на водоемы и водотоки, приводящее к различного рода изменениям в экосистемах, как правило, негативным, а в ряде случаев даже необратимым. Антропогенные воздействия на экосистемы в большинстве случаев приводят к исчезновению из них наиболее специализированных видов, видов с узкими экологическими спектрами. За этим следует сокращение трофических связей, упрощение трофических сетей, высвобождение ресурсов, экологических ниш, словом, происходят изменения структуры сообществ и экосистем. Поскольку невозможно представить, что в будущем активность человечества резко сократится или прекратится вовсе, возникает необходимость поиска способов оптимальной эксплуатации водных ресурсов, которые обеспечивали бы их неистощительное существование. Это возможно только при умении прогнозировать направления возможных изменений в экосистемах. Следовательно, разработка методов и способов прогнозирования представляет собой особую актуальную задачу, решение которой может быть получено только при использовании для этих целей фундаментальных знаний о сложных биотических процессах, протекающих в экосистемах, качественных и количественных их изменениях при переменах, которые происходят во внешней среде.

Объектом проводящихся нами исследований является Шатское водохранилище, которое создано в 1932 г. по рабочим чертежам ГПИ «Союзводоканалпроект» и служит источником производственного водоснабжения и приемником шахтных вод и промышленных стоков цехов и производств НАК «АЗОТ», АО «Оргинтез» и ряда других мелких предприятий промрайона по двум выпускам. Общая протяженность водохранилища около 14 км, площадь водосбора 470 км², площадь зеркала 1256 га, емкость 65,6 млн.м³. Максимальные глубины 13,4 м (у плотины), в прибрежной части глубины около 0,5 м. [4]

Бурное развитие химических предприятий на окружающих Шатское водохранилище территориях привело к резкому увеличению поступающих в водоем вредных загрязняющих веществ: минеральных солей (сульфатов, хлоридов), взвешенных веществ, биогенных элементов, соединений азота и других. В таблице 1 представлены основные источники виды загрязнений водной среды исследуемого водоема.

Таблица 1- Оценка влияния предприятий города Новомосковска на Шатское водохранилище

Наименование предприятия	Стоки предприятий, поступающие в Шатское водохранилище, тыс.м ³ /год		Доля предприятий в загрязнении водоема, %
	2006 год	2007 год	
НМУТГ «Новомосковские коммунальные системы»	4254	5603,5	7,9
ОАО «НАК «АЗОТ»*:	62768	64840:	91,7
«ОВК»		55441	77,2
«ПМК»		65	0,1
«НИАП»		76	0,12
«ГРЭС»		48	0,07
Городские стоки		34	0,05
ОАО «Комбинат органического синтеза»	299,6	9176	14,2
		299,6	0,42

*- предприятие ОАО НАК «АЗОТ» принимает на биологическую очистку сточные воды следующих предприятий: «ОВК», «ПМК», «НИАП», «ГРЭС», Городские стоки. В таблице представлен суммарный объем сточных вод этих предприятий с предприятием ОАО НАК «АЗОТ».

Следствием поступающих в Шатское водохранилище загрязненных стоков является повышение уровней содержания вредных веществ, растворенных в воде. Результатам анализов водных проб, проводимых лабораторией ЦЛАТИ города Новомосковска в ходе длительных наблюдений и приведенные в таблице 2, позволяют рассчитать интегральные загрязнения водоема, в частности индекс загрязнения воды (ИЗВ).

На практике индекс загрязнения воды (ИЗВ) определяют по значениям концентраций шести-семи показателей, которые можно считать гидрохимическими. В числе показателей обязательно нужно указывать: значения растворенного кислорода, pH и БПК воды.[3]

Для исследуемого водоема значение индекс загрязнения воды, вычисленное по результатам натурных наблюдений, составило

$$ИЗВ = \sum_{i=1}^N \frac{C_i / ПДК_i}{N} = 4,4, \quad (1)$$

где C_i – концентрация i -го загрязняющего компонента в водной среде (в ряде случаев – значение параметров); N – число показателей, используемых для расчетов индекса; $ПДК_i$ – установленная величина предельно допустимой концентрации i -го загрязняющего компонента для соответствующего типа водного объекта.[3]

Таблица 2- Результаты анализа воды Шатского водохранилища

Показатели мг/л	2011 год							2012 год						
	17.мар	22.апр	16.май	23.июл	22.авг	19.сен	25.окт	18.мар	19.апр	23.май	25.июл	19.авг	21.сен	26.окт
Взвеш. в-ва	16,10	13,40	10,70	9,90	9,70	9,50	9,50	14,30	16,80	19,00	18,10	10,90	10,70	14,10
Сухой ост.	1190	1220	1276	1072	1278	1098	1130	1010	1050	1060	1040	1043	1042	1052
ХПК	32,00	31,00	28,50	26,50	27,20	25,10	25,30	37,50	34,60	31,20	30,60	29,30	26,00	25,80
БПК	2,30	2,07	3,80	2,01	6,30	2,00	4,00	1,14	3,08	4,46	6,50	4,40	5,30	5,20
Азот аммонийный	0,73	1,04	1,12	3,00	1,98	2,60	1,40	0,73	1,46	1,25	0,56	1,25	0,66	0,76
Азот нитритный	0,42	0,67	0,87	0,68	0,68	1,28	0,60	0,42	0,53	0,18	0,28	0,29	0,46	0,44
Азот нитратный	19,00	19,60	18,20	14,00	23,00	16,40	17,50	14,20	14,00	14,40	14,60	14,20	14,90	14,20
Железо общ.	0,23	0,42	0,31	0,36	0,19	0,27	0,41	0,39	0,29	0,28	0,27	0,28	0,23	0,26
Фосфат ион	0,41	0,36	0,69	0,28	0,16	0,27	0,28	0,11	0,11	0,12	0,11	0,10	0,11	0,10
Нефтепродукты	0,160	0,150	0,540	0,120	0,120	0,150	0,100	0,085	0,150	0,140	0,074	0,100	0,100	0,093
Хлорид ион	248	250	246	259	266	250	263	239	247	253	190	165	168	171
Сульфат ион	321	356	328	304	280	328	340	331	300	340	330	337	325	335

Значение индекса загрязнения воды в дальнейшем используют для оценки изменения качества воды во времени, по течению, в зонах влияния крупных источников воздействия, а также для классификации участков водных объектов по степени загрязнения в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3- Классификация качества воды в зависимости от индекса загрязнения

Воды	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Очень чистые	До 0,2	1
Чистые	0,2-1	2
Умеренно загрязненные	01.фев	3
Загрязненные	02.апр	4
Грязные	04.июн	5
Очень грязные	06.окт	6
Чрезвычайно грязные	> 10	7

Сравнение рассчитанного значения ИЗВ с данными табл. 3 позволяет характеризовать воды как загрязненные с тенденцией перехода в класс грязных вод. Данное обстоятельство не могло не сказаться на ихтиофауне и других биоресурсах Шатского водохранилища. Действительно, в настоящее время наблюдается разрушение структурно-функциональной организации водной экосистемы данного водоема.

Для мониторинга состояния экосистемы специалистами ФГУП «ВНИРО» совместно с ихтиологами Тульского отдела ФГУ «Центррыбвод» проводился сбор ихтиологического

материала в данном водохранилище. По результатам ресурсных исследований в Шатском водохранилище экспертным путем определен видовой состав водоема. Ихтиофауна водохранилища к настоящему времени полностью сформировалась и представлена следующими видами: карп, щука, плотва, окунь, карась, уклея, ерш, пескарь, лещ (вселенец) (табл. 4). [4]

По данным ГосНИОРХ, средняя биомасса планктона в водохранилище составляла в летний период $1,47 \text{ г/м}^3$, бентоса – $12,7 \text{ г/м}^2$. Запасы планктонного корма полностью не используются из-за отсутствия массовых видов планктофагов.

Таблица 4- Видовой состав Шатского водохранилища (тыс.)

Вид рыбы	Кол-во, тыс.	Доля, %
плотва	5233	9,8
карась	19600	36,8
окунь	4400	8,3
лещ	11433	21,5
толстолобик	11300	21,2
прочие	1300	2,4
всего	53266	100

Чрезмерное развитие макрофитов (свыше 35% от площади водного зеркала) является отрицательным фактором, т.к. способствует накоплению большого количества органического вещества, заболачиванию, ухудшает гидрохимический режим водоемов, угнетает развитие планктонных и бентосных организмов, сокращает площади нагула рыб, негативно воздействуя на состояние экосистемы водоема.[4]

При анализе различных индексов разнообразия рыбопродуктивности водоемов в литературных источниках часто отмечается положительная корреляционная взаимозависимость показателей продуктивности планктона и БПК воды (таблица 5). По определению БПК – показатель загрязненности воды, характеризующий биохимическое потребление кислорода, растворенного в воде, расходуемое на окисление органических веществ в водной среде. Таким образом, этот показатель можно рассматривать как характеристику качества воды с точки зрения ее пригодности для развития планктона, а, следовательно, и в качестве оценки продуктивности растительных компонентов экосистемы водоема и находящегося в нем планктона, являющихся кормовой базой для высших звеньев трофической цепи экосистемы, в частности для рыб.

Таблица 5- Величина БПК₅ в водоемах разной продуктивности планктона [1]

Трофность водоема	P_p , ккал/(м ² ·год)	БПК ₅ , ккал/(м ² ·год)
Ультраолиготрофные	20...100	1,36...4,90
Олиготрофные	100...300	4,90...11,74
Мезотрофные	300...1000	11,74...30,58
Эвтрофные	1000...3000	30,58...73,23
Гиперэвтрофные	3000...6000	73,23...127,06

С другой стороны можно сказать, что БПК воды – это показатель способности воды к самоочищению, подверженной действию факторов техногенного загрязнения. К таким антропогенным факторам, влияющим, на водную экосистему Шатского водохранилища, можно отнести указанные выше сточные воды предприятий, пылегазовые выбросы предприятий, хозяйственно-бытовые стоки, подогретые вод ГРЭС, но основное влияние на биопродуктивность экосистемы должно оказывать загрязнение водоема специфическими вредными веществами – органическими соединениями. Характерной особенностью подобных загрязненных стоков является то, что, поступая в водоем, они сильно ухудшают его кислородный режим вследствие поглощения на окисление органических загрязнителей растворенного в воде кислорода, приводящего к снижению содержания в ней кислорода, а в результате изменяется значение показателя БПК воды и биопродуктивность экосистемы

водоема. Таким образом, при разработке математической модели биопродуктивности водной экосистемы необходимо учитывать влияние факторов техногенного загрязнения водоема.

В качестве основы для предлагаемой математической модели использована система дифференциальных уравнений классической модели хищник-жертва Вольтера [5] (в частном случае – модель организм-субстрат), дополненных компонентами, учитывающими влияние факторов техногенного загрязнения на биопродуктивность водоема:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax - bx^2 - cxy + F(t, C_1, C_2, \dots, C_n), \\ \frac{dy}{dt} = -dy + exy, \end{cases} \quad (2)$$

где x – БПК, характеризующий кормовую базу ихтиофауны водоема; y – значение показателя контрольного улова рыбы поданным мониторинга, характеризующий численность и/или биопродуктивность популяции ихтиофауны водоема; $F(t, C_1, C_2, \dots, C_n)$ – функция, характеризующая влияние факторов техногенного загрязнения; C_i – концентрация i -го загрязняющего вещества в водной среде ($i = \overline{1, n}$); a, b, c, d, e – коэффициенты математической модели; t – время моделирования.

В первом приближении можно рассматривать линейную зависимость фактора $F(t, C_1, C_2, \dots, C_n)$ от концентраций растворенных в воде загрязняющих вещества, положив

$$F(t, C_1, C_2, \dots, C_n) = \sum_{i=1}^n A_i C_i(t) = A_1 C_1(t) + A_2 C_2(t) + \dots + A_n C_n(t), \quad (3)$$

где A_i – постоянные коэффициенты ($i = \overline{1, n}$).

Тогда с учетом (2) и (3) прогнозная математическая модель биопродуктивности водоема в условиях техногенного загрязнения принимает вид:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax - bx^2 - cxy + A_1 C_1(t) + A_2 C_2(t) + \dots + A_n C_n(t), \\ \frac{dy}{dt} = -dy + exy. \end{cases} \quad (4)$$

Конкретный вид функциональных зависимостей $C_i(t)$ концентраций загрязняющих веществ от времени моделирования устанавливается с помощью методов математической статистики в результате обработки данных мониторинга загрязнения водной среды.

Таким образом, активное использование Шатского водохранилища и хозяйственное освоение его водосборных площадей привело к резкому ухудшению экологического состояния водоема. И как итог, превышен определенный критический предел нагрузки, за которым нарушаются естественные природные процессы в экосистеме и способность водоема к самоочищению. Сказанное обуславливает необходимость разработки природоохранных мероприятий, направленных на восстановление экосистемы водоема и обеспечение ее устойчивого развития, что невозможно без количественной оценки происходящих в экосистеме процессов.

Дальнейшие исследования предполагают определение оценок параметров математической модели с целью разработки методики прогнозирования динамики биопродуктивности водоема в условиях техногенного загрязнения.

Список литературы

1. *Алимов А.Ф.* Элементы теории функционирования водных экосистем/СПб.: Наука, 2000. 147 с.
2. *Вакунин Е.И. Секарова И.О.* Закономерности процесса антропогенной деградации Шатского водохранилища /Экология и безопасность: Пятая международная студенческая научно-техническая Интернет-конференция: Сб. материалов конф./ под. Ред. А.В. Волкова. –Тула: Изд-во ТулГУ, 2009
3. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы/Под ред. Т.В.Гусевой. – М.:ФОРУМ:ИНФРА-М, 2007.-192с.
4. Материалы обосновывающие ОДУ ВБР в водоемах Тульской области на 2008 г. – Москва. 2007 г. Фонды ВНИРО. 90 с.
5. *Свирижев Ю.М., Логофет Д.О.* Устойчивость биологических сообществ. М.: Наука, 1978. 352 с.

05.22.14

А.В. Селезнев к.техн.н., А.А. Хромов

Ульяновское высшее авиационное училище гражданской авиации (институт),
г. Ульяновск, anceleznev@ya.ru, khromov.art@yandex.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОТРАБОТКИ НАВЫКОВ АДЕКВАТНОГО ПОВЕДЕНИЯ В СЛУЧАЯХ НЕШТАТНОЙ АВАРИЙНОЙ ПОСАДКИ ВОЗДУШНОГО СУДНА У КУРСАНТОВ-ПИЛОТОВ

В статье предлагается вариант обоснования необходимости использования и представлен пример разработки программного обеспечения необходимого для обучения курсантов-пилотов с целью углубления знаний и приобретения навыков в случаях осуществления экстренной аварийной посадки воздушного судна вне аэродрома.

Ключевые слова: *авиация, обучение, авария, аварийная нештатная посадка, моделирование, программное обеспечение, программа.*

Введение

Нестабильная экономическая ситуация в новой истории России неблагоприятно повлияла на развитие и «выживание» авиационной промышленности и авиационной отрасли в целом. Снизилась обороты производства, разрушена авиационная инфраструктура, упал уровень подготовки авиационных специалистов и уровень требований к предъявляемой квалификации. Последнее случилось не только по вине исторических потрясений нашей страны и сложной экономической ситуации, но, в том числе, по причине стремительно растущего рынка авиаперевозок. На данный момент существует много важных обсуждаемых вопросов в авиации, таких как: «необходимость приобретения зарубежных воздушных судов (ВС) или конструирование и постройка отечественных самолетов», «разрешение нанимать зарубежных пилотов в качестве командиров воздушных судов (КВС) в российские авиакомпании», сопутствующие другие вопросы, особенно касающиеся безопасности полетов. Однако, обеспечение безопасности полетов является ключевой и основополагающей задачей развития авиации в нашей стране. Все, даже на первый взгляд мало относящиеся вопросы к безопасности полетов косвенно или напрямую влияют на все технологические процессы функционирования воздушного транспорта. Статистика указывает, что во всем мире проблему обеспечения безопасности на воздушном транспорте необходимо решать и для этого требуется консолидировать все силы и средства, направляя их на решение конкретных задач. [2].

Основная часть

Мировая практика использования воздушного транспорта, например, с 1945 по 01.01.2013 года (без учета террористических актов) зафиксировала авиакатастрофы: в США-763, в России-307, в Канаде-173, в Великобритании-102, во Франции-101, в Индии-93. Только за последнюю четверть века произошло 50 крупных авиапроисшествий, произошедших по тем или иным причинам. При этом, в каждом из подобных случаев, погибало и получало тяжелые травмы одновременно 100 и более человек из числа членов экипажа, пассажиров и пострадавших на земле от падения ВС и его обломков. В качестве примера некоторые из катастроф представлены в табл. 1. [6].

Таблица 1 – Примеры авиакатастроф

Дата	ВС (принадлежность)	Особенности происшествия	Погибло (чел)
12.08.1985	В-747 (Япония)	После разрушения хвостового оперения в полете врезался в гору	520 / -
03.07.1988	А-300 (Иран)	Сбит ракетой американского боевого корабля в Персидском заливе	290 / -
12.11.1996	В-747 и Ил-76Т	Столкновение в воздухе в районе ответственного аэропорта Дели	375 / -
02.09.1998	MD-11 (Швейцария)	Отказ техники в полете над Канадой	229 / -
03.10.1999	В-747 (Египет)	Отказ техники, упал в Атлантический океан	217 / -
12.11.2001	А-300 (США)	Отказ техники после взлета, упал на жилой квартал Нью-Йорка	260 / погибло 5 жителей
23.05.2002	В-747 (Китай)	Отказ техники, рухнул после взлета в районе аэропорта Тайвань	225 / -
19.08.2003	Ил-76 МД (ВВС Ирана)	Разбился в горах Ирана	302 / -
25.08.2004	Ту-134 («Волга-Аэроэкспресс»), Ту-154 (Сибирь)	В результате террористического акта взорвались во время полета	90 / -
25.02.2009	В-737 (Турция)	При заходе на посадку в Амстердаме не хватило топлива, упал перед ВПП	10 / 84
01.06.2009	А-330 Франция	При полете по маршруту упал в Атлантический океан	228 / -
30.06.2009	А-310 (Йемен)	При заходе на посадку в 25 км. от г.Марони (Каморские острова) упал в море	151 / 2
25.01.2010	В-737 (Эфиопия)	После взлета из Бейрута в 20 км. от ливанского берега упал в море	90 / -
22.05.2010	В-737 (Индия)	При посадке в Мангопоре выкатился за ВПП, разрушился и загорелся	158 / -
20.04.2012	В-737 (Пакистан)	При заходе на посадку в Исламабаде в сложных-метеоусловиях (СМУ) под воздействием электро метео разряда загорелся и упал в 2 км. от ВПП на поселок Равалпинди	127 / - погибло 11 жителей.

Как мы видим из таблицы ситуация во всем мире не улучшается, а число жертв, к сожалению, не перестает расти. В этой статье мы хотим обсудить проблему подготовки пилотов в РФ и предложить свои решения по улучшению показателей качества образования курсантов-пилотов. Хочется обратить внимание на ситуацию, когда на борту ВС отказывают двигатели, либо их по какой-то причине отключают (как в случае с пожаром силовых установок). В истории, известны случаи успешной нештатной аварийной посадки ВС на землю или на воду с выключенными двигателями. Напомним о некоторых из удачных посадок ВС с неработающими двигателями.

24 августа 2001 года рейс 236 авиакомпании «Air Transat» на самолете А330-243, который выполнял полет по маршруту Торонто-Лиссабон, закончилось топливо и оба двигателя отключились. Пилотам удалось совершить самое длинное в истории авиации планирование на реактивном самолете с неработающими двигателями. Во время полета пилотам стало ясно, что у них на борту произошла утечка топлива, и они приняли решение изменить курс в

сторону Азорских островов, к авиабазе Лажеш. Будучи на расстоянии в 320 км КВС доложил диспетчеру о том, что в самолёте осталось меньше топлива, чем необходимо для завершения полёта. Когда расстояние до авиабазы было 120 км. на борту кончилось топливо и оба двигателя остановились. Авиалайнер в этот момент находился на высоте 10 600 м. Остановка двигателей привела к отказу главных электрогенераторов. Автоматически включилась аварийная турбина, однако 70% систем самолёта оказались обесточены, включая гидравлическую систему, управляющую закрылками, спойлерами и воздушными тормозами. К авиабазе они подошли на большой высоте и с высокой скоростью. Пилот совершил несколько отворотов по курсу, чтобы снизить высоту и скорость, однако погасить скорость до посадочной не удалось. Посадка прошла относительно успешно. Незначительные травмы получили 18 человек. [7].

23 июля 1983 года Боинг 767, на борту закончилось топливо и пилотам также удалось успешно спланировать несколько десятков километров и посадить самолет на аэродром. На том рейсе КВС владел навыками планирующих полетов, так как в юности летал на планерах. Он применил свое умение, на практике, что и позволило спасти жизни 69 человек. [8].

В СССР тоже случались похожие истории, самой известной является посадка на реку Нева. Тогда нашим летчиком удалось спланировать с полукilометровой высоты над центром Ленинграда и приводниться. Никто не пострадал. В современной России известны несколько случаев удачной посадки ВС после инцидента с остановившимися двигателями в воздухе. 14 января 2002 года экипаж спланировал на расстояние около 17 км. и благополучно посадил самолет ТУ-204-100 в Омске, пострадавших не было. Всего таких случаев относительно удачной посадки в гражданской авиации несколько десятков. Все они закончились благополучно благодаря умелым действиям пилотов, которые не растерялись в сложившихся ситуациях и грамотно применили все свои знания, навыки и умения.

В современном мире, практические навыки по посадке ВС, с отказавшими двигателями, во время обучения получают только некоторые подразделения военно-воздушных сил (ВВС), так как система их подготовки значительно отличается от системы подготовки гражданских пилотов. Дело в том, что цели и задачи, которые ставятся перед военными летчиками, всегда сопровождаются большим риском. Их подготовка должна обеспечивать умение действовать в самых различных аварийных ситуациях. В инструкциях и руководствах по летной эксплуатации военным летчикам разрешено покидать воздушное судно катапультированием или покидая борт с парашютом, если произошла остановка всех двигателей, однако многие из них обучены совершать посадку с такой неисправностью. Во время тренировочных полетов с высоко подготовленным инструктором летчики осваивают и познают действительные возможности своих самолетов, на практике проверяют свои теоретические знания, навыки и расчеты. Все эти мероприятия могут оказаться необходимыми в том случае, если в жизни действительно случается такой инцидент и двигатели их ВС по какой-либо причине откажут.

Для получения и отработки таких навыков у пилотов гражданской авиации, мы предлагаем внедрить в образовательный процесс программное обеспечение (ПО), которое будет наглядно учить пилотов алгоритму работы и расчетам, которые необходимо совершать, чтобы, например, грамотно подбирать площадку для нештатной аварийной посадки ВС в критической ситуации. Правильный расчет позволит пилоту учесть аэродинамические качества самолета, т.е. дальность планирования, влияние ветра, учет сноса ВС, рельеф местности как фактор мешающий преодолеть некоторые высоты и т.д. Все это в совокупности с аналитическим мышлением при выборе места посадки из числа оставшихся благоприятных, позволит пилоту, в конечном счете, принять верное решение.

Кроме того, для поиска и спасания нами также разрабатывается компьютерная программа позволяющая моделировать условия нештатной посадки ВС с учетом условий реальной местности. Программа позволяет, основываясь на формулах аэродинамики, рассчитывать возможности планирования ВС, находить максимумы и минимумы дальности планирования, исходя из конкретных условий. [3, 4]. Имеется возможность учитывать влияние ветра,

рельефа местности на изменение возможностей планирования. Располагая исходными данными, которые вносятся в блок исходных и оперативных данных, наше программное обеспечение может определять возможную площадь для осуществления посадки в таких условиях полета. После проведения основных расчетов, ПО производит распределение вероятности нахождения аварийного ВС после нештатной посадки в зависимости от гауссовского распределения вероятности и других факторов влияющих на изменение этой вероятности путем планового наложения остальных условий полета на карту местности. [1].

В алгоритме программного обеспечения мы попытались учесть и заложить расчет анализа пилотом той обстановки, которую он реализует, а также указывается, как распределил бы благоприятные зоны для посадки пилот-профессионал (высоко подготовленный инструктор). Если попытаться расположить по убывающей благоприятные зоны нештатной посадки, то получится следующее: запасной аэродром, любой другой аэродром, ровный участок дороги, равнина, прямой участок русла реки, небольшие склоны пологих холмов и т.д. Все это позволит разрабатываемой программе в результате расчетов выдавать те зоны местности, которые являются наиболее благоприятными для совершения аварийной посадки. Пример компьютерной программы построенной на основе алгоритма представлен на рисунке 1. [5].

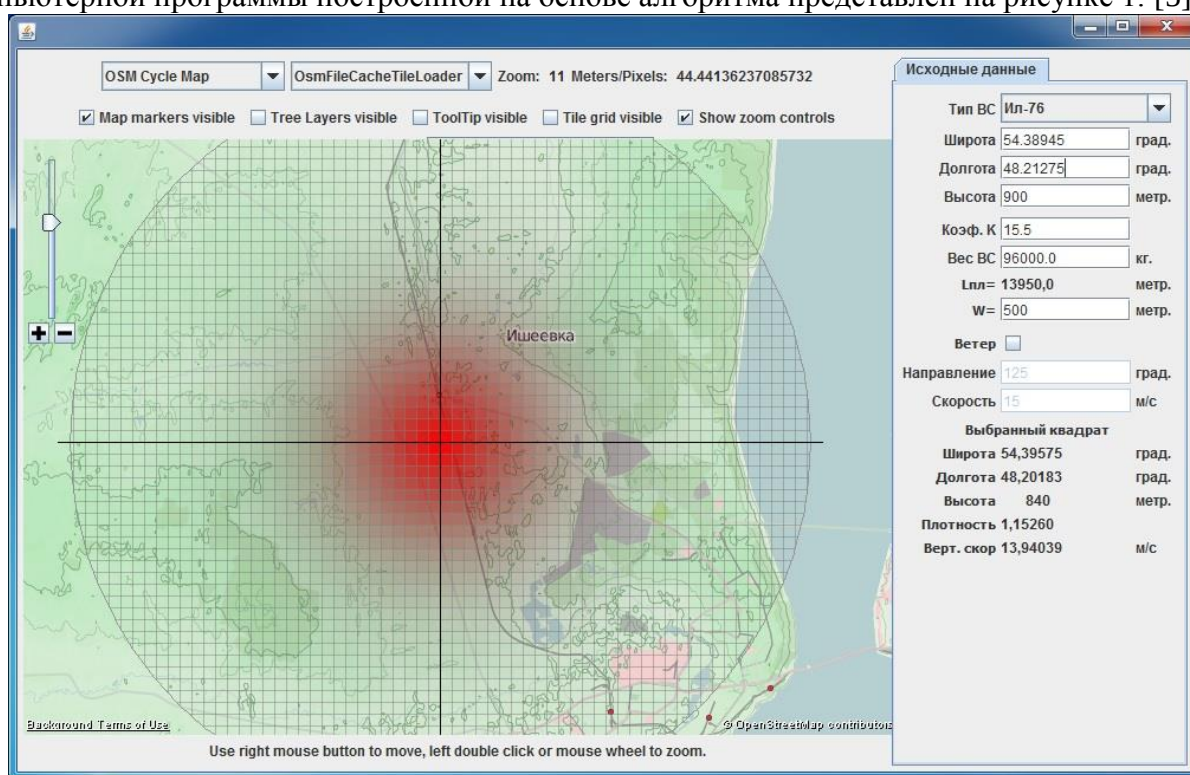


Рис. 1 – Пример визуального отображения работы компьютерной программы построенной на основе алгоритма поиска

Выводы

Предполагается, что программное обеспечение возможно позволит создать процедурный тренажер-симулятор по обучению курсантов. Это будет способствовать наглядному обучению курсантов алгоритму принятия решения и проведения необходимых расчетов в случаях нештатной аварийной посадки. При проведении своих расчетов курсант всегда сможет опираться на подсказки компьютерной программы и анализировать, оценивать полученные результаты. Считаем целесообразным такой подход к обучению пилотов и одновременно поисковиков-спасателей верным и достаточно эффективным.

Список литературы

1. Руководство по международному авиационному и морскому поиску и спасанию. В 2 т. Т. 2. – М.: ИКАО, 2010 – 478 с.
2. Попов, В.А. Безопасность полетов и поисково-спасательное, эвакуационное обеспечение авиации и космических объектов в России / В.А. Попов // Материалы научно-практического семинара «МАКС». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006 136-140 с.
3. Аржаников, Н.С. Аэродинамика летательных аппаратов / Н.С. Аржаников, Г.С. Садекова. – М.: 1983 – 361 с.
4. Карман, Т.А. Аэродинамика / Т.А. Карман. – М.: 2001 – 209 с.
5. Хромов, А.А. Разработка автоматизированной программы для проведения расчетов, необходимых при планировании поисково-спасательных работ в случаях нештатной аварийной посадки воздушного судна / А.А. Хромов // Журнал «Научный вестник УВАУ ГА(И)» (сентябрь 2013 г.) – Ульяновск: УВАУ ГА(И), 2013.
6. Попов В.А. Действительность предъявляет требования к организации и управлению отраслью // Авиапанорама. Международный авиационно-космический журнал. – 2014. – №1. – С. 29-38.
7. Википедия свободная энциклопедия: Рейс 236 Air Transat [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Рейс_236_Air_Transat (дата обращения 04.02.2014).
8. Aviation safety network: accident description [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aviation-safety.net/database/record.php?id=19830723-0> (дата обращения 04.02.2014).

05.23.02

Г.М. Скибин, А.М. Кидакоев, Д.Н. Архипов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, строительный факультет, г. Новочеркасск, skibingm@mail.ru

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНОЙ ПЛИТЫ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА С ГЕОМЕТРИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЕМОЙ ФОРМОЙ ПОДОШВЫ

В работе приведены рекомендации по расчету новой конструкции сборной подошвы фундаментов из балочных элементов по прочности на изгиб с использованием стандартной методики СНиП.

Ключевые слова: ленточный фундамент, балочный элемент; несущая способность; геометрически изменяемая форма.

Конструкция ленточного фундамента с изменяемой формой подошвы, которая достигается за счет смещения балочных элементов с равнобедренным треугольным поперечным сечением (см. рис. 3), [1] является новой и не до конца изученной, в связи с этим в данной работе предложена методика расчета элементов сборной плиты такого ленточного фундамента

Сечением балочных элементов, составляющих гибкую плитную часть фундамента, является равнобедренный треугольник с круглым отверстием внутри него. Геометрические размеры этих элементов можно определить, задавшись высотой плитной части фундамента h_f и его шириной b_f , которые соответствуют высоте сечения элемента и его длине, т.е. $h_s = h_f$ и $l_s = b_f$. Остальные размеры сечения, ширина элемента $-b_s$ и радиус пустоты $-r_1$ (рис. 1.а), легко определяются по формулам:

$$b_s = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot h_f, \quad r_1 = r - 2 \cdot a,$$

где r - радиус вписанной окружности; $a = 3$ см - защитный слой бетона.

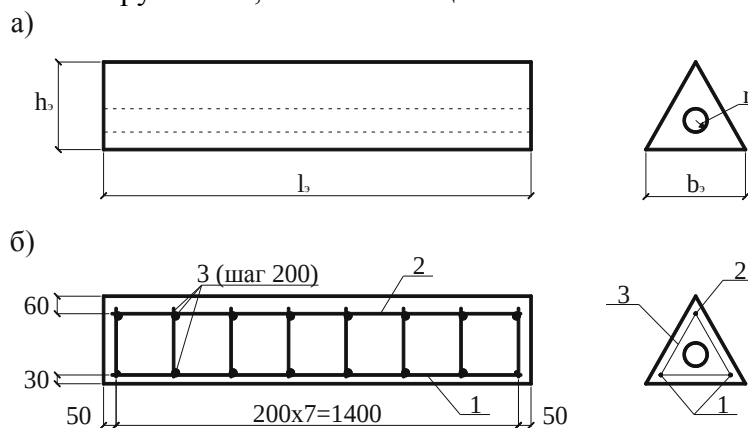


Рис. 1- Сборный балочный элемент с треугольным поперечным сечением:

а) опалубочный чертеж балочного элемента; б) схема армирования балочного элемента.

Основной прочностной характеристикой гибких фундаментов является несущая способность на изгиб, рекомендации по определению которой и будут даны в настоящей работе. Остальные критерии прочности конструкции (проверка на продавливание, на раскалывание) предлагается определять при полной компоновке здания для конкретных инженерно-геологических условий и нагрузок.

Проверка несущей способности сечения проводится по стандартной методике, изложенной в СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции». Расчетная схема для определения несущей способности одного элемента представлена на рис. 2.

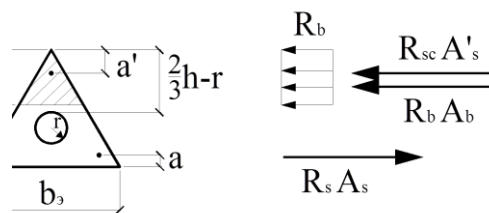


Рис. 2– Расчетная схема одиночного элемента сечение I-I.

Условие прочности имеет вид:

$$M \leq M_{\text{вн}},$$

где $M_{\text{вн}}$ - момент внутренних сил, для треугольного сечения согласно схеме на рисунке 2 (заметим, что предполагается высота сжатой зоны бетона $x \leq \frac{2}{3}h - r$) можно записать:

$$M_{\text{вн}} = \alpha_0 \cdot b_0 \cdot h_0 \cdot R_b + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'), \quad (1)$$

где безразмерный коэффициент α_0 - для треугольного сечения определяется по формуле:

$$\alpha_0 = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon^2 - \frac{1}{3} \cdot \varepsilon^3, \text{ где } \varepsilon = \frac{x}{h_0} - \text{относительная высота сжатой зоны бетона} \quad (2)$$

Положение нейтральной оси или высоту сжатой зоны бетона определим из условия равновесия внутренних сил:

$$R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s = R_b \cdot A_b \quad (3)$$

Подставив в формулу (3) выражение для определения площади сечения сжатой зоны бетона - $A_b = \frac{x^2}{\sqrt{3}}$ легко находим значение x :

$$x = \sqrt{\left(\frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s}{R_b} \cdot \sqrt{3} \right)} \quad (4)$$

И так выражения (1), (2) и (4) позволяют определить несущую способность сечения одного элемента.

Для расчета несущей способности на изгиб сборной плиты ленточного фундамента необходимо рассмотреть два сечения – сечение II-II и сечение III-III (рис. 3).

Для расчета прочности плиты в сечении II-II предлагается схема, представленная на рис. 4а, в которой приняты следующие допущения:

- часть плиты шириной $3b_0$ составляет один элемент;
- принимаем двойное армирование элемента, при этом полагаем $a = a'$.

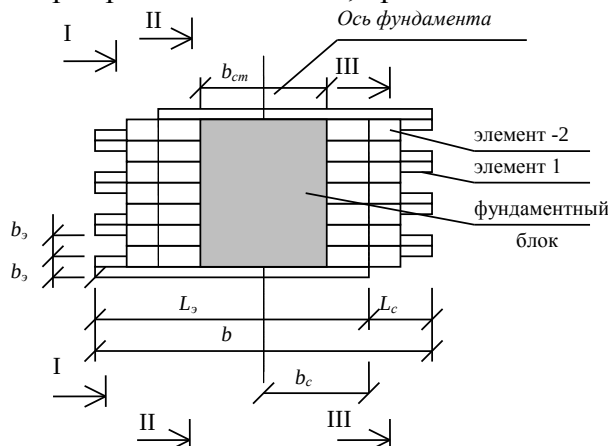
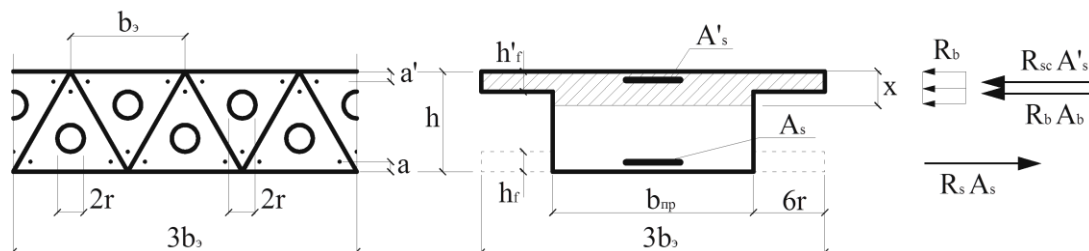


Рис. 3– Ленточный фундамент со смещением элементов подошвы

С учетом принятых допущений сечение плиты приведено к эквивалентному тавровому (см. рис. 4а), геометрические характеристики которого определяются по формулам:

$$h_f = h'_f = \frac{1}{3} \cdot h - 0.9 \cdot r, \quad b_{np} = 3 \cdot b_3 - 0.9 \cdot 12r$$

а)



б)

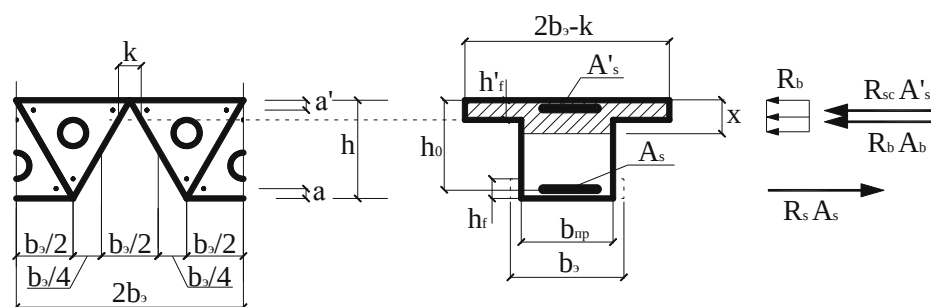


Рис. 4– Расчетная схема сборной плиты: а) в сечении II-II, в сечении III-III.

При выполнении условия (5) (граница сжатой зоны проходит в полке), момент внутренних сил и высоту сжатой зоны определяем по формулам (6), в противном случае (граница сжатой зоны проходит в ребре) - по формулам (7).

$$R_s \cdot A_s \leq R_b \cdot 3 \cdot b_3 \cdot h'_f + R_{sc} \cdot A'_s \quad (5)$$

$$\begin{cases} M_{np} = R_b \cdot 3 \cdot b_3 \cdot x \cdot (h_0 - 0.5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s); \\ x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s}{R_b \cdot 3 \cdot b_3}; \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} M_{np} = R_b \cdot b_{np} \cdot x \cdot (h_0 - 0.5 \cdot x) + R_b \cdot (3 \cdot b_3 - b_{np}) \cdot h'_f \times \\ (h_0 - 0.5 \cdot h'_f) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s); \\ x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s - R_b \cdot (3 \cdot b_3 - b_{np}) \cdot h'_f}{R_b \cdot 3 \cdot b_3}; \end{cases} \quad (7)$$

Форма подошвы фундамента в сечении III-III имеет вид представленный на рис. 4б. Здесь, как и для расчета прочности плиты в сечении II-II предлагается принять следующие допущения:

- часть плиты шириной $2b_3$ составляет один элемент;
- принимаем двойное армирование элемента, при этом полагаем $a = a'$.

Участок подошвы фундамента шириной $2b_3$, указанный на рис. 4б, выбран исходя из размышлений, что он имеет наименьший момент сопротивления и в то же время является периодически повторяющимся звеном, из которого может быть составлена подошва фундамента в сечении III-III.

С учетом принятых допущений сечение плиты приведено к эквивалентному тавровому (рис. 4б), геометрические характеристики которого определяются по формулам:

$$h_f = h'_f = \frac{1}{3} \cdot h - 0.9 \cdot r, \quad b_{np} = \frac{3}{2} b_s - 0.9 \cdot 6r, \quad b'_f = 2b_s - k,$$

где k – расстояние между гранями верхних балочных элементов в уровне сопряжения верхней полки и стенки таврового сечения, k определяется по формуле:

$$k = \frac{2h'_f}{\sqrt{3}}$$

При выполнении условия (8) (граница сжатой зоны проходит в полке), момент внутренних сил и высоту сжатой зоны определяем по формулам (9) как для прямоугольного сечения, в противном случае (граница сжатой зоны проходит в ребре), расчет ведется по формулам (10).

$$R_s \cdot A_s \leq R_b \cdot b'_f \cdot h'_f + R_{sc} \cdot A'_s \quad (8)$$

$$\begin{cases} M_{np} = R_b \cdot b'_f \cdot x \cdot (h_0 - 0.5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s); \\ x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s}{R_b \cdot b'_f}; \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} M_{np} = R_b \cdot b_{np} \cdot x \cdot (h_0 - 0.5 \cdot x) + R_b \cdot (b'_f - b_{np}) \cdot h'_f \times \\ \times (h_0 - 0.5 \cdot h'_f) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s); \\ x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s - R_b \cdot (b'_f - b_{np}) \cdot h'_f}{R_b \cdot b'_f}; \end{cases} \quad (10)$$

Расчетные данные о несущей способности элементов на изгиб, а также о погонной прочности сборной плиты, вычисленные по вышеприведенным формулам могут быть применены в проектной практике при разработке проектов ленточных фундаментов с геометрически изменяемой формой подошвы.

Список литературы

1. Патент на полезную модель №2003107220/20, МПК U1 32138 RU 7 E 02 D 27/01. Ленточный фундамент. / Мурзенко Ю.Н., Евтушенко С.И., Скибин Г.М., Архипов Д.Н., и др. Заявл. 20.03.2003; Опул. 10.09.2003, Бюл. №25.

05.13.18

М.В. Таланов

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева,
факультет электронной техники, кафедра электроники и электротехники,
Саранск, mvtal@mail.ru

**РЕАЛИЗАЦИЯ РАСШИРЕННОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА
НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ TMS320F28335 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВОЙ
СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

В работе описана реализация расширенного фильтра Калмана с использованием микроконтроллера TMS320F28335 фирмы Texas Instruments в цифровой системе управления. Приведено сравнение производительности микроконтроллера при различных способах вычисления обратной матрицы в алгоритме фильтрации. Оценка угловой скорости вращения ротора, полученная с помощью расширенного фильтра Калмана, используется в модифицированной системе векторного управления с дополнительным наблюдателем потокосцепления ротора.

Ключевые слова: векторное управление, расширенный фильтр Калмана, наблюдатель потокосцепления ротора, микроконтроллер TMS320F28335.

Создание бездатчиковой системы векторного управления (ВУ) асинхронным двигателем (АД) является актуальной проблемой в случае, когда условия эксплуатации двигателя не позволяют использовать датчик скорости. Возможным способом оценки угловой скорости вращения ротора является использование расширенного фильтра (наблюдателя) Калмана (РФК).

Алгоритм РФК включает в себя сложные математические преобразования: сложение и умножение матриц, вычисление обратной матрицы, – поэтому для работы алгоритма в режиме реального времени требуется высокопроизводительный микроконтроллер (МК). В статье рассматривается реализация отладочного комплекса для тестирования алгоритма РФК на МК TMS320F28335 фирмы Texas Instruments (с техническими характеристиками этого МК можно ознакомиться в [1]) в рамках создания системы ВУ АД структура, которой описана в [2]. В упомянутой системе ВУ РФК используется только для определения угловой скорости вращения ротора асинхронного двигателя, но РФК также можно использовать и для оценки параметров АД, как, например, в [3]. Математическая модель АД, которая использовалась в алгоритме РФК, а также математическое описание самого алгоритма приведены в [4, 5].

Разработка отладочного комплекса велась с использованием макетной платы TMDSDOCK28335, на которой имеется сокет DIMM100, куда вставляется дочерняя плата TMDSCNCD28335 с МК TMS320F28335. Связь между компьютером и МК для загрузки и отладки программ осуществляется по интерфейсу USB. Структура отладочного комплекса показана на рисунке 1.

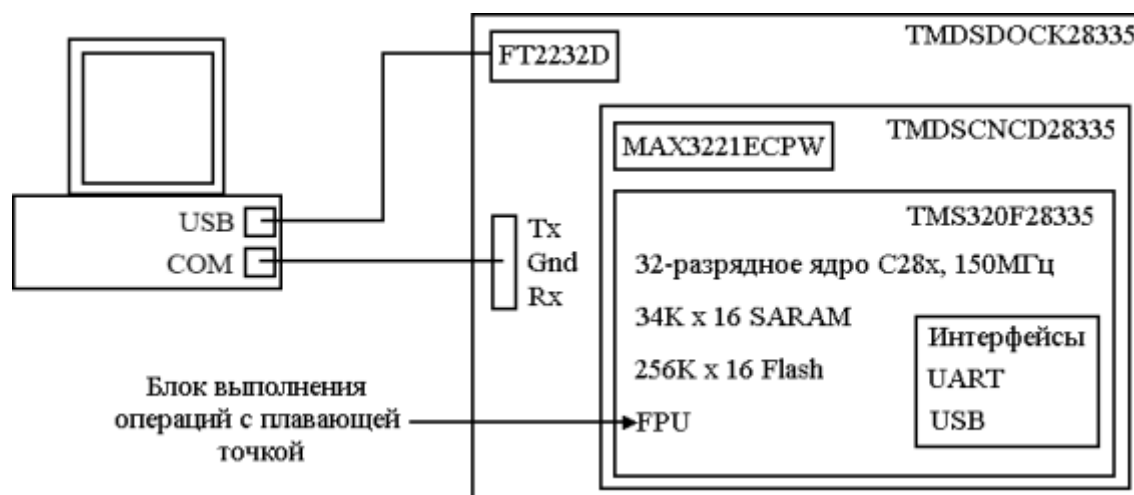


Рис. 1 – Структура отладочного комплекса

Алгоритм работы отладочного комплекса показан на рисунке 2.

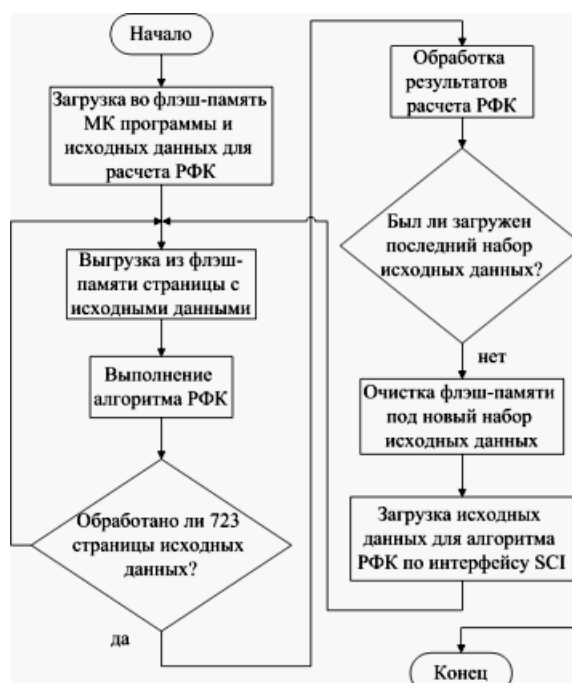


Рис. 2 – Алгоритм работы отладочного комплекса

Входными данными для РФК являются проекции токов и напряжений обмоток статора, проекции потокоцепления ротора на оси неподвижной системы координат [2]. Входные данные получаются в результате моделирования системы ВУ из [6], при котором проекции токов и напряжений обмоток статора записываются через 50 мкс, т.е. шаг дискретизации для алгоритма РФК принимался равным 50 мкс. По полученным значениям токов и напряжений рассчитываются проекции потокоцепления с помощью модели модифицированного наблюдателя потокоцепления ротора в MATLAB [2]. Затем все результаты моделирования обрабатываются и к ним добавляется служебная информация.

Алгоритм РФК и исходные данные для него загружаются в разные специально выделенные области флэш-памяти [7] с помощью cmd-файла, отвечающего за разметку памяти МК. Процесс расчета организован таким образом, что данные для расчета и алгоритм РФК выгружаются в оперативную память МК, т.к. обращение к ней занимает меньше времени. Для удобства обработки и передачи данных из MATLAB, исходные данные

для алгоритма РФК и результаты расчета РФК имеют тип uint16 по размеру слова памяти МК.

Флэш-память МК устроена таким образом, что ячейку памяти невозможно перевести из состояния 0 в состояние 1. Это означает, что результаты расчета весьма проблематично записать на место исходных данных, поэтому доступный объем флэш-памяти был разделен на две части. Всего на хранение данных было выделено 228825 слов флэш-памяти, из них: 183010 слов отведено для хранения исходных данных вместе со служебными данными и 45815 слов – для результатов расчета РФК.

Была реализована страничная организация исходных данных, чтобы минимизировать время, затрачиваемое на обращение к памяти, в процессе расчета РФК, т.е. страница с данными загружается в оперативную память перед началом расчета алгоритма РФК. За основу реализации была взята программа из [8], которая была существенно доработана с учетом специфики работы отладочного комплекса. Как показано на рисунке 2 исходные данные размещаются в 723 страницах. Была выбрана такая конфигурация, при которой одна страница занимает 252 слова памяти, 8 страниц формируют банк данных. Служебные данные представляют собой набор статусов для банков и страниц: пустой банк, текущий банк, обработанный банк, пустая страница, страница с данными, текущая страница, обработанная страница. В процессе чтения данных статусы банков и страниц обновляются. Запись во флэш-память возможна только с использованием специального Flash API.

Исходя из объема экспериментальных данных, доступного размера флэш-памяти, удобства обработки данных было принято решение записывать результаты расчета не чаще чем через 4 набора данных. Этот набор данных представляет собой оценку вектора состояния АД и включает в себя: проекции токов статора и проекции потокосцепления ротора на оси неподвижной системы координат, угловую скорость вращения ротора.

Перед загрузкой нового набора исходных данных флэш-память, отведенная под хранение данных, очищается. Это не влияет отрицательно на работу алгоритма фильтрации, потому что все важные промежуточные данные хранятся в оперативной памяти.

Результаты расчета алгоритма РФК, хранящиеся во флэш-памяти, можно посмотреть с помощью Code Composer Studio. Для этого в меню View необходимо выбрать окно Memory. В этом окне отображается содержимое памяти МК, которое с помощью контекстного меню можно сохранить в отдельный файл. Этот файл затем используется для построения графиков в MATLAB.

Загрузка новых данных осуществляется по интерфейсу SCI (передача выполняется на скорости 9600 бод) с помощью графической формы, созданной в MATLAB GUIDE. Поскольку на плате TMDSCNCD28335 имеется микросхема MAX3221ECPW, которая обеспечивает связь между интерфейсом UART МК и последовательным портом компьютера, то никаких дополнительных устройств сопряжения не потребовалось за исключением модемного кабеля. Один конец модемного кабеля был распаян так, что ножки TD, RD и GND были выведены в отдельный плоский четырехконтактный коннектор, который легко надевается соответственно на штырьки Rx, Tx, Gnd на макетной плате TMDSDOCK28335. На макетной плате имеется микросхема FT232RL, которая обеспечивает связь МК с компьютером по интерфейсу USB. Эту микросхему также можно использовать для обмена данными с МК, в случае если на компьютере отсутствует разъем COM-порта. Для этого необходимо установить и настроить виртуальный драйвер COM-порта [9].

В [10, 11] детально описан вывод уравнений фильтрации Калмана. Рассмотрим получение уравнения для матрицы усиления фильтра K .

$$[I - KH]PH^T - KR = 0 \quad (1)$$

$$PH^T - KHPH^T - KR = 0 \quad (2)$$

$$PH^T - K[HPH^T + R] = 0 \quad (3)$$

$$K[HPH^T + R] = PH^T \quad (4)$$

$$K = PH^T [HPH^T + R]^{-1}, \quad (5)$$

где I – единичная матрица, H – матрица чувствительности, P – матрица ковариации ошибки экстраполяции, R – матрица ковариации ошибки измерений.

Вычислить обратную матрицу $[HPH^T + R]^{-1}$ можно методом алгебраических дополнений или путем решения системы линейных алгебраических уравнений. В процессе программирования алгоритма РФК были реализованы и протестированы оба способа. Математическое описание первого способа дано в [12]. Предлагаемый второй способ приводится далее.

Умножим левую и правую часть уравнения (5) на H :

$$KH = PH^T [HPH^T + R]^{-1} H. \quad (6)$$

Найдем LU-разложение для матрицы $[HPH^T + R]$, используя алгоритм Краута [13], т.е. $[HPH^T + R] = LU$. Известно, что произведение квадратной матрицы A на матрицу обратную к ней A^{-1} есть единичная матрица I ($AA^{-1} = I$) [11], поэтому можно записать:

$$[LU][HPH^T + R]^{-1} H = H. \quad (7)$$

Обозначая как неизвестное X :

$$X = [HPH^T + R]^{-1} H, \quad (8)$$

получаем, что

$$[LU]X = H. \quad (9)$$

Выполняя прямую подстановку $LX_{[1]} = H$, а затем обратную подстановку $UX = X_{[1]}$ вычисляем X .

Проводилось тестирование алгоритма РФК с использованием модифицированного наблюдателя потокоцепления и без него. В первом случае матрица чувствительности равна

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \text{ а во втором } H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \text{ Таким образом, для получения}$$

матрицы усиления K достаточно из произведения $PH^T [HPH^T + R]^{-1} H$ взять в первом случае четыре первых столбца, а во втором два первых столбца.

Рассмотрим результаты моделирования и время расчета алгоритма РФК при использовании различных способов вычисления обратной матрицы. Результаты приведены для случая с использованием модифицированного наблюдателя потокоцепления. Тестирование проводилось с максимальной степенью оптимизации программного кода. С помощью инструмента «Clock Profiler», который позволяет в Code Composer Studio определить количество затрачиваемых на выполнение программного кода циклов процессора МК, были получены следующие значения: 1) расчет обратной матрицы методом алгебраических дополнений занял 43917 циклов; 2) расчет с использованием LU-разложения – 46736 циклов. МК работает на частоте 150 МГц, поэтому время работы алгоритма в первом случае составляет $1/(150 \times 10^6) \times 43917 = 292$ мкс, а во втором составляет $1/(150 \times 10^6) \times 46736 = 312$ мкс. Таким образом, разница во времени работы алгоритмов составляет 20 мкс.

На рисунке 3 показана оценка угловой скорости вращения ротора, полученная в результате работы отладочного комплекса. Моделировалась работа РФК в составе системы ВУ, которая поддерживала скорость вращения ротора на уровне 120 рад/с. В момент времени $t = 2$ с производился наброс нагрузки величиной в 100 Нм.

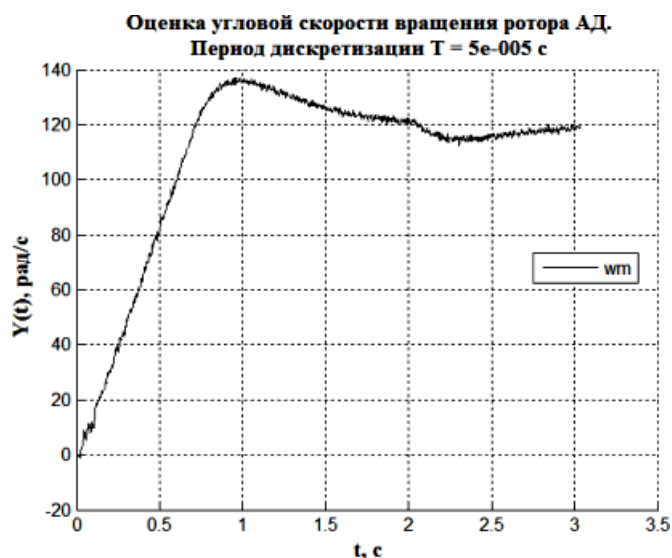


Рис. 3 – Оценка угловой скорости вращения ротора АД, полученная с помощью модифицированной структуры РФК

В статье была рассмотрена реализация отладочного комплекса для проверки работы РФК модифицированной структуры (с использованием модифицированного наблюдателя потокоцепления). Были рассмотрены различные способы вычисления обратной матрицы в алгоритме фильтрации. Приведены результаты работы отладочного комплекса.

Список литературы

1. TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332, TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232, digital signal controllers (dscs) data manual. – Texas Instruments, Literature Number: SPRS439M, August 2012.
2. 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.
3. Aksoy S., Muhurcu A., Kizmaz, H. State and parameter estimation in induction motor using the extended Kalman filtering algorithm // Modern Electric Power Systems. – 2010. Proceedings of the International Symposium.
4. 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.
5. Таланов М.В., Таланов В.М., Карасев А.В. Модель улучшенного фильтра Калмана с наблюдателем потокосцепления для определения угловой скорости вращения ротора асинхронного электродвигателя // Проблемы управления, обработки и передачи информации (АТМ-2013): сб. трудов III Междунар. Научной конф.: в 2 т. – 2013. т. 2 – С. 147-153.
6. 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.
7. Running an application from internal flash memory on the TMS320F28xxx DSP. – Texas Instruments, Application Report: SPRA958L, January 2013.
8. EEPROM Emulation with the TMS320F28xxx DSCs. – Texas Instruments, Application Report: SPRAB69, September 2009.
9. FTDI Drivers Installation guide for Windows 7. – Future Technology Devices International Limited, Document Reference No.: FT_000160, 29 October 2009.
10. Дегтярев А., Тайль Ш. Элементы теории адаптивного расширенного фильтра Калмана. – Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, 2003. – 36 с.
11. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси. Пер. с нем. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 200 с.
12. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления. Для вузов, том второй. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1972. – 576 с.
13. Чуа Л.О., Линн Пен-Мин. Машинный анализ электронных схем: алгоритмы и вычислительные методы. – М.: Энергия, 1980. – 640 с.

05.13.06

¹А.Р. Фардеев к.т.н., ²Р.Г. Марданшин к.ф.-м.н.

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.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ЖИДКОСТИ КАК МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В статье рассмотрена работа автоматической системы подачи жидкости с использованием ветродвигателя как механической системы, представлены уравнения математических моделей объекта и системы управления, установлены условия асимптотической устойчивости номинального режима работы системы при управлении рабочим объёмом пластинчатого насоса и площадью сечения воздухопроводов.

Ключевые слова: ветронасосная установка, подача жидкости механическая система, система управления, условия асимптотической устойчивости.

Рассмотрим ветронасосную установку с механической передачей, регулируемым пластинчатым насосом и ограничителем воздушного потока, схема которой показана на рис. 1. Управление работой установки в зависимости от скорости ветра с целью работы системы в режиме максимальной мощности осуществляется путём изменения рабочего объёма насоса и при помощи системы ограничения воздушного потока.

Составлена математическая модель ветронасосной установки как объекта управления [2]. Уравнение, описывающее эту математическую модель при регулировании рабочего объёма насоса, имеет вид:

$$T \frac{dy}{dt} + y(t) = K_w w(t) - K_{uv} u_v(t). \quad (1)$$

При выводе уравнения (1) введены относительные переменные y , w , u_v , определяемые по формулам:

$$y = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}, \quad w = \frac{v - v_0}{v_0}, \quad u_v = \frac{V_{on} - V_{on0}}{V_{on0}},$$

где ω – угловая скорость вращения ротора ветродвигателя; v – скорость ветра; V_{on} – рабочий объём насоса; ω_0 , v_0 , V_{on0} – указанные величины в некотором равновесном режиме. Величины T , K_w , K_{uv} определяются по формулам

$$T = \frac{I\omega_0}{M_0(1+h_{ny})}, \quad K_w = \frac{3}{1+h_{ny}}, \quad K_{uv} = \frac{h_{ni}}{1+h_{ny}},$$

где $h_{ni} = \frac{P_{nac0}V_{on0}}{2\pi\eta_{n0}M_{n0}}$, $h_{ny} = \frac{AP_{nac0}^2}{\eta_{n0}\mu\omega_0M_{n0}}$; P_{nac0} , η_{n0} , M_0 , M_{n0} – значения давления насоса, КПД насоса, момента (приложенного к ротору ветродвигателя со стороны внешних сил), момента (потребляемого насосом) в равновесном режиме соответственно; I – момент инерции ротора ветродвигателя и ротора пластинчатого насоса как одного тела относительно оси вращения; A – постоянная, зависящая от конструкции насоса; μ – динамическая вязкость жидкости.

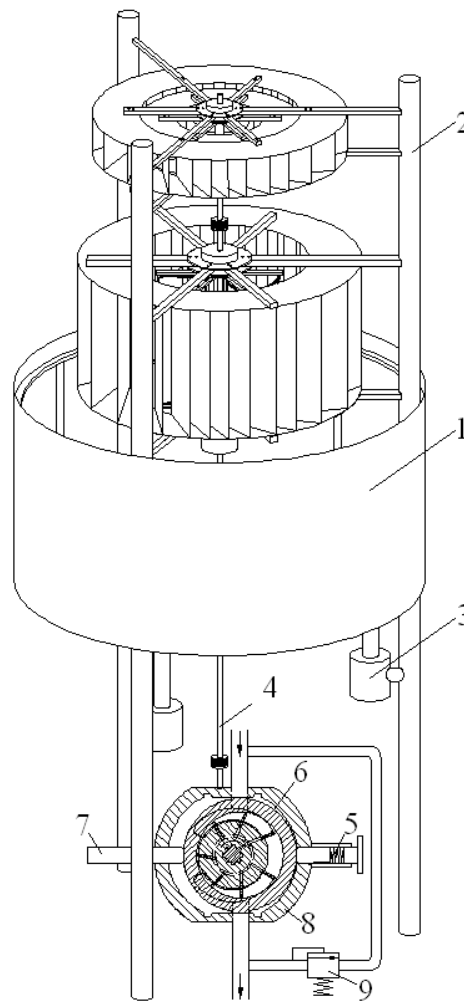


Рис. 1 - Схема ветронасосной установки с механической передачей и пластинчатым насосом:

1 – ограничитель воздушного потока; 2 – стойки; 3 – гидроцилиндры;
4 – вертикальный вал; 5 – пружина; 6 – подвижный корпус; 7 – толкатель;
8 – регулируемый пластинчатый насос; 9 – переливной клапан

Уравнение, описывающее математическую модель объекта управления при регулировании площади сечения воздухопроводов, имеет вид:

$$T \frac{dy}{dt} + y(t) = K_w w(t) + K_{us} u_s(t). \quad (2)$$

Здесь вместо переменной u_v введена переменная $u_s = \frac{S - S_0}{S_0}$, где S – ометаемая площадь ветродвигателя, а S_0 – значение этой площади при $\omega = \omega_0$.

Относительное изменение скорости ветра $w(t)$, участвующее в уравнениях (1) и (2) не зависит от свойств системы, а зависит от региона, в котором эксплуатируется система, от времени года и времени суток, а также от многолетних метеорологических наблюдений и краткосрочных метеорологических прогнозов.

Относительное изменение рабочего объема $u_v(t)$, участвующее в уравнении (1) и относительное изменение площади сечения воздухопроводов $u_s(t)$, участвующее в уравнении (2) зависят от отклонения $\alpha(t)$, выданного элементом сравнения. Его роль выполняет регулятор, схема которого показана на рис. 2. Эти зависимости имеют вид [3]:

$$T_s \frac{du_v}{dt} + u_v = K_\theta \theta, \quad (3)$$

$$-T_s \frac{du_s}{dt} - u_s = K_\theta \theta, \quad (4)$$

где $\theta = \frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_0}$; $T_s = \frac{1}{K_{23}K_{mn}}$; $K_\theta = \frac{k_1\alpha_0}{K_{mn}S_{10}}$; $K_{23} = k_2k_3$; $K_{mn} = \frac{m_1}{n_1}$; величины α , k_1 , m_1 , n_1 , S_1 показаны на рис. 2; α_0 , S_{10} – значения α и S_1 в равновесном режиме; k_2 – коэффициент, зависящий от перепада давлений в гидролиниях; k_3 – коэффициент, зависящий от площади торца плунжера 9 (см. рис.2).

В уравнениях (3) и (4) присутствует переменная θ – относительное изменение угла поворота α рычага 2 регулятора 1 (см. рис. 2). Выведена зависимость θ от относительного изменения угловой скорости ротора ветродвигателя y и относительного изменения скорости ветра w . Эта зависимость имеет вид:

$$\frac{d\theta}{dt} = K_y y - K_{w2} w, \quad (5)$$

где $K_y = \frac{3\omega_0}{2\alpha_0}$; $K_{w2} = \frac{\nu_0}{2R_a\alpha_0}$; R_a – расстояние от оси вращения до центра давления лопасти анемометра (ветроколеса, измеряющего скорость ветра).

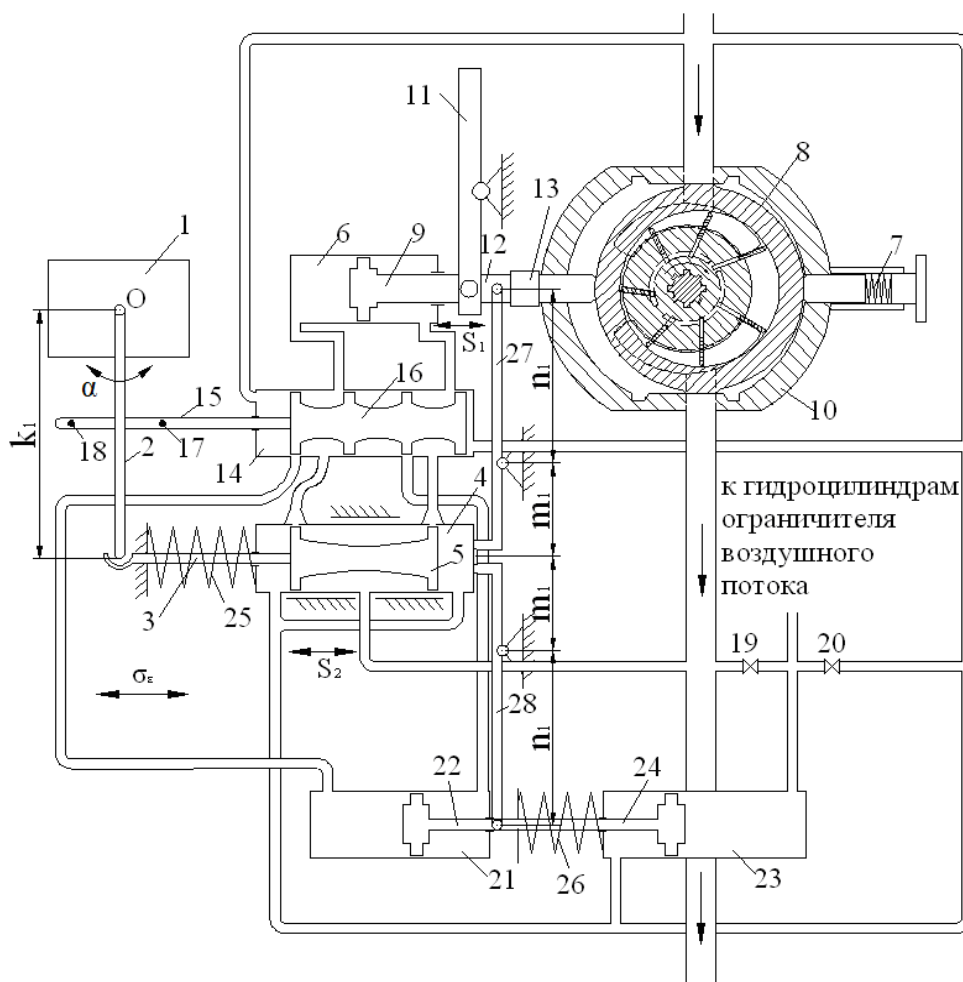


Рис. 2 – Схема блока управления:

- 1 – регулятор; 2 – рычаг; 3 – шток; 4 – золотниковый гидрораспределитель; 5 – плунжер;
 6 – сервомотор; 7 – пружина; 8 – подвижный корпус; 9 – плунжер; 10 – регулируемый
 пластинчатый насос; 11 – рычаг; 12 – тяга; 13 – удлинитель; 14 – гидрораспределитель;
 15 – шток; 16 – плунжер; 17, 18 – выступы на штоке 15; 19, 20 – вентили;
 21 – сервомотор; 22 – плунжер; 23 – гидроцилиндр; 24 – плунжер;
 25, 26 – пружины; 27, 28 – рычаги

Определим условия асимптотической устойчивости номинального режима работы автоматической системы подачи жидкости.

При управлении рабочим объёмом насоса математическая модель автоматической системы подачи жидкости описывается уравнениями (1), (3), (5):

$$\begin{aligned} T \frac{dy}{dt} + y(t) &= K_w w(t) - K_{uv} u_v(t) \\ T_s \frac{du_v(t)}{dt} + u_v(t) &= K_\theta \theta(t) \\ \frac{d\theta(t)}{dt} &= K_y y(t) - K_{w2} w(t). \end{aligned}$$

При управлении площадью сечения воздухопроводов математическая модель автоматической системы подачи жидкости описывается уравнениями (2), (4), (5):

$$\begin{aligned} T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) &= K_w w(t) + K_{us} u_s(t) \\ -T_s \frac{du_s(t)}{dt} - u_s(t) &= K_\theta \theta(t) \\ \frac{d\theta(t)}{dt} &= K_y y(t) - K_{w2} w(t). \end{aligned}$$

Рассмотрим автоматическую систему подачи жидкости при управлении рабочим объёмом насоса. После преобразований уравнения, описывающие математическую модель системы, в этом случае примут вид:

$$\begin{aligned} \frac{dy(t)}{dt} &= -\frac{1}{T} y(t) - \frac{1}{T} K_{uv} u_v(t) + \frac{1}{T} K_w w(t) \\ \frac{du_v(t)}{dt} &= -\frac{1}{T_s} u_v(t) + \frac{1}{T_s} K_\theta \theta(t) \\ \frac{d\theta(t)}{dt} &= K_y y(t) - K_{w2} w(t). \end{aligned} \quad (6)$$

Пусть скорость ветра постоянна. Тогда система уравнений (6) примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dt} &= -\frac{1}{T} y(t) - \frac{1}{T} K_{uv} u_v(t) + 0 \cdot \theta(t) \\ \frac{du_v(t)}{dt} &= 0 \cdot y(t) - \frac{1}{T_s} u_v(t) + \frac{1}{T_s} K_\theta \theta(t) \\ \frac{d\theta(t)}{dt} &= K_y y(t) + 0 \cdot u_v(t) + 0 \cdot \theta(t). \end{aligned} \quad (7)$$

Характеристическое уравнение системы (7) имеет вид:

$$\begin{vmatrix} -\frac{1}{T} - \lambda & -\frac{K_{uv}}{T} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_s} - \lambda & \frac{K_\theta}{T_s} \\ K_y & 0 & 0 - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad \text{или} \\ TT_s \lambda^3 + (T + T_s) \lambda^2 + \lambda + K_y K_{uv} K_\theta = 0.$$

Его коэффициенты равны:

$$\alpha_0 = K_y K_{uv} K_\theta; \quad \alpha_1 = 1; \quad \alpha_2 = T + T_s; \quad \alpha_3 = TT_s.$$

Это характеристическое уравнение согласно алгоритму Рауса[1] будет иметь корни лишь с отрицательными вещественными частями при выполнении условий:

1) все коэффициенты $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ положительны;

2) $\alpha_1\alpha_2 > \alpha_0\alpha_3$.

Эти условия являются необходимыми и достаточными условиями асимптотической устойчивости системы (7), т. е. равновесного режима работы автоматической системы подачи жидкости при постоянной скорости ветра.

Величины T , T_s , K_y , K_{uv} , K_θ являются положительными. Следовательно, коэффициенты α_0 , α_1 , α_2 , α_3 положительны, т. е. первое условие выполняется.

Для проверки выполнения второго условия вычислим значения величин T , T_s , K_y , K_{uv} , K_θ . Пусть $v_0 = 10 \text{ м/с}$; $S = 48 \text{ м}^2$; $R_p = 3 \text{ м}$; $\xi = 0,15$; $I = 100 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $N_{n0} = 70 \text{ Вт}$; $\beta = 143 \cdot 10^{-5} \text{ Вт/Па}$; $A = 8 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3$; $\mu = 0,04 \text{ Па} \cdot \text{с}$; $S_{10} = 10^{-1} \text{ м}$, $\rho = 1,23 \text{ кг/м}^3$, тогда

$$\omega_0 = \frac{v_0}{R_p} = 3,33 \text{ рад/с}; \quad M_0 = M_{n0} = \frac{N_0}{\omega_0} = \frac{0,5 \rho S v_0^3 \xi}{\omega_0} = 1330 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad P_{nac0} = \frac{\rho S \xi v_0^3 - 2 N_{n0}}{2 \beta} = 15 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$\eta_{n0} = 0,7; \quad V_{on0} = 2\pi \left(\frac{3 \rho S R_p \xi \eta_{n0} v_0^2}{2 P_{nac0}} + \frac{3 A P_{nac0} R_p}{\mu v_0} \right) = 0,0075 \text{ м}^3; \quad h_{ni} = \frac{P_{nac0} V_{on0}}{2 \pi \eta_{n0} M_{n0}} = 1,924;$$

$$h_{ny} = \frac{A P_{nac0}^2}{\eta_{n0} \mu \omega_0 M_{n0}} = 0,145; \quad T = \frac{I \omega_0}{M_0 (1 + h_{ny})} = 0,219 \text{ с}, \quad T_s = \frac{1}{K_{23} K_{mn}} (\text{с}); \quad K_y = \frac{3 \omega_0}{2 \alpha_0} = \frac{5}{\alpha_0} \left(\frac{1}{\text{с}} \right),$$

$$K_{uv} = \frac{h_{ni}}{1 + h_{ny}} = 1,68; \quad K_\theta = \frac{k_1 \alpha_0}{K_{mn} S_{10}} = \frac{10 k_1 \alpha_0}{K_{mn}};$$

После подстановки вычисленных значений T , T_s , K_y , K_{uv} , K_θ второе условие примет вид:

$$K_{23} > 84 \frac{k_1}{K_{mn}^2} - \frac{4,566}{K_{mn}}. \quad (8)$$

Так как коэффициент K_{23} положителен, то выполняется ещё одно условие:

$$K_{23} > 0. \quad (9)$$

На рис. 3 показаны области устойчивости, определяемые неравенствами (8) и (9) в плоскости параметров K_{23} и K_{mn} . Штриховка произведена со стороны области устойчивости. Границы 1 и 2 дают область устойчивости, соответствующую $k_1 = 0,1 \text{ м}$. Границы 3 и 2 дают область устойчивости, соответствующую $k_1 = 0,2 \text{ м}$. Из рис. 3 видно, что уменьшение коэффициента k_1 расширяет область устойчивости автоматической системы подачи жидкости.

Рассмотрим автоматическую систему подачи жидкости в случае управления площадью сечения воздухопроводов. После преобразований уравнения, описывающие математическую модель системы в этом случае примут вид:

$$\begin{aligned} \frac{dy(t)}{dt} &= -\frac{1}{T} y(t) + \frac{1}{T} K_{us} u_s(t) + \frac{1}{T} K_w w(t) \\ \frac{du_s(t)}{dt} &= -\frac{1}{T_s} u_s(t) - \frac{1}{T_s} K_\theta \theta(t) \\ \frac{d\theta(t)}{dt} &= K_y y(t) - K_{w2} w(t). \end{aligned} \quad (10)$$

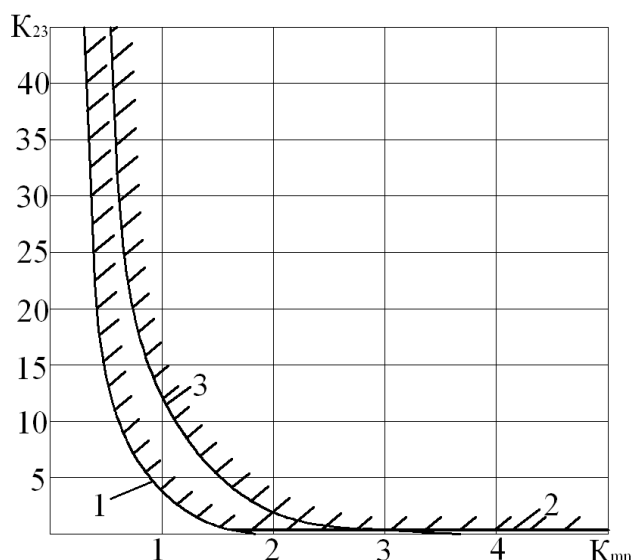


Рис. 3 – Границы устойчивости в плоскости параметров K_{23} и K_{mn} в случае управления рабочим объёмом насоса

Характеристическое уравнение системы (10) имеет вид:

$$\begin{vmatrix} -\frac{1}{T} - \lambda & \frac{K_{us}}{T} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_s} - \lambda & -\frac{K_\theta}{T_s} \\ K_y & 0 & 0 - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad \text{или}$$

$$TT_s\lambda^3 + (T + T_s)\lambda^2 + \lambda + K_y K_{us} K_\theta = 0.$$

Это характеристическое уравнение отличается от предыдущего лишь тем, что вместо K_{uv} присутствует K_{us} . Вычислим K_{us} :

$$K_{us} = \frac{1}{1 + h_{ny}} = 0,873.$$

После замены K_{uv} на K_{us} увидим, что первое условие устойчивости выполняется, т. к. коэффициенты $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ остались положительными, а второе условие устойчивости примет вид:

$$K_{23} > 43,648 \frac{k_1}{K_{mn}^2} - \frac{4,566}{K_{mn}}. \quad (11)$$

Условие (9) не изменится.

На рис. 4 показаны области устойчивости, определяемые неравенствами (11) и (9) в плоскости параметров K_{23} и K_{mn} . Штриховка произведена со стороны области устойчивости. Границы 1 и 2 дают область устойчивости, соответствующую $k_1 = 0,1м$. Границы 3 и 2 дают область устойчивости, соответствующую $k_1 = 0,2м$. Из рис. 4 видно, что уменьшение коэффициента k_1 и в случае управления площадью сечения воздухопроводов расширяет область устойчивости автоматической системы подачи жидкости.

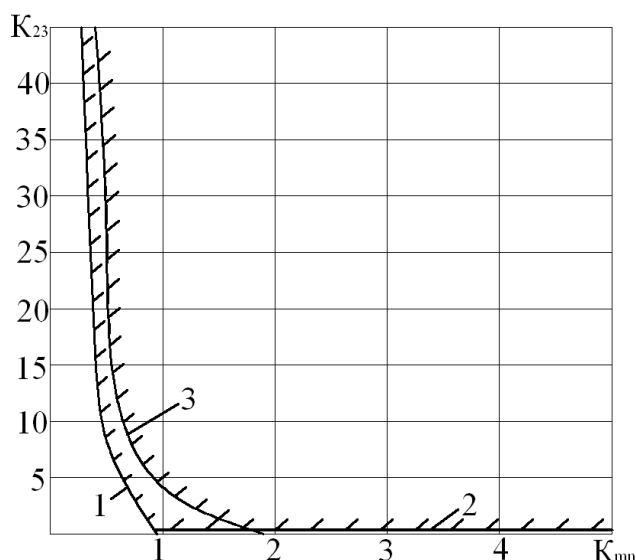


Рис. 4 – Границы устойчивости в плоскости параметров K_{23} и K_{mn} в случае управления площадью сечения воздухопроводов

Список литературы

1. Воронов А.А. Теория автоматического управления. – М.: Высш. шк., 1986, – 368 с.
2. Фардеев, А.Р. Устойчивость работы автоматической системы подачи жидкости, используемой в технологическом процессе циркуляции и регенерации смазочно-охлаждающих средств с применением ветронасосных установок // Социально-экономические и технические системы <http://sets.ru/> – 2010. – №1 – 8с.
3. Фардеев, А.Р. Система автоматического управления рабочим объёмом насоса и площадью сечения воздухопроводов в технологическом процессе циркуляции жидкости с применением ветронасосных установок // Социально-экономические и технические системы <http://sets.ru/> – 2010. – №1. – 6с.

05.17.08

В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, В.А. Нестеров, А.Н. Галахов, Р.С. Доровских

Бийский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
г. Бийск, shalunov@bti.secna.ru

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНО-АКУСТИЧЕСКОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ

Статья посвящена созданию и исследованию функциональных возможностей газоочистительного оборудования для улавливания дисперсных частиц нанометрового размера. Экспериментально установлено, что эффективность разработанного пылеуловителя при улавливании дисперсных частиц с начальным размером 0,2 мкм при расходе пылегазового потока 0,22 м³/с, концентрацией частиц 100 г/м³ и плотностью исходных частиц 2000 кг/м³ составляет не менее 95%.

Ключевые слова: ультразвук, коагуляция, агломератор, аппарата со встречно-закрученными потоками, пылегазоочистительное оборудование.

В настоящее время огромное внимание уделяется решению проблемы эффективной очистки загрязненных газов и улавливания готовых продуктов, формируемых в газовых средах в виде частиц нанометрового размера. Примером подобного процесса является получение диоксида кремния SiO₂ (аэросила).

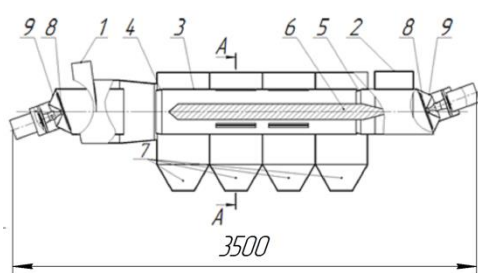
Для этих целей применяются аппараты, которые имеют определенные недостатки, связанные с низкой эффективностью, необходимостью замены или чистки фильтрующего элемента, а иногда и с принципиальной невозможностью улавливания высокодисперсных частиц (менее 1 мкм).

Возможный путь повышения эффективности газоочистного оборудования – укрупнение частиц за счет использования эффекта акустической коагуляции высокоинтенсивными ультразвуковыми (УЗ) колебаниями [1].

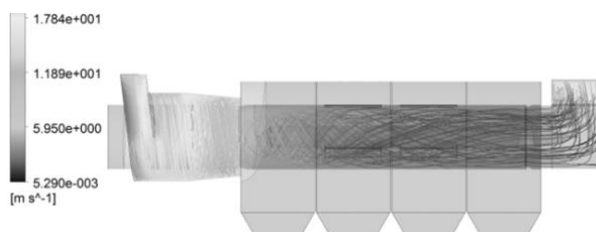
Для решения указанной проблемы авторами был разработан двухступенчатый комплекс газоочистительного оборудования. Первая ступень выполнена в виде горизонтального центробежного циклона с двумя УЗ дисковыми излучателями на частоте 20–24 кГц [2,3]. Основное назначение первой ступени – повышение эффективности коагуляция за счет увеличения времени пребывания частиц в УЗ поле, а также частичное разделение пылегазовой смеси и повышение концентрации в периферийном слое за счет центробежной силы, действующей на поток. Вторая ступень очистки выполнена в виде аппарата со встречно-закрученными потоками (ВЗП), дополненного двумя УЗ дисковыми излучателями. Такая конструкция позволяет производить высокоэффективную сепарацию с одновременной УЗ коагуляцией [4].

Расчет технических параметров агломератора и аппарата ВЗП производился в системе конечно-элементного моделирования ANSYS CFX. При моделировании многофазных течений использовался подход на основе модели Лагранжа–Эйлера, при котором вещество одной из фаз (аэросил) представляется в виде дисперсных частиц, причем их объемная доля невелика (до 10% общего объема). Вещество, образующее основную фазу (воздух), полагается сплошной средой. При этом в рамках модели Лагранжа отслеживается движение отдельно взятых частиц рассеянной дисперсной фазы под действием сил со стороны потока основной фазы.

Проведенные расчеты эффективности улавливания дисперсных частиц с учетом распределения интенсивности УЗ поля внутри объема агломератора позволили определить оптимальные параметры конструкции пылеуловителя (рисунок 1).



А



Б

1 – входной закручиватель; 2 – выходной патрубок; 3 – камера сепарации; 4 – входной диффузор; 5 – диффузор выходного патрубка; 6 – обтекатель; 7 – бункеры; 8 – дисковые излучатели; 9 – отражатели; 10 – фронтальная кромка; 11 – щелевой зазор

Рис. 5 – Эскиз (А) и картина течения пылегазового потока (Б) агломератора

Степень укрупнения частиц определялась на основе коэффициента коагуляции частиц SiO_2 , найденного авторами экспериментально. Для расчетного времени пребывания пылегазовой смеси в агломераторе (2 с. при расходе газа на входе в агломератор $0,22 \text{ м}^3/\text{с}$ и концентрации $100 \text{ г}/\text{м}^3$) коэффициент укрупнения при уровне звукового давления 145 дБ составляет не менее 8 [2].

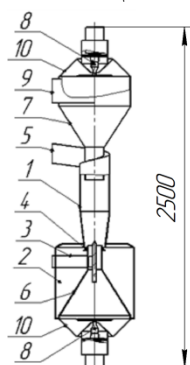
Рассчитанная эффективность улавливания частиц в агломераторе, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты моделирования работы агломератора

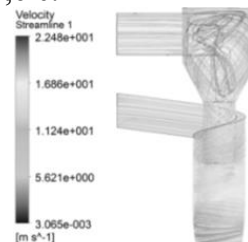
Размер частиц, мкм		1	0,5	0,2	0,1
Эффективность улавливания, %	Без УЗ воздействия	75	53	37	28
	С УЗ воздействием	93	81	68	59

Затем путем проведения ряда модельных расчетов в системе ANSYS CFX, была оптимизирована конструкция второй ступени сепарации, в основу которой был положен аппарат ВЗП (рисунок 2, таблица 2).

Было установлено, что максимальная эффективность улавливания частиц достигается при соотношении массового расхода газа вторичного потока и общего расхода равном 0.64. Время пребывания частиц в УЗ поле составляет не менее 0,6 с.



А



Б

1 – камера сепарации; 2 – бункер; 3 – входной закручиватель первичного потока; 4 – отбойная шайба; 5 – входной закручиватель вторичного потока; 6 – нижний концентрирующий конус; 7 – верхний концентрирующий конус; 8 – ультразвуковые дисковые излучатели; 9 – патрубок вывода очищенного газа; 10 – отражатели

Рис. 2 – Эскиз (А) и картина течения пылегазового потока (Б) аппарата ВЗП

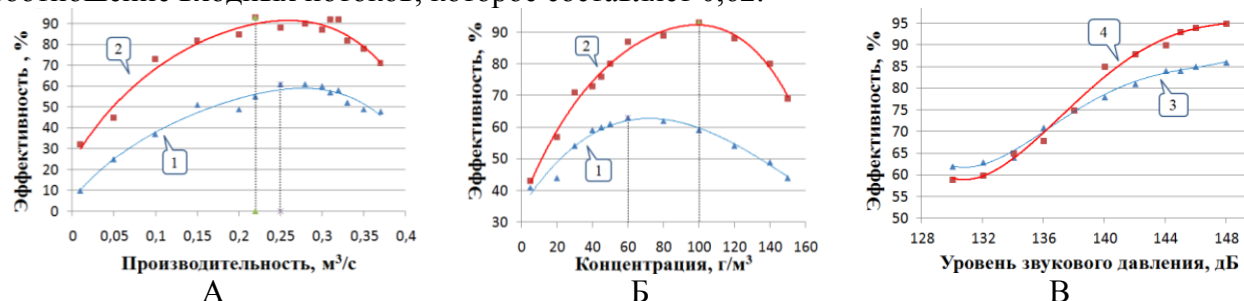
Таблица 2 – Результаты моделирования работы аппарата ВЗП

Размер частиц, мкм		2	1,6	1	0,5	0,2	0,1
Эффективность улавливания, %	Без УЗ воздействия	89	85	75	53	37	28
	С УЗ воздействием	97	95	92	85	76	69

При наличии УЗ воздействия с уровнем звукового давления 145 дБ в объеме аппарата агломераты частиц увеличиваются в 3 раза по условному диаметру [2]. При объединении первой и второй ступеней очистки суммарная расчетная эффективность сепарации частиц начальным размером 0,2 мкм достигает 95% при наличии УЗ воздействия.

Результаты экспериментального определения эффективности центробежно-акустического пылеуловителя, изготовленного на основе разработанной конструкции, приведены на рисунке 3.

Исследования проводились при массовой концентрации частиц 100 г/м^3 , производительности $0,24 \text{ м}^3/\text{с}$ и уровне звукового давления 148 дБ. Определено оптимальное соотношение входных потоков, которое составляет 0,62.



1 – без УЗ воздействия; 2 – с УЗ воздействием; 3 – при концентрации 60 г/м^3 ;
4 – при концентрации 100 г/м^3

Рис. 3 – Зависимости эффективности сепарации от производительности (А), массовой концентрации дисперсных частиц (Б) и уровня звукового давления (В)

Из рисунка 3 А следует, что при расходе пылегазового потока $0,24 \text{ м}^3/\text{сек}$ без УЗ воздействия максимальная эффективность сепарации составляет 61%, а при расходе $0,22 \text{ м}^3/\text{сек}$ с УЗ воздействием максимальная эффективность составляет 93%. Из анализа рисунка 3 Б видно, что при концентрации 60 г/м^3 наблюдается максимум эффективности сепарации без УЗ воздействия, в то время как максимум эффективности сепарации с УЗ воздействием достигается при концентрации в 100 г/м^3 .

Как видно из графика (рисунок 3 В), чем выше уровень звукового давления, тем выше эффективность сепарации частиц. Максимальная достигнутая интенсивность внутри объема аппарата ВЗП составила 148 дБ, которая позволяет повысить эффективность сепарации при концентрации 100 г/м^3 с 75% до 95%, а при концентрации 60 г/м^3 с 78% до 90%.

Таким образом, в результате проделанной работы была разработана конструкция и изготовлен центробежно-акустический пылеуловитель, обеспечивающий эффективность улавливания до 95% частиц с начальным размером 0,2 мкм.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ №МК-957.2014.8.

Список литературы

1. *Хмелёв, В.Н.* Акустическая коагуляция аэрозолей [Текст] / В.Н. Хмелёв, А.В. Шалунов, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, Д.С. Абраменко // Ползуновский вестник. – 2008. – №1-2. – С.66-74.
2. *Хмелев, В.Н.* Моделирование процессов коагуляции газодисперсных систем для определения оптимальных режимов акустического воздействия / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Р.Н. Голых, К.В. Шалунова // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2010. – № 2 (20). – С. 48–52.
3. *Хмелев, В.Н.* Разработка пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем для интенсификации процессов в газовых средах [Текст] / В.Н. Хмелев, С.С. Хмелев, А.В. Шалунов, С.Н. Цыганок, А.Н. Лебедев, А.Н. Галахов // Известия Тульского Государственного университета, серия: технические науки, - 2010, - Вып.1 с.148-153.
4. *Хмелев В.Н.* Создание оборудования для коагуляции высокодисперсных частиц центробежно-акустическим методом / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова, В.А. Нестеров, В.Е. Бажин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 3. С. 282-285.

05.13.11

^{1,2}М.А. Черноскутов, ^{1,2}Д.Г. Ермаков к.ф.-м.н.,
¹М.Л. Гольдштейн к.т.н., ^{1,2}Д.А. Усталов

¹Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН,
²Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, mach@imm.uran.ru

МЕТОД РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ В GPU-РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ПОИСКА В ШИРИНУ НА ГРАФЕ

Представлен метод распределения нагрузки, разработанный с целью повышения эффективности выполнения параллельного алгоритма поиска в ширину на графе. Приведено подробное описание алгоритма, реализующего данный метод на массивно-параллельной архитектуре графического ускорителя вычислений. Показано, что использование данного метода позволяет достичь высоких показателей скорости обхода графа в ширину.

Ключевые слова: поиск в ширину, параллельные вычисления, ускорители вычислений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №14-07-00435; УрО РАН, проект №РЦП-14-П14. При проведении работ был использован суперкомпьютер “Уран” ИММ УрО РАН.

1. Введение

Поиск в ширину на графе один из наиболее известных алгоритмов на графах. Его приложения встречаются в криптографии, биоинформатике, анализе социальных сетей, медицине и других областях науки, промышленности и бизнеса. Алгоритм поиска в ширину на графе обладает большим потенциалом к распараллеливанию. Теоретически, каждому потоку можно назначить обработку одной вершины (или диапазона вершин), что позволяет сделать предположение об эффективности программно-аппаратной модели графических ускорителей вычислений для обработки крупных графов, т.к. она позволяет работать с большим числом потоков.

2. Подходы к распараллеливанию поиска в ширину на графе

На сегодня получили распространение два типа алгоритмов. На основе параллельной обработки очереди вершин для текущей итерации и на основе полного обхода всех вершин в графе, независимо от номера итерации. Первый алгоритм, кроме линейной сложности, обладает существенным недостатком. Работа с очередью требует использования атомарных операций добавления и удаления вершин в очередь, что на практике бывает источником большого количества накладных расходов, значительно снижающих эффективность использования параллельной архитектуры. Второй алгоритм, хоть и обладает квадратичной сложностью, больше подходит для распараллеливания алгоритма поиска в ширину на графе. Это позволяет большому количеству параллельных потоков работать независимо, почти, исключая использование атомарных операций для данных, локализованных в одних и тех же или близких участках оперативной памяти. Реализации и модификации обоих подходов рассмотрены в работах [1-5].

3. Метод распределения нагрузки

Помимо механизма распараллеливания, при реализации параллельного алгоритма поиска в ширину на графе возникает еще одна существенная проблема – дисбаланс вычислительной нагрузки по потокам. Чаще всего такая проблема встречается при обработке графов с неравномерным распределением степеней вершин. В таких графах, как правило, имеется мало вершин с большим числом входящих и исходящих ребер и много вершин с малым числом ребер. Проблема еще более усугубляется при реализации параллельного алгоритма

для архитектуры графических ускорителей вычислений (GPU) за счет того, что АЛУ в GPU устроены проще, чем АЛУ в CPU и работают на более низкой частоте. Это приводит к тому, что отдельный вычислительный поток в GPU менее производителен, чем поток в CPU. В результате, обработка отдельных “сложных” вершин затягивает выполнение всей итерации алгоритма.

Для устранения этого недостатка предложен метод распределения нагрузки. Суть метода заключается в разделении массива ребер (для обработки графов наиболее часто используется формат CSR, состоящий из массива вершин и массива ребер) на равные участки и просмотре каждого такого участка отдельным потоком. В отличие от стандартного подхода, где каждый поток обрабатывает все исходящие из вершины ребра, в предлагаемом подходе ребра, принадлежащие одной вершине, могут быть обработаны несколькими потоками и, наоборот, ребра от нескольких вершин могут быть обработаны одним потоком.

Для реализации метода необходимо по номеру элемента в массиве ребер определить номер вершины, которой он принадлежит. Рассмотрим, как это можно сделать путем введения дополнительного массива SV (start vertices), содержащего номер вершины, которой принадлежит начальный элемент из участка массива ребер (параметр max_edge_count описывает размер участка из массива ребер). Ниже представлен алгоритм заполнения массива SV.

Таким образом, после работы алгоритма весь массив ребер разбит на равные участки, которые могут быть обработаны каждым потоком независимо. Аналогично работе [5], процедура поиска в ширину (с учетом метода балансировки нагрузки) может выполняться на основе подходов top-down и bottom-up.

Алгоритм: заполнение массива SV

Входные данные: массив вершин V, корневая вершина s, параметр max_edge_count

Выходные данные: множество стартовых вершин SV

Функции: round_up(res), округляющая res до ближайшего целого сверху

```

1  parallel for i in V
2      first ← V[i]
3      last ← V[i+1]
4      index ← round_up(first/max_edge_count)
5      current ← index*max_edge_count
6      while (current < last)
7          SV[index] ← i
8          current ← current + max_edge_count
9          index++

```

4. Результаты

Тестирование проводилось с использованием GPU NVidia Tesla M2050 на “scale-free” графах, имеющих неравномерное распределение степеней вершин. Графы такого типа используются в тесте производительности вычислительных систем Graph500 [6]. Описание используемых графов приведено в табл. (количество вершин в графе: 2^{Scale} ; количество ребер в графе: $2^{\text{Scale}+1} * \text{Edgefactor}$).

Таблица – Используемые графы

Scale	Количество вершин, шт.	Количество ребер, шт.		
		Edgefactor		
		16	32	48
19	524 288	16 777 216	33 554 432	50 331 648
20	1 048 576	33 554 432	67 108 864	100 663 296
21	2 097 152	67 108 864	134 217 728	201 326 592

На рис. 1 приведено сравнение времени выполнения каждой итерации алгоритма распределения нагрузки для подходов top-down и bottom-up (для графа с параметром Scale = 20).

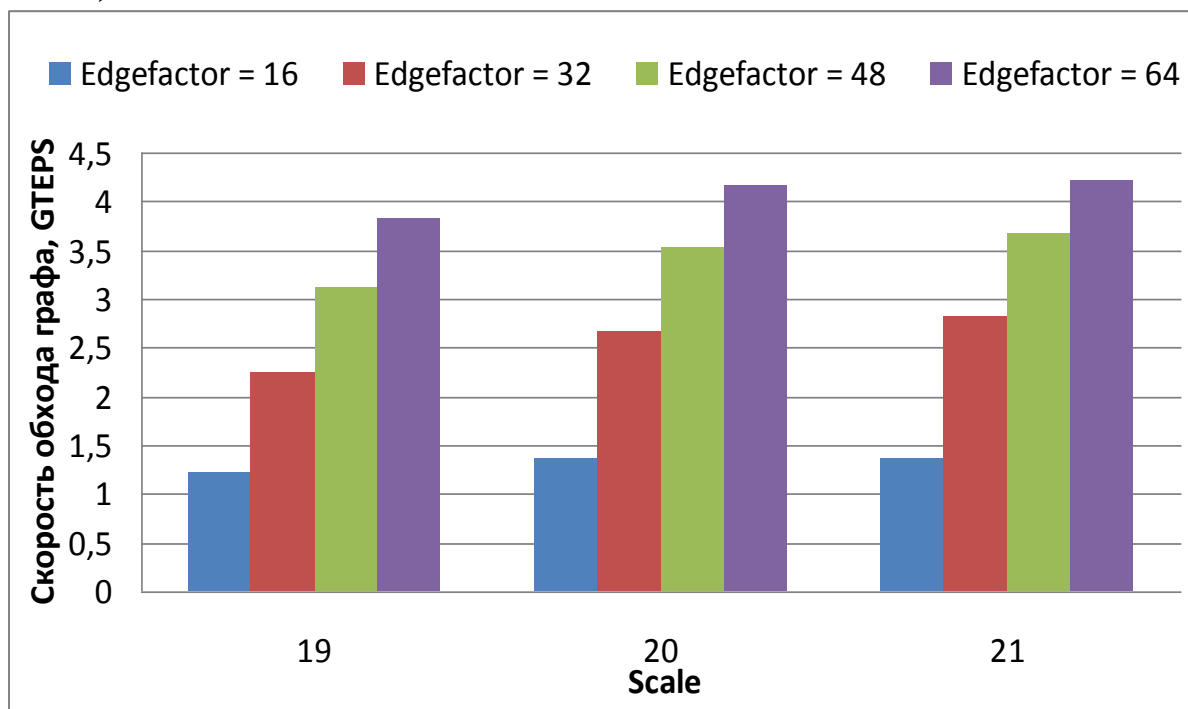


Рис. 1 – Сравнение времени выполнения каждой итерации в подходах top-down и bottom-up

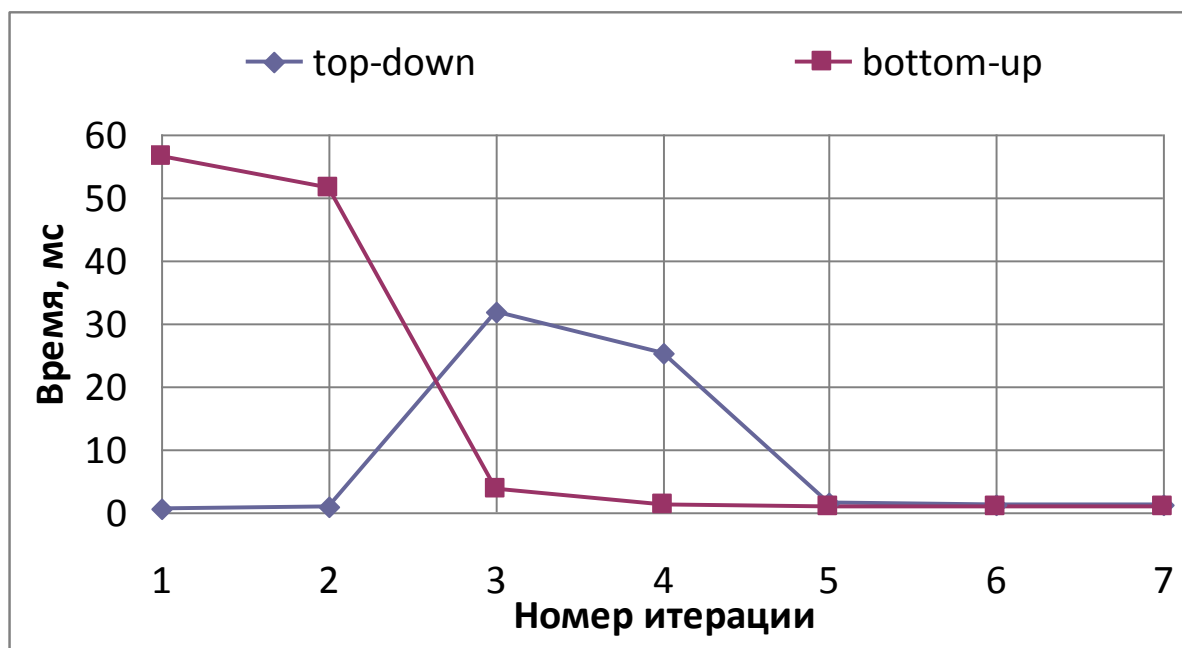


Рис. 2 – Результаты измерений скорости поиска в ширину на графе

На основе данных, представленных на рис. 1 была разработана гибридная реализация алгоритма, первые две итерации которой выполняются по схеме top-down, а остальные – по схеме bottom-up. Замеры производительности гибридной реализации приведены на рис. 2 (результаты усреднены по 64 запускам). Метрикой производительности служит количество пройденных в секунду ребер (TEPS – Traversed Edge Per Second). Данная метрика применяется также и в тесте производительности Graph500.

5. Сравнение результатов с мировым уровнем

Наибольшая скорость поиска в ширину на графе для GPU-реализаций была представлена в работе [4]. Для графа с параметром Scale = 20 и Edgfactor = 48 авторы получили скорость обхода в 2.5 GTEPS (заполнение массива соседей, в котором хранятся номера предшествующих вершин) и 3.1 GTEPS (заполнение массива дистанций, в котором хранятся расстояния до корневой вершины). Реализация, описанная в данной работе, позволяет достичь скорости 3.5 GTEPS. Причем в ней производится заполнение, как массива соседей, так и массива дистанций.

6. Заключение

В работе описан метод распределения нагрузки, позволяющий повысить эффективность GPU-реализации поиска в ширину на графе и достичь скорости поиска в ширину более 4 GTEPS.

В качестве дальнейших направлений исследований предполагается разработка multiGPU-реализации описанных в данной работе алгоритмов, а также адаптация метода распределения нагрузки к другим алгоритмам на графах.

Список литературы

1. *Harish P.* Accelerating large graph algorithms on the GPU using CUDA / Harish P., Narayanan P. J. // in Proceedings of the 14th international conference on High performance computing, Berlin, Heidelberg, 2007, pp. 197–208.
2. *Hong S.* Accelerating CUDA graph algorithms at maximum warp / Hong S., Kim S. K., Oguntebi T. et al. // in Proceedings of the 16th ACM symposium on Principles and practice of parallel programming, New York, NY, USA, 2011, pp. 267–276.
3. *Luo L.* An effective GPU implementation of breadth-first search / Luo L., Wong M., Hwu W.-mei // in Proceedings of the 47th Design Automation Conference, New York, NY, USA, 2010, pp. 52–55.
4. *Merril D.* High performance and scalable graph traversal / Merrill D., Garland M. // Technical report CS-2011-05, Nvidia, 2011, pp. 1–15.
5. *Beamer S.* Direction-optimizing breadth-first search / Beamer S., Asanovic K., Patterson D. // in Proceedings of the International Conference on High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, Salt Lake City, Utah, USA, 2012, pp. 12–22.
6. *Murphy R.* Introducing the Graph 500 / Murphy R., Wheeler K., Barrett B. et al. // Cray User's Group (CUG), May 5, 2010, pp. 1–3.

05.16.01

Е.А. Шейн, К.А. Голявин

Оренбургский государственный университет, аэрокосмический институт,
кафедра материаловедения и технологии материалов,
Оренбург, SheinEA@rambler.ru

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННЫХ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ СМЕСИ ПОРОШКОВ 30X13 И HX15CP2

В работе представлены результаты исследования структуры и твердости слоев полученных путем лазерной газопорошковой наплавки порошковых смесей на основе 30X13 и HX15CP2. Исследован фазовый и химический состав покрытий. Проведен фрактографический анализ. Показана возможность получения наплавленных слоев заданной твердости без дополнительной термической обработки.

Ключевые слова: лазерная наплавка, микроструктура, фазовый состав, свойства.

В настоящее время лазерная газопорошковая наплавка порошками коррозионностойких сталей и сплавов применяется достаточно широко. Наплавке и механической обработке при восстановлении деталей подвергаются лишь отдельные поверхности. При этом необходимые значения твердости, износостойкости и коррозионной стойкости восстанавливаемой поверхности желательно получить без дополнительной термической обработки. Так как кроме положительного влияния дополнительная термообработка может способствовать деформации и короблению всей детали.

Самофлюсующиеся сплавы на никелевой основе системы Ni-Cr-B-Si широко используются для напыления и наплавки в качестве износостойких и коррозионностойких покрытий с твердостью от 40 до 55 HRC. Их недостатком является склонность покрытий к образованию трещин в условиях высокой скорости охлаждения при лазерной наплавке. Часто в качестве наплавочных материалов для получения слоев с высокой износо и коррозионной стойкостью используют порошок стали 30X13 с твердостью до 52 HRC. Сталь 30X13 – коррозионностойкая сталь мартенситного класса, работающая на износ в слабоагрессивных средах до 450 °C.

Целью исследования является определение характера изменения структуры и свойств наплавленного слоя при плавном изменении химического состава наплавляемой композиции от 100 % 30X13 до 100 % HX15CP2.

Наплавку проводили на роботизированном лазерном технологическом комплексе основными элементами которого являются лазер ЛС-2, внешний оптический тракт, манипулятор IRC5, порошковый дозатор, система управления RobotStudio. Вид процесса наплавки и наплавленные образцы представлены на рисунке 1.

Порошковую наплавочную смесь готовили путем смешения порошков коррозионностойких сплавов 30X13 и HX15CP2. Наплавку проводили на образец диаметром 45 мм, изготовленный из стали 30X13. Фазовый анализ проводили на минидифрактометре МД-10. Химический состав наплавленных слоев определяли с помощью портативного оптико-эмиссионного спектрометра PMI master (таблица 1). Исследование микроструктуры, локальный химический и фрактографический анализ проводили на электронном микроскопе Jeol 6000.

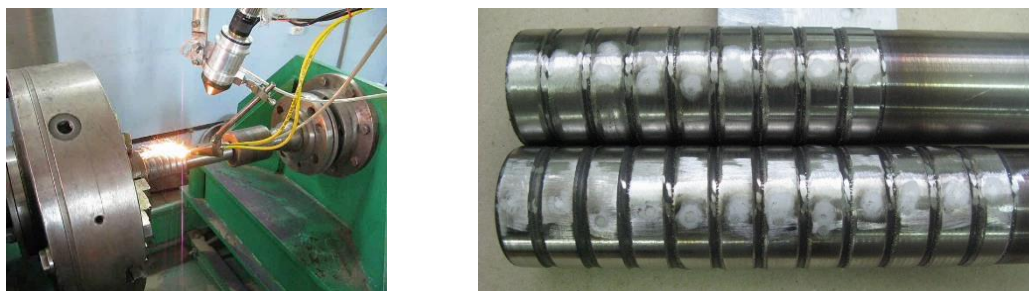


Рис. 1 – Вид процесса наплавки (а) и наплавленные образцы (б).

Таблица 1 – Химический состав наплавленных слоев

Номер состава	Содержание 30X13 в наплавочном порошке, %	Содержание элементов в наплавленном слое				
		Fe	C	Si	Cr	Ni
1	100	82,8	0,305	0,211	15,9	0,274
2	95	79,4	0,294	0,285	15,7	3,84
3	90	76,9	0,319	0,36	16,1	5,72
4	85	73,4	0,346	0,467	16	9,04
5	80	70,9	0,322	0,553	15,9	11,6
6	75	67,5	0,369	0,641	15,7	15,1
7	70	63,4	0,365	0,72	15,8	18,9
8	65	59	0,382	0,913	15,6	23,2
9	60	53,7	0,364	1,13	15,9	28
10	55	52,3	0,387	1,07	15,7	29,6
11	50	49,4	0,386	1,21	15,5	32,5
12	45	48,3	0,4	1,3	15,6	33,5
13	40	42,3	0,399	1,73	15,4	39,2
14	35	45,8	0,414	1,57	15,2	36,1
15	30	39,5	0,423	1,89	15,3	41,9
16	25	-	0,107	1,71	12,0	39,5
17	20	-	0,129	2,08	11,8	39,5
18	15	39,1	0,113	1,51	12,3	45,1
19	10	36,2	0,116	1,61	12,7	47,6
20	5	39	0,109	1,47	12,4	45,3
21	0	33	0,124	1,67	12,7	50,7

Анализ микроструктуры показал, что структура наплавленного слоя состава №1 мартенсит. Для остальных составов характерна дендритно-ячеистая структура с различным количеством γ -твердого раствора на основе никеля, по границам которого располагаются зерна карбоборида (рис. 2). С повышением массовой доли Ni-Cr-B-Si в составе наплавочной композиции количество мартенсита уменьшается, о чем свидетельствуют дифракционные картины, снятые с поверхности наплавленного слоя (рис.3). С изменением состава наплавочного порошка и изменением структуры наплавленных слоев заметно изменение твердости (рис. 4а). Среднее значение твердости постепенно уменьшается от 112 HRB до 92 HRB. Для всех наплавленных слоев характерно постепенное снижение твердости по сечению от поверхности вглубь наплавленного образца (рис. 4б). Колебания значений микротвердости, присутствующие на графике, видимо являются следствием отличия структуры, обусловленным термическим воздействием при перекрытии лазерных дорожек и изменения химического состава при перемешивании наплавочного материала и основы.

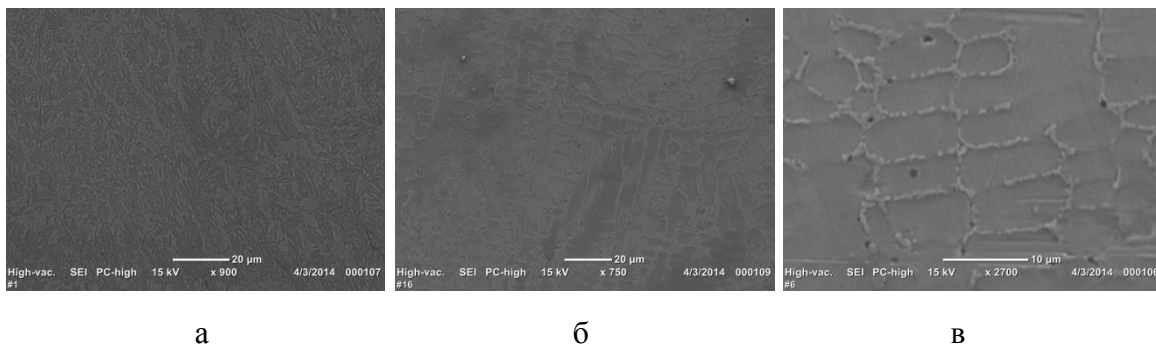


Рис. 2 – Микроструктура слоя состава №1 (а), №16 (б), №6 (в)

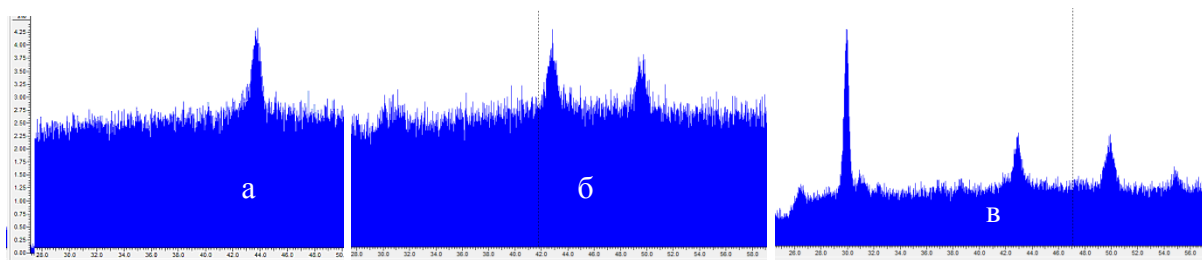


Рис. 3 – Дифрактограмма слоя состава №1 (а), №16 (б), №21 (в)

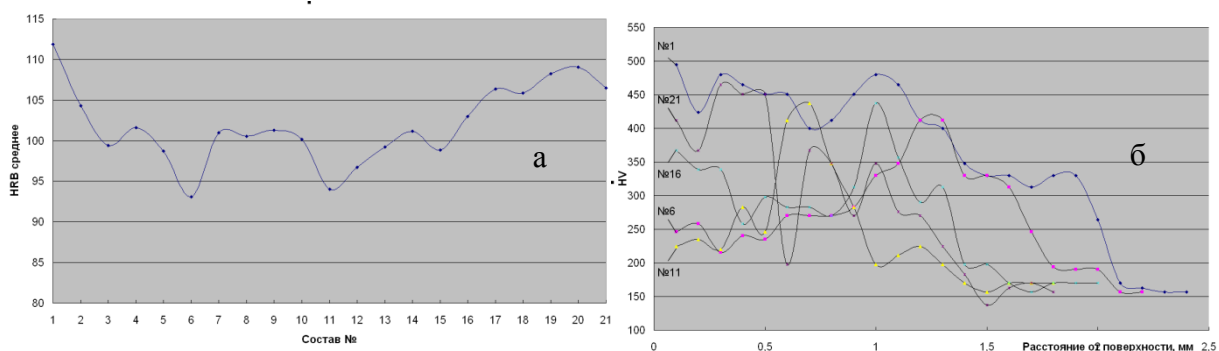


Рис. 4 – Среднее значение твердости, HRB наплавленных слоев разного состава (а) и изменение твердости по сечению наплавленного слоя (б).

Фрактографический анализ показал, что характер излома в результате статического изгиба наплавленного слоя состава №1 (30X13) древесный, характерный для литого состояния сплава (рисунок 5а, 4б). При большем увеличении видно, что характер разрушения межзеренный. Зерна в целом равноосные.

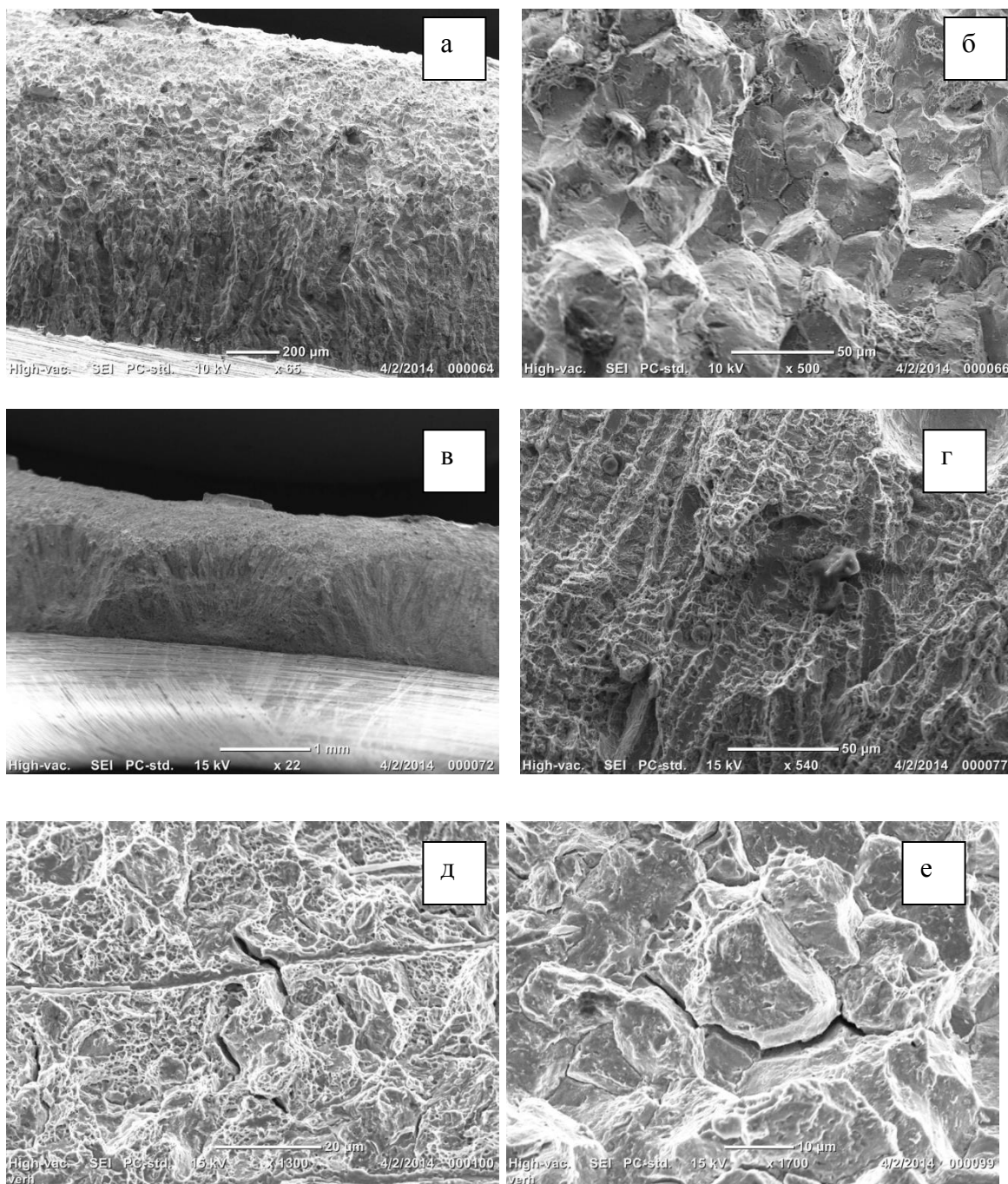


Рис. 5 – Вид излома наплавленного слоя состава №1 (а, б), состава №6 (в, г), состава №16 (д, е).

Практически на всех изломах наплавленных слоев смеси 30Х13 и СР-2 характер излома в зоне плавления, у поверхности образца, отличается от излома зоны ближней к основному металлу (рисунок 5в, 5г). В изломе наплавленного слоя состава №21 такое отличие практически не заметно. При большем увеличении следов пластической деформации практически не обнаруживается. Также наблюдаются горизонтальные отметки, параллельные поверхности образца, расположенные примерно на одинаковом расстоянии друг от друга (рисунок 5д, 5е). Они могут служить признаками временных остановок в развитии трещин. Видны фасетки межзеренного разрушения, перемежающиеся участками ямочного рельефа. В изломе наплавленных слоев встречаются поры различного размера. Обнаружена пора размером 190 мкм, образованная вероятно в результате непроплавления присадочного материала.

Таким образом, установлено, что при лазерной газопорошковой наплавке на основе смеси порошков 30X13 и ПР-НХ15СР2 возможно получение слоев с твердостью от 48 HRC до 20 HRC. При этом наблюдается изменение структуры и фазового состава наплавленных слоев. Для более полной оценки возможности применения данных составов необходимо проведение испытаний на износостойкость и коррозионную стойкость.

Список использованных источников

1. *Шевченко О.И.*, Управление структурой, составом и свойствами покрытий при плазменной наплавке / О. И. Шевченко. – Нижний тагил. : НТИ(ф)УГТУ-УПИ, 2006. - 290 с.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

Л.А. Бондаренко, А.А. Масицева, В.А. Петрова
МЕТОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПОНИЖЕНИЯ
ПОРЯДКА МНОГОЧЛЕНА

Ключевые слова: полуплоскость, коэффициент, устойчивость, вещественные корни, абсолютная устойчивость и неустойчивость.

В этой статье изложен эффективный метод понижения порядка, являющийся некоторым аналогом алгоритма Рауса и позволяющий определить число корней исходного многочлена, лежащих как в левой, так и в правой полуплоскости, не более чем за $5/4n(n+1)$ элементарных арифметических операций.

В.В. Дружинин, В.С. Холушкин
ФОРМУЛА ТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА ПРОСТЫХ
ЧИСЕЛ НА ОТРЕЗКЕ

Ключевые слова: количество простых чисел, буферная зона.

Выявлена буферная зона простых чисел, после любого простого числа, растущая в квадратичной зависимости. Для любого отрезка внутри этой зоны получена формула точного количества простых чисел. Указаны свойства этой формулы и способы ее применения.

Ж.Е. Еграшкина
ТОЧНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ
СИСТЕМ ОБЫКНОВЕННЫХ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ВИДЕ
НЕЧЕТКИХ ЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ТАКАГИ-
СУГЕНО

Ключевые слова: нелинейные обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ), нечеткая система, линейная модель Такаги-Сугено.

В работе изучена возможность построения алгоритма представления широкого класса нелинейных систем обыкновенных дифференциальных уравнений в виде нечетких линейных моделей типа Такаги-Сугено.

А.В. Зубов, Л.А. Бондаренко, Н.С. Ужегов
КРИТЕРИИ ЛИНЕЙНОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ
СКАЛЯРНЫХ И ВЕКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ

Ключевые слова: вектор, функция, точка, линейная независимость, уравнение, система, пространство, матрица, элемент.

Статья посвящена одной из главных проблем современного этапа развития науки, техники и технологии, фундаментальным исследованиям в области моделирования, управления, качественного и количественного анализа динамики сложных систем.

L.A. Bondarenko, A.A. Masicheva, V.A. Petrova
THE METHOD OF SEQUENCE LOW OF ORDER
POLYMEASURE

Keywords: semi-plane, coefficient, stability, material roots, absolute stability and instability.

In this article is expounds effective method of low to order, is appears same analog of algorithm Rauses and is allows defining the number of roots the previous polynom, is lies so in left, in right semi-plane, no more that for $\frac{5}{4}n(n+1)$ elementary arithmetical operations.

V.V. Druzhinin, V.S. Holushkin
THE FORMULA FOR THE EXACT NUMBER OF
PRIMES ON A SEGMENT

Key words: the number of primes, buffer zonal.

Identified buffer zone primes, after any Prime number is growing in quadratic dependence. For any length within this zone the formula obtained exact number of primes. There are lists properties of this formula and its applications.

J.E. Egrashkina
EXACT TAKAGI-SUGENO FUZZY
REPRESENTATION OF NONLINEAR SYSTEMS OF
ODE

Key words: nonlinear ODE, fuzzy system, linear Takagi-Sugeno model.

The paper discusses how to construct an exact linear fuzzy Takagi-Sugeno representation of nonlinear system of ODE.

A.V. Zubov, L.A. Bondarenko, N.S. Ugegov
CRITERIAS OF LINEAR INDEPENDENT OF
SCALARITY AND VECTOR FUNCTIONS

This article is devotes one from general problem of contemporary stage of development science, technique and technology, fundamental investigations in region modeling, controlling, qualitative and quantitative analysis dynamics complex systems.

А.В. Зубов, Л.Г. Коляда, В.Б. Орлов
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕПРЕРЫВНОЙ
СТАБИЛИЗАЦИИ

Ключевые слова: множество, условие, проблема, стабилизация, матрица, положительная определенность, скаляр.

Данная статья посвящена созданию математических методов исследования нелинейных динамических систем: построению решений динамических систем, удовлетворяющих различным краевым условиям, исследованию решений динамических систем с последствием; построению программных управлений и движений, удовлетворяющих краевым и начальным условиям; синтезу этих управлений; решению проблем стабилизации программного движения в случае прямого и непрямого регулирования.

А.В. Зубов, Г.И. Пупышева, И.С. Виташевская
УРАВНЕНИЕ ДЛЯ РЕГУЛЯРНОГО ИНТЕГРАЛА

Ключевые слова: функция, производная, система уравнений, дифференциальный оператор, максимальное число, интеграл.

Данная статья посвящена новому подходу к нахождению нового типа структурных особенностей нелинейных систем – интегральных многообразий и исследованию уравнений для регулярного интеграла.

А.Н. Макарова
ИНТЕРВАЛЬНЫЙ МЕТОД ГЕНЕРИРОВАНИЯ
СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

Ключевые слова: имитационная модель, случайные числа, выборка, метод генерирования случайных чисел, алгоритм, псевдослучайность, последовательность случайных чисел, закон распределения.

В статье рассматривается проблема генерирования случайных чисел, обосновывается ее актуальность. Проводится анализ существующих методов генерирования, раскрываются их недостатки. Описывается интервальный метод генерирования, приводится блок-схема его алгоритма и метод его использования.

С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков
ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА
ПСЕВДОКРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК

Ключевые слова: уравнение состояния, изохорная теплоемкость, изобарная теплоемкость, свободная энергия, масштабные функции.

На основе феноменологической теории критических явлений и гипотезы Бенедика обоснована структура масштабного уравнения состояния в переменных плотность-температура, удовлетворяющего требованиям современной физики критических явлений. Установлено, что предложенное масштабное уравнение не уступает по точности линейной модели Скофилда-Литстера-Хо.

A.V. Zubov, L.G. Kolada, V.B. Orlov
INVESTIGATION OF PROBLEM CONTINUOUS
STABILIZATION

The giving article is supposes of foundation mathematical methods of investigation no linear dynamics systems: the building of solutions dynamical systems, satisfying various extreme conditions, the investigation of solutions dynamics systems with after action; the building program controls and motions, satisfying extreme and initial conditions, the solution of problems stabilization program motion in case direct and no direct regulation.

A.V. Zubov, G.I. Papisheva, I.S. Vitashevskay
THE EQUATION FOR REGULAR INTERGRAL

Key words: function, derivative, system of equations, differential operator, maximum number, integral.

Giving article is suppose the new method from foundation new type structure measure of no linear systems – integral poly measures and investigation of equations for regulating integral.

A.N. Makarova
AN INTERVAL METHOD OF RANDOM NUMBERS
GENERATION

Key words: imitating model, random numbers, sample, random numbers generation method, algorithm, pseudo-randomness, random numbers set, distribution law.

In the article, a problem of random numbers generation is considered and its urgency is justified. An analysis of existing generation methods is carried out, and their disadvantages are disclosed. An interval generation method is described, a block diagram of its algorithm and ways of use are shown.

S.V. Rykov, I.V. Kudryavtseva, V.A. Rykov
PHYSICAL FOUNDATION OF THE METHOD OF
SEVERAL PSEUDOCRITICAL CURVES

Keywords: equation of state, isochoric heat capacity, isobaric heat capacity, free energy, scaling functions.

Based on the phenomenological theory of critical phenomena and Benedek's hypotheses justified the large-scale structure of the equation of state in the density-temperature variables, satisfying the requirements of the modern critical phenomena. It was found that the large-scale equation is not inferior to the accuracy of the linear model Schofield-Litster-Ho.

Т.А. Роздяловская, А.Н. Чудинов, Ю.С. Чекрышкин
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ
ХЛОРИД-ИОНОВ В РАСПЛАВЛЕННОЙ СИСТЕМЕ
 $\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$

Ключевые слова: расплавленные хлориды магния и цинка, окисление хлорид ионов, тонкодисперсные оксиды, получение.

В работе представлены результаты исследования реакции окисления хлорид-ионов в расплавленных смесях хлоридов цинка и магния при барботаже кислорода или воздуха при температуре 600 °С. Установлена зависимость количества образующегося хлора от мольного отношения хлоридов в смеси. Показано, что количество выделившегося хлора прямо пропорционально значениям эффективной поляризующей силы катионов. Рассчитаны константы скорости реакции окисления смеси хлоридов по хлору. Реакция окисления смеси хлоридов имеет нулевой порядок по хлору. Выделены смешанные оксиды Zn–Mg, определены дисперсность, химический состав и удельная поверхность для некоторых образцов.

К.С. Чемезова, Н.М. Хлынова
ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ ГИДРОКСИДА ТАЛЛИЯ
НА СТЕКЛОУГЛЕРОДНОМ ЭЛЕКТРОДЕ

Ключевые слова: Электроосаждение, стеклоуглеродный электрод, ионы таллия, анодные пленки.

На вольтамперограммах электрорастворения осадков, образующихся на стеклоуглеродном электроде в растворах, содержащих ионы одновалентного таллия, регистрируется один пик тока. Площадь под пиком электрорастворения линейно зависит от концентрации ионов таллия в растворе и может быть использована для их определения. Рекомендованы оптимальные условия электроосаждения и электрорастворения осадков.

Г.В. Абакумов, С.Г. Петельская
ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА
ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ ПРОГРАММУ ПО
ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ ДЛЯ
АВТОСЕРВИСНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ключевые слова: техническое обслуживание, производственная программа, сезонные условия.

Рассматривается вопрос влияния сезонных условий на производственную программу по техническому обслуживанию для автосервисного предприятия. Экспериментально установлена закономерность изменения в течение года требований на обслуживание. Рассмотрены направления использования полученных результатов.

А.М. Абдуллина, Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов
ГИДРОПРИВОД С УПРАВЛЯЕМЫМ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ НАСОСА И
ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ДИНАМИКИ

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

T.A. Rozdyalovskaya, A.N. Chudinov,
Yu.S. Chekryshkin
RESEARCH OF CHLORIDE-ION OXIDATION
REACTION IN MOLTEN $\text{MgCl}_2\text{--ZnCl}_2$

Keywords: molten magnesium and zinc chlorides, chloride-ion oxidation, fine dispersed oxides synthesis.

Chloride-ion oxidation reaction in molten mixture of zinc and magnesium chlorides was investigated bubbling oxygen or air through the melt at 600 °C. Dependence of chlorine yield on chlorides molar ratio was established. Direct proportion was set between effective polarizing strength of chlorides metal cations and amount of evolving chlorine. Reaction rates of chloride-ion oxidation were calculated, reaction order was found to be zeroth. Mixed Zn–Mg oxides were obtained and characterized (dispersity, chemical composition, specific surface area).

K.S. Chemezova, N.M. Khlinova
ELECTROSEDIMENTATION OF THALLIUM
HYDROXIDE ON GLASSY CARBON ELECTRODE

Key words: Electro-sedimentation, glassy carbon electrode, ions of thallium, anodic films.

On voltammetry graphs of electrodisolution of sediments, forming on glassy carbon electrode in solutions, containing ions of I-valent thallium, one peak of current is registered. The area under the peak of electrodisolution is linear dependent on concentration of ions of thallium in solution and may be used for their determination. The optimal conditions of electrosedimentation and electrodisolution of sediments are recommended.

G.V. Abakumov, S.G. Petelskaya
SEASONAL CONDITIONS INFLUENCE ON THE
TECHNICAL MAINTENANCE PRODUCTION
PROGRAM FOR AN AUTO SERVICE ENTERPRISE

Keywords: technical maintenance, production program, seasonal conditions.

A problem of seasonal conditions influence on the technical maintenance production program for an auto service enterprise is considered. A regularity of service requirements change within a year is experimentally determined. Directions of the obtained results use are viewed.

A.M. Abdullina, F.D. Bairamov, B.F. Bairamov
HYDRAULIC DRIVE WITH CONTROLLED
ELECTRIC ENGINE OF THE PUMP AND ITS
DYNAMICS INVESTIGATION

Keywords: hydraulic drive, regulation of the hydraulic drive's outlet unit, mathematical modeling of the dynamics, stability of work.

Предложена система автоматического регулирования скорости движения выходного звена гидропривода за счёт изменения частоты вращения электродвигателя насоса. Проведено математическое моделирование динамики и получены условия устойчивости гидропривода с такой системой.

В.Н. Абузаров

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Ключевые слова: технологический процесс, регулятор, микроконтроллер, композиционные материалы, теплопередача, внутренняя энергия.

В статье рассмотрены особенности автоматического управления температурой при производстве изделий из композиционных материалов, приведены достоинства и недостатки существующих регуляторов, а также рассмотрены возможности виртуальной электрической схемы, повышающей уровень управления процессом теплопередачи.

П.А. Алексеев, И.А. Ехлаков, М.К. Овчаренко,
А.П. Пышко

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНЫХ
ВСПЫШЕК НА НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП ПРОЦЕССА
ФИЗИЧЕСКОГО ПУСКА РЕАКТОРА
КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Ключевые слова: космические лучи, солнечная вспышка, космическая ядерная энергетическая установка, термоядерный реактор-преобразователь «ТОПАЗ», GEANT4.

В данной работе рассматриваются влияние мощной солнечной вспышки на начальный этап физического пуска ядерного реактора космического назначения. Были проведены оценки количества делений в активной зоне реактора в момент пика, а также анализ с учетом кинетики реактора в период пуска. Полученные результаты показывают, что при составлении программ запуска космических аппаратов с ЯЭУ на борту и при выборе времени физического пуска реактора на орбите необходимо учитывать влияние мощных солнечных вспышек.

С.Г. Алюшина, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев
**ПОЛИГАРМОНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА
АБОНЕНТСКИХ УЗЛАХ ПАССИВНЫХ
ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Ключевые слова: пассивная оптическая сеть, система мониторинга, сетевой узел, температура, волоконная решетка Брэгга с фазовым π -сдвигом, симметричное полигармоническое зондирование.

В статье рассмотрены принципы полигармонического зондирования волоконных решеток Брэгга (ВРБ), используемых в качестве маркеров каналов пассивных оптических сетей, с целью комплексированного определения температуры в ее абонентских узлах. Учитывая симметричный

The system of automatic speed regulation of hydraulic drive's outlet unit by changing the speed of electric engine of the pump is suggested. Mathematical modeling of the dynamics is done and conditions of hydraulic drive's stability with this system are obtained.

V.N. Abuzyarov

**THE MATHEMATICAL MODELING OF THE
CONTROL SYSTEM OF PRODUCTION OF
COMPOSITE MATERIALS**

Keywords: process, regulator, microcontroller, composites, heat transfer, integral energy.

The features of automatic temperature control in the manufacture of product from composite materials are shown in the article. The advantages and disadvantages of existing regulators are given and the possibilities of virtual circuitry, which raises the level of process control heat are examined.

P.A. Alekseev, I.A. Ekhlakov, M.K. Ovcharenko,
A.P. Pyshko

**SIMULATION OF THE INFLUENCE OF THE SOLAR
FLARE ON INITIAL STAGE OF THE START UP OF
THE NUCLEAR REACTOR FOR SPACE PURPOSES**
Keywords: cosmic rays, solar flare, space nuclear power unit, thermionic conversion reactor «ТОПАЗ», GEANT4.

In the given work the investigation of the influence of the intense solar flare on the initial stage of the start up of the nuclear reactor for space purposes has been considered. The estimations of the number of fissions in the reactor core at the peak were realized and also the analysis taking into account the reactor kinetics during start up. The obtained results shows that the influence of intense solar flares must be considered during program design of the launch of spacecrafts with nuclear power units aboard and also during timing of physical start up of the reactor at the orbit.

S.G. Alushina, O.G. Morozov, I.I. Nureev
**POLY-HARMONICAL METHODS FOR
TEMPERATURE MEASURING ON NODE
TERMINAL OF PASSIVE OPTICAL NETWORK**
Keywords: passive optical network, monitoring system, node terminal, temperature, fiber Bragg grating with phase π -shift, symmetric poly-harmonic probing.

The article describes the principles of poly-harmonic probing of fiber Bragg grating (FBG), used as a marker in channel of passive optical networks with the aim of complex determining the temperature in its node terminals. Taking into account the symmetrical nature of the probing poly-harmonic radiation, the symmetrical structures of classical FBG and FBG with phase π -shift are considered. Temperature analysis is carried out on

характер зондирующего полигармонического излучения, рассмотрены симметричные структуры классической ВРБ и ВРБ с фазовым π -сдвигом. Анализ температуры осуществляется по разности фаз огибающих полигармонического излучения до и после прохождения ВРБ. Показано, что при использовании ВРБ с фазовым π -сдвигом система измерения температуры может быть реализована на доступной и дешевой элементной базе, работающей в диапазоне единиц ГГц.

Л.С. Амирханян

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСЧЕТА УДЕЛЬНОГО ГОДОВОГО РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЮ ЗДАНИЯ

Ключевые слова: энергосбережение, расчетное теплотребление зданий на отопление и вентиляцию, удельный годовой расход тепловой энергии, класс энергетической эффективности.

В статье представлены результаты расчета удельного годового расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию многоквартирного жилого дома в соответствии с нормами, регламентирующими соблюдение требований энергетической эффективности.

А.А. Анисимов, В.В. Ефремов, С.К. Милосердный,
А.Г. Шелудько

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБОГРЕВАЕМОЙ СПЕЦОДЕЖДЫ ВОДОЛАЗА

Ключевые слова: обогреваемая спецодежда водолазов, автоматическая система регулирования температуры, микроконтроллеры AVR.

В статье приводятся графики переходных процессов автоматической системы регулирования температуры обогреваемой спецодежды водолаза, полученные в результате лабораторных экспериментов. Целью исследований является анализ работы АСР температуры обогреваемой спецодежды водолазов с использованием релейного регулятора на основе микроконтроллера AVR ATtiny45.

М.Н. Ахметов, Н.Д. Ахметов, М.М. Гимадеев,
В.А. Кривошеев
ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ
УСТАНОВКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГИЛЬЗ
ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО
СГОРАНИЯ

Ключевые слова: высоковольтный электрический разряд в воде, ударные волны, разрядная камера, восстановление изношенных гильз цилиндров.

Предлагается способ восстановления изношенной гильзы цилиндров двигателей внутреннего сгорания в номинальный размер обжатием в радиальном направлении за счёт энергии электрогидравлического удара.

the phase difference of poly-harmonic radiation components envelopes before and after FBG. It is shown that when using FBG with a phase π -shift the temperature measurement system can be implemented at affordable and cheap electronic components, working with a range of units GHz.

L.S. Amirkhanyan

RESEARCH OF CALCULATION OF THE SPECIFIC ANNUAL EXPENSE OF THERMAL ENERGY ON HEATING AND BUILDING VENTILATION

Keywords: energysaving, settlement heatconsumption of buildings on heating and ventilation, a specific annual expense of thermal energy, a class of power efficiency.

The article presents the results of calculation of specific annual heat consumption for heating and ventilation of the apartment house in accordance with the rules governing compliance with energy efficiency.

A.A. Anisimov, V.V. Efremov, S.K. Miloserdniy,
A.G. Sheludko

EXPERIMENTAL RESEARCH OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF TEMPERATURE IN HEATING DIVING SUITS

Keywords: heating diving suits, automatic control system, AVR microcontrollers.

The object of this work is modeling of ACS in the diving suits with heating elements. Main aim of this work is analyzing model of automatic control system of temperature in heating diving suits with microcontroller AVR ATtiny45. This microcontroller implements relay-controller of automatic control system.

M.N. Akhmetov, N.D. Akhmetov, M.M. Gimadeev,
V.A. Krivosheev

APPLICATION OF ELECTROHYDRAULIC UNIT FOR CYLINDER LINER RENOVATION IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Keywords: high-voltage electric discharge in water, shock waves, discharge chamber, renovation of worn out cylinder liner.

Renovation method is offered for a worn out cylinder liner in internal combustion engine to the nominal size by radial direction clamping due to electro hydraulic impact energy.

М.Н. Ахметов, Н.Д. Ахметов, М.М. Гимадеев,
В.А. Кривошеев, Т.В. Рзаева
ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОЧИСТКИ
ИЗДЕЛИЙ

Ключевые слова: электрогидравлический удар,
разрядно-импульсная технология, очистка изделий,
выбивка стержней из отливок.

*Рассматриваются возможные пути оптимизации
разрядно-импульсных технологий, применяемых для
выбивки стержней из отливок и очистки их от
формовочной смеси, а также в ремонтном
производстве для очистки поверхностей изделий от
различных загрязнений.*

А.С. Багдасаров, Д.А. Урусов
РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ СОСТАВА СЫРЬЕВОЙ
СМЕСИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ
ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФОСФОГИПСА

Ключевые слова: фосфогипс, сырьевая смесь,
полусухое прессование, нейтрализация, водотвердое
отношение, структура, прочность.

*Состав сырьевой смеси для производства
прессованных строительных изделий из фосфогипса
ОАО «Невинномысский Азот» зависит от свойств и
характеристик исходных материалов. Рационализация
композиционного состава сырьевой
смеси заключается в снижении долевого содержания
вяжущего при изготовлении изделий с высокими
показателями прочности и водостойкости. Повышение
водостойкости достигается
комплексным воздействием на структуру изделия
гидравлического вяжущего и гидрофобизаторов.*

Ф.Д. Байрамов, Н.С. Галимов, В.А. Иванов
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ РОТОРНОГО ТИПА С
ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ В
МЕГАПОЛИСЕ

Ключевые слова: ветродвигатель, ветер,
коэффициент использования ветра, модуль.

*В статье представлены основные условия повышения
энергоотдачи ветродвигателей роторного типа с
вертикальной осью вращения, на выбранном участке
или регионе с низким ветровым энергетическим
потенциалом.*

В.Ф. Беккер
ВЛИЯНИЕ КРИВИЗНЫ ПОВЕРХНОСТИ
ПОДВИЖНОЙ НАСАДКИ НА УГОЛ
СМАЧИВАНИЯ ОРОШАЮЩЕЙ ЖИДКОСТЬЮ

Ключевые слова: трехфазное псевдооживление,
шаровая подвижная насадка, газожидкостная
структура, смачивание.

*Описано влияние кривизны контактирующих тел на
угол смачивания для построения математических
моделей процессов, связанных с орошением слоя
подвижной насадки в виде трехфазного
псевдооживленного слоя. Показано влияние размеров,*

M.N. Akhmetov, N.D. Akhmetov, M.M. Gimadeev,
V.A. Krivosheev, T.V. Rzaeva
DISCHARGE AND PULSE TECHNOLOGY
OPTIMIZATION FOR CLEANING OF WORKPIECES
Keywords: electro hydraulic impact, discharge and pulse
technology, cleaning of work piece, deco ring of
castings.

*Possible ways of discharge and pulse technology
optimization are considered that are applied for deco
ring of castings and their molding sand cleaning, also
for cleaning of work piece surface from dirt in repair
work.*

A.S. Bagdasarov, D.A. Urusov
RATIONALIZATION COMPOSITION OF THE RAW
MIX FOR THE PRODUCTION OF BUILDING
PRODUCTS FROM PHOSPHOGYPSUM
Keywords: phosphogypsum, raw mixture, semidry
molding, wetness, neutralization, water-solid ratio,
structure, strength.

*The composition of the raw mix for the production of
pressed building materials from phosphogypsum ОАО
"Nevinnomyssk Azot" depends on the properties and
characteristics of the raw materials. Rationalization
compositional raw mix is to reduce the equity content of
the binder in the manufacture of products with high
strength and water resistance. Increase the water
resistance is achieved by the combined action of product
structure hydraulic binder and water-repellent agent.*

F.D. Bayramov, N.S. Galimov, V.A. Ivanov
THE WAYS TO INCREASE EFFICIENCY ROTOR -
TYPE WINDMILLS WITH VERTICAL AXIS OF
ROTATION IN THE MEGALOPOLIS
Key words: windmills, wind turbine, wind, utilization
rate of wind, module.

*The article represents the main conditions of increasing
efficiency rotor-type windmills with vertical axis of
rotation on the chosen area or region with a low wind
energy potential.*

V.F. Becker
INFLUENCE SURFACE CURVATURE MOBILE
NOZZLES ON SCRUBBING LIQUID CONTACT
ANGLE

Keywords: three-phase fluidization, ball moving on the
gas-liquid structure, wetting.

*Described the effect of curvature of the contacting bodies
at angle to construct mathematical models of the
processes associated with irrigation nozzle layer
movable in a three-phase fluidized bed. Shows the effect
of size, shape, surface liquid cuffs, the engaging elements
of the nozzle on the strength of their grip.*

формы поверхности жидкостной манжеты, сцепляющей элементы насадки, на силу их сцепления.

Н.Н. Беспалов, М.В. Ильин, И.А. Леонтьев
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО
КОЭФФИЦИЕНТА НАПРЯЖЕНИЯ БИПОЛЯРНОГО
ТРАНЗИСТОРА С ИЗОЛИРОВАННЫМ ЗАТВОРОМ

Ключевые слова: биполярный транзистор с изолированным затвором, БТИЗ, IGBT, измерение, определение, температурный коэффициент напряжения, статические параметры.

В статье приведены результаты исследования по определению температурного коэффициента напряжения биполярного транзистора с изолированным затвором при различных значениях коллекторного тока в состоянии высокой проводимости.

Н.Н. Беспалов, А.А. Попов
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ПРИ
ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК

Ключевые слова: термоэлектрический модуль, элемент Пельтье, термостатирование, электрические и тепловые характеристики и параметры, термочувствительные параметры, полупроводниковые приборы.

В статье рассматривается устройство для термостатирования полупроводниковых приборов, применяемое при определении их электрических и тепловых характеристик и параметров. Для регулирования и стабилизации температуры полупроводниковых приборов в устройстве применяются элементы Пельтье.

В.Н. Будилов, С.В. Елисеева, М.Э. Суслопарова
ИНТЕГРАЦИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ
СБОРА ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМУ
ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Ключевые слова: видекамера, видеонаблюдение, беспроводной датчик, система сбора данных, сенсорная сеть.

Предложен способ встраивания беспроводных каналов сбора данных в систему с цифровыми видекамерами, например в систему видеонаблюдения. Проведены испытания прототипа такой системы. Получены оценки дальности действия.

В.В. Воронцов, Ал.Н. Краев, М.Е. Игошин
РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ
КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ПО
УКРЕПЛЕНИЮ ОСНОВАНИЯ И НАСЫПИ
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА СУЩЕСТВУЮЩЕЙ
АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА ТЕРРИТОРИИ
ЯНАО

Ключевые слова: укрепленное основание, многолетнемерзлые грунты, автомобильная дорога.

N.N. Bespalov, M.V. Ilyin, I.A. Leontyev
DEFINITION VOLTAGE TEMPERATURE
COEFFICIENT IGBT

Keywords: IGBT, measuring, determining the temperature coefficient of voltage, static parameters.

The article presents the results of a study to determine the temperature coefficient of voltage IGBT for different values of the collector current in a high conductivity.

N.N. Bespalov, A.A. Popov
THERMOSTATTING DEVICE FOR
SEMICONDUCTORS IN DETERMINING
ELECTRICAL AND THERMAL CHARACTERISTICS

Keywords: thermoelectric module, a Peltier element, temperature control, electrical and thermal characteristics and parameters, temperature-sensitive parameters of semiconductor devices.

The article discusses a device for temperature semiconductor devices used in determining their electrical and thermal characteristics and parameters. To regulate and stabilize the temperature of semiconductor device used Peltier elements.

V.N. Budilov, S.V. Eliseeva, M.E. Susloparova
VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM WITH DATA
ACQUISITION CHANNELS

Keywords: video camera, video surveillance, wireless sensor, data acquisition system, sensor network.

Article proposes a method of wireless data acquisition channel embedding to the system with digital cameras, for example, to the video surveillance system. Tests of such system prototype were carried. Operating range estimates were obtained.

V.V. Vorontsov, Al.N. Kraev, M.E. Igoshin
ESTIMATED JUSTIFICATION DESIGN SOLUTIONS
FOR REINFORCED BASE AND FILL SUBGRADE
EXISTING AUTOMOBILE ROADS UNDER YANAO
Keywords: reinforced base, permafrost soils, automobile road.

В статье приведен анализ причин деформирования дорожной одежды и земляного полотна существующей автомобильной дороги. Представлены результаты численного эксперимента по сравнению предлагаемого конструктивного решения армирования основания и насыпи земляного полотна с известными способами укрепления.

Н.С. Галимов, В.А. Иванов, К.З. Фатыхов
АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ВКЛЮЧЕНИЕМ ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ
ГЕНЕРАТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: ветродвигатель, генератор, тахогенератор, реле, обмотка возбуждения.

Предложена автоматизированная система преобразования энергии ветра в электрическую энергию, состоящая из генератора переменного тока с обмоткой возбуждения и системой автоматического включения обмотки возбуждения.

Н.А. Гатченко, Г.П. Жигулин
КОНФИГУРАЦИОННЫЕ ПРОФИЛИ В
ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТАХ КЛАССА MDM
Ключевые слова: мобильное устройство, MDM, iOS, профиль безопасности.

В данной статье рассматриваются вопросы настройки и применения конфигурационных профилей продуктов класса Mobile Device Management (MDM), для обеспечения безопасности мобильных устройств (планшетных компьютеров и смартфонов), функционирующих на базе операционной системы Apple iOS.

А.А. Дорджиев, А.Г. Дорджиев
ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

Ключевые слова: грунты, плотность, опыты, пористость, влажность, суглинок, структура, модуль деформации.

Лессовые грунты в естественном состоянии маловлажные, находятся в твердом состоянии. Малая деформируемость грунтов обусловлена их структурными связями. При увеличении влажности деформируемость грунта увеличивается. Имея графики зависимости между модулем общих деформаций, числом пластичности и влажностью можно сократить объем изысканий и уменьшить затраты на проектирование.

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

Ключевые слова: информационная безопасность, экспертные системы, модель угроз, персональные данные, защита информации.

The article gives an analysis of the causes deformation of the pavement and subgrade existing highway. The results of numerical experiment compared the proposed constructive solutions reinforcement base and subgrade embankment with known methods of strengthening.

N.S. Galimov, V.A. Ivanov, K.Z. Fatikhov
AUTOMATIC SWITCHING THE EXCITATION
WINDING OF THE WINDMILL'S ALTERNATING
CURRENT GENERATOR

Key words: wind turbine, generator, tachogenerator, relays, excitation winding.

It is proposed automated system for converting wind energy into electrical energy, consisting of an alternating current generator with an excitation winding, and the excitation winding automatic switching system.

N.A. Gatchenko, G.P. Zhigulin
CONFIGURATION PROFILES INTO SOFTWARE
PRODUCTS MDM

Keywords: mobile device, MDM, iOS, safety profile.

This article discusses how to configure and use the configuration profile of the product Mobile Device Management (MDM), to ensure the security of mobile devices (tablets and smartphones), operating on the basis of the operating system Apple iOS.

А.А. Дорджиев, А.Г. Дорджиев
ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЛОЕССАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

Key words: soil, density, experiences, porosity, humidity, loam, structure, deformation module.

Loessial soil in natural state low-damp, is in a firm state. Small deformability of soil is caused by their structural communications. At increase in humidity deformability of soil increases. Having dependence schedules between the module of the general deformations, numbers of plasticity and humidity can reduce the volume of researches and to reduce costs of design.

A.S. Isaev
AUTOMATING THE PROCESS OF FORMING A
MODEL OF SECURITY THREATS PERSONAL
DATA DURING THEIR PROCESSING IN
PERSONAL DATA INFORMATION SYSTEMS
BASED ON THE THEORY OF BUILDING EXPERT
SYSTEMS

Keywords: information security, expert systems, threat model, personal data, protection information.

В настоящей работе представлены результаты исследований путей автоматизации процесса формирования модели угроз безопасности персональных данных, при их обработке в информационных системах персональных данных, с учетом методических рекомендаций ФСТЭК России, в рамках создания единой системы автоматизации процессов управления информационной безопасностью на основе теории построения экспертных систем.

Н.С. Киреева, В.А. Голубев, О.М. Каняева
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
РАПСОВОГО БИОТОПЛИВА, В КАЧЕСТВЕ
МОТОРНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ, ПО ЕГО
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

*Ключевые слова: рапс, биотопливо, МЭРМ,
биотопливные композиции.*

В работе представлено обоснование потребности замены традиционных видов топлива на альтернативные. Рассмотрен состав рапсового масла, биотоплива МЭРМ и смесевых топлив, сравнены их физико-химические свойства. Дана оценка возможности их использования в качестве моторных топлив для дизелей.

Ю.П. Кири́н, С.Л. Краев
ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ
СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИЕЙ ГУБЧАТОГО
ТИТАНА

*Ключевые слова: вакуумная сепарация, модели
динамики, автоколебания, структурная и
параметрическая идентификация, оптимальное.*

В статье изложена методология структурной и параметрической идентификации моделей динамики процесса вакуумной сепарации губчатого титана для целей оптимального управления процессом. Методология основана на исследовании автоколебаний в двухпозиционной системе регулирования температуры вакуумной сепарации.

Ю.П. Кири́н, С.Л. Краев
ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ
СИНТЕЗА СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ
ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИЕЙ ГУБЧАТОГО
ТИТАНА

*Ключевые слова: вакуумная сепарация, модели
динамики, автоколебания, структурная и
параметрическая идентификация, ситуационное
управление.*

В статье изложена методология структурной и параметрической идентификации моделей динамики процесса вакуумной сепарации губчатого титана для целей ситуационного управления процессом. Методология основана на исследовании автоколебаний в двухпозиционной системе регулирования температуры вакуумной сепарации.

This paper presents the results of research ways automate the process of forming a model of security threats personal data during their processing in personal data information systems, based on guidelines FSTEC of Russia, as part of a unified process automation system for information security management based on the theory of building expert systems.

N.S. Kireeva, V.A. Golubev, O.M. Kanyaeva
ESTIMATION OF POSSIBILITY OF THE USE OF
THE RAPE BIOPROPELLANT, AS MOTOR FUEL
FOR DIESELS, ON HIS PHYSICAL AND
CHEMICAL PROPERTIES

*Keywords: rape, biopropellant, MERM, biopropellant
compositions.*

The ground of necessity of replacement of traditional types of fuel is in-process presented on alternative. Composition of rapeoil, biopropellants of MERM and blenderized fuels, is considered, their physical and chemical properties are compared. The estimation of possibility of their use is given as motor fuels for diesels.

Y.P. Kirin, S.L. Kraev
CREATION OF MODELS OF DYNAMICS FOR
SYNTHESIS OF OPTIMUM MANAGEMENT BY
VACUUM SEPARATION OF THE SPONGY TITAN
*Keywords: vacuum separation, models of dynamics, self-
oscillation, structural and parametrical identification,
optimum.*

In article the methodology of structural and parametrical identification of models of dynamics of process of vacuum separation of the spongy titan for optimum control of process is stated. The methodology is based on research of self-oscillations in on-off system of regulation of temperature of vacuum separation.

Y.P. Kirin, S.L. Kraev
CREATION OF MODELS OF DYNAMICS FOR
SYNTHESIS OF SITUATIONAL MANAGEMENT BY
VACUUM SEPARATION OF THE SPONGY TITAN
*Keywords: vacuum separation, models of dynamics, self-
oscillation, structural and parametrical identification,
situational management.*

In article the methodology of structural and parametrical identification of models of dynamics of process of vacuum separation of the spongy titan for situational management of process is stated. The methodology is based on research of self-oscillations in on-off system of regulation of temperature of vacuum separation.

А.В. Кудинов, Н.П. Углев, В.Г. Рябов
МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ПАВ В ПРОЦЕССЕ
СЕРНОКИСЛОТНОГО АКИЛИРОВАНИЯ
ИЗОБУТАНА ОЛЕФИНАМИ

Ключевые слова: сернокислотное алкилирование, серная кислота, изобутан, бутены.

Приведены результаты исследований по растворимости изобутана в серной кислоте в присутствии ПАВ, данные по изменению межфазной поверхности эмульсии кислота-углеводороды в зависимости от концентрации ПАВ. Представлены данные по выходу различных углеводородов от времени проведения процесса при введении в систему ПАВ. На основе полученных данных и имеющихся в литературе предложен механизм действия ПАВ и приведена модель процесса алкилирования изобутана олефинами.

М.А. Куликов, С.Г. Козлов, В.А. Тихонов,
Н.С. Шеманская, Е.В. Морева
КИНЕТИКА ПРОЦЕССА ОТЛОЖЕНИЯ СОЛЕЙ НА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ
ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ

Ключевые слова: процесс солеотложения, силвинитовая обогатительная фабрика, математическое моделирование, константа скорости, регрессионный анализ.

В статье рассматриваются результаты математической обработки экспериментальных данных, полученных при исследовании процесса солеотложения применительно к условиям сушильного отделения силвинитовой обогатительной фабрики ОАО «Уралкалий». Приведены значения констант скорости процесса солеотложения при использовании некоторых нейтрализующих добавок.

Е.Г. Мальцев, А.В. Волков
ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ
РАЗРЯДНЫХ ЛАМП НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: разрядная лампа низкого давления, импульсный режим, импульсный электронный пускорегулирующий аппарат, концентрация электронов, концентрация возбужденных атомов, ионизация.

В статье представлены результаты исследований разрядных ламп низкого давления при их питании импульсами тока повышенной частоты, а также схема электронного полупроводникового импульсного пускорегулирующего аппарата. Экономия электроэнергии в настоящее время является важной народно-хозяйственной задачей. Одним из путей её решения является переход на питание люминесцентных ламп импульсами тока повышенной (20 – 50 кГц) частоты.

Р.И. Насыров
ПОТРЕБНОСТЬ В ПРОГРАММЕ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ
НАКОПИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ В
КОМПЬЮТЕРАХ ЧАСТНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

A.V. Kudinov, N.P. Uglev, V.G. Ryabov
MECHANISM OF ACTION OF THE SURFACTANTS
IN ALKYLATION OF ISOBUTANE WITH ALKENES
IN PRESENCE OF SULFURIC ACID

Keywords: sulfuric acid alkylation, sulfuric acid, isobutane, butenes.

Article describes results of investigations on the solubility of isobutane in sulfuric acid in the presence of surfactants to modify the acid-hydrocarbon emulsion interface surface depending on the surfactant concentration. Output of various hydrocarbons in the process depending on surfactant introduction time was studied. Based on the data available in the literature and acquired results mechanism of surfactant action and model of the alkylation of isobutane with alkenes was proposed.

M.A. Kulikov, S.G. Kozlov, V.A. Tikhonov,
N.S. Shemanskaya, E.V. Moreva
KINETICS OF SALT DEPOSITS ON PROCESS
EQUIPMENT PRODUCTION OF POTASSIUM
CHLORIDE

Keywords: process scaling, sylvinite concentrator, mathematical modeling, the rate constant, regression analysis.

The article discusses the results of mathematical processing of the experimental data obtained in the study of the process of scaling applied to the conditions of drying department sylvinite concentrator OJSC "Uralkali". Gives the values of the rate constants of the process of scaling with some neutralizing additives.

E.G. Maltsev, A.V. Volkov
RESEARCH OF PULSE FOOD OF DIGIT LAMPS OF
LOW PRESSURE

Keywords: digit lamp of low pressure, pulse mode, the pulse electronic regulating device, concentration of electrons, concentration of the excited atoms, ionization.

Results of researches of digit lamps of low pressure are presented in article at their food by impulses of current of the increased frequency, and also the scheme of the electronic semiconductor pulse regulating device. The economy of the electric power is now an important economic task. One of ways of its decision is transition to food of luminescent lamps by impulses of current raised (20 – 50 kHz) frequencies.

R.I. Nasyrov
THE NEED FOR A PROGRAM OF DATA STORAGE
DEVICES RELIABILITY PROGNOSTICATION IN
PRIVATE USERS COMPUTERS

Ключевые слова: программа, прогнозирование, накопитель информации, надежность.

Keywords: program, prognostication, data storage, reliability.

Выявлена потребность в разработанной программе прогнозирования надежности компьютерных накопителей информации среди частных пользователей. Произведена дифференциация пользователей по группам согласно степени потребности в программе прогнозирования надежности компьютерных накопителей информации. Обоснована цена предложения программы прогнозирования надежности компьютерных накопителей информации для частных пользователей.

The need for the developed program of computer data storage reliability prognostication among private users is identified. Users are differentiated into groups according to the degree of demand of computer data storage reliability prognostication. Software proposal price of computer data storage reliability prognostication for private users is substantiated.

А.В. Новичихин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ПЛАНИРОВАНИЯ В СОЦИАЛЬНО-
ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ТОПЛИВНО-
СЫРЬЕВОГО РЕГИОНА: ПРОЦЕДУРЫ И МОДЕЛИ**

Ключевые слова: планирование, процедура управления, топливно-сырьевой регион; переделы энергетического сырья.

**A.V. Novitchihin
METHODICAL FEATURES OF PLANNING OF
SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS IN FUEL
RESOURCES REGION: PROCEDURES AND
MODELS**

Keywords: planning, management procedure, fuel resources region, repartitions of power raw materials.

В статье представлена процедура планирования в социально-экономических системах топливно-сырьевого региона. Предложен модельный комплекс планирования, учитывающий переделы энергетического сырья в регионе.

The article present of planning procedure in socio-economic systems of the fuel resources region. The model complex of planning considering repartitions of power raw materials in the region is offered.

М.Я. Пашаев, М.Ш. Минцаев

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СКЛАДСКОГО
ГРУЗОБОРОТА: АКТУАЛЬНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ**

Ключевые слова: складской грузооборот, автоматизация складского грузооборота, ГЛОНАСС.

**M.Y. Pashaev, M.S. Mincaev
PROCESS AUTOMATION OF STORAGE CARGO
HANDLING: RELEVANCE AND PROBLEMS**

Keywords: storage cargo turnover, cargo handling storage automation, GLONASS.

В статье выполнено описание процесса складского грузооборота, изложены основные проблемы его автоматизации и обоснована их актуальность. Приведены существующие способы решения данных проблем. Сформулирована постановка задачи и перечислены вопросы, которые планируется решить в результате исследования. Приведено краткое описание информационных технологий, выбранных для дальнейшей алгоритмической и программной реализации.

The article holds the description of the process of storage cargo handling, there are outlined key challenges of its automation and substantiated their relevance. Are given the existing methods of solving these problems.

The problem is formulated and are listed questions, which will be solved by the study. There is given a brief description of informational technologies, selected for further algorithmic and software implementation.

К.А. Пекина

**ФОРМИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
ПРОГРАММЫ ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ
КОНКУРЕНТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С
УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ**

Ключевые слова: организационный механизм конкурентного взаимодействия, производственная программа, надежность.

K.A. Pekina

**FORMATION OF THE PRODUCTION PROGRAM
OF THE ENTERPRISE IN THE CONDITIONS OF
COMPETITIVE INTERACTION TAKING INTO
ACCOUNT RELIABILITY**

Keywords: the organizational mechanism of competitive interaction, the production program, reliability.

Разработаны модели и механизмы конкурентного взаимодействия между промышленными комплексами по производству ракетно-космической техники в условиях объемной конкуренции, как инструментов обоснованного принятия устойчивых равновесных решений по выбору эффективных конкурентных стратегий при формировании производственной программы с целью максимизации прибыли с учетом надежности изделия.

This article contains information about models and mechanisms of competitive interaction between industrial complexes on manufacture of space-rocket technics in the conditions of a volume competition, as tools of well-founded acceptance of steady equilibrium decisions for choice effective competitive strategy at formation of the production program for the purpose of maximisation of profit taking into account reliability of a product are developed.

С.Н. Пепеляев, Р.А. Анферова, М.В. Касаткина,
Е.И. Мошкина, В.А. Оборская
ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ
УГЛЕВОДОРОДОВ В КАПИЛЛЯРНОМ
КОАЛЕСЦЕРЕ

Ключевые слова: дизельное топливо, эмульсия, коалесценция, фракционный состав, химический состав, n-парафины, низкотемпературные свойства.

Проведены эксперименты по разрушению спиртоводной эмульсии дизельного топлива в капиллярном коалесцере. Выявлено существенное изменение как фракционного, так и группового состава дизельного топлива, при прохождении эмульсии через коалесцер с различной скоростью. Изменение состава дизельного топлива приводит также и к изменению его низкотемпературных свойств – температур помутнения и застывания.

Д.А. Попов, И.А. Шмидт
ОПЕРАТИВНЫЙ СБОР ПАРАМЕТРОВ ПРИ
ИСПЫТАНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ГТУ НА
БАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ NATIONAL INSTRUMENTS
Ключевые слова: Сбор данных, SVE, DSC, испытания ГТУ.

В статье предложен метод сбора данных различной структуры с применением оборудования National Instruments. Описана специфика нижнего уровня трехуровневой архитектуры системы испытаний ГТУ – большое количество информации, различная структура наборов параметров, различная размерность характеристик. Предложен метод создания динамической библиотеки переменных и метод конфигурирования тэгов на основании метаинформации об испытании. Собираемые данные передаются между вычислительными терминалами по протоколу PSP, обеспечивая квити́рование, визуализацию, сбор данных и событий.

И.О. Секарова
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
БИОПРОДУКТИВНОСТИ ВОДОЕМА В УСЛОВИЯХ
ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Ключевые слова: антропогенное воздействие, водная экосистема, модель биопродуктивности, качество воды, самоочищение, техногенное загрязнение.

Исследовано водохранилище промышленного района Тульской области. Собраны материалы по морфометрическому, гидрохимическому режиму водного объекта, исследованы пробы воды, проводился сбор ихтиологического материала в водоеме. Предложена математическая модель биопродуктивности водной экосистемы, позволяющая учитывать влияние факторов техногенного загрязнения водоема.

А.В. Селезнев, А.А. Хромов
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДЛЯ ОТРАБОТКИ НАВЫКОВ АДЕКВАТНОГО
ПОВЕДЕНИЯ В СЛУЧАЯХ НЕШТАТНОЙ
АВАРИЙНОЙ ПОСАДКИ ВОЗДУШНОГО СУДНА У
КУРСАНТОВ-ПИЛОТОВ

S.N. Pepelyaev, R.A. Anferova, M.V. Kasatkina,
E.I. Moshkina, V.A. Oborskaya
CHANGE OF HYDROCARBONS COMPOSITION
AND PROPERTIES IN CAPILLARY COALESCENCE
UNIT

Keywords: diesel fuel, emulsion, coalescence, fractional composition, chemical composition, n-alkanes, low-temperature properties.

Destruction of water-alcohol emulsion of diesel fuel in capillary coalescence unit was studied. It is found that fractional and chemical composition of diesel fuel substantially changed during flow through capillary coalescence unit with different speeds. Change of diesel fuel composition results in change of its low-temperature properties, such as cloud point and pour point.

D.A. Popov, I.A. Shmidt
OPERATIONAL COLLECTION OF PARAMETERS
OF VARIOUS TYPES GAS TURBINES TESTS
BASED ON NATIONAL INSTRUMENTS
HARDWARE

Key words: Data logging, SVE, DSC, gas turbine testing

This paper proposes a method of the various structures data collection using National Instruments hardware. The specificity of the lower level of a three-tier system architecture test GTU has been described i.e. large amounts of information, the different structure of the parameters, a different performance dimensions. This paper proposed a method for creating a dynamic link library variables and configuration meta-information on the basis of the test. The resulting data is transmitted between computer terminals via PSP, providing acknowledgment, visualization, data and events collection.

I.O. Sekarova
MATHEMATICAL MODELING BIOPRODUCTIVE
RESERVOIRS IN CONDITIONS OF TECHNOGENIC
POLLUTION

Keywords: human influences, the aquatic ecosystem model bioefficiency, water quality, self-cleaning, industrial pollution.

Studied reservoir industrial district of Tula region. Collected materials on morphometric, hydrochemical regime of the water body, investigated water samples were collected ichthyological material in the pond. A mathematical model of bio-productivity of the aquatic ecosystem, which allows to take into account the influence of factors of technogenic pollution of the water body.

A.V. Celeznev, A.A. Khromov
THE DEVELOPMENT SOFTWARE IN ORDER
ENABLES CADETS-PILOTS SKILLS OF CORRECT
BEHAVIOR IN CASES OF EMERGENCY CRASH
LANDING OF AN AIRCRAFT

Ключевые слова: авиация, обучение, авария, аварийная нештатная посадка, моделирование, программное обеспечение, программа.

В статье предлагается вариант обоснования необходимости использования и представлен пример разработки программного обеспечения необходимого для обучения курсантов-пилотов с целью углубления знаний и приобретения навыков в случаях осуществления экстренной аварийной посадки воздушного судна вне аэродрома.

Г.М. Скибин, А.М. Кидакоев, Д.Н. Архипов
РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНОЙ ПЛИТЫ
ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА С
ГЕОМЕТРИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЕМОЙ ФОРМОЙ
ПОДОШВЫ

Ключевые слова: ленточный фундамент, балочный элемент; несущая способность; геометрически изменяемая форма.

В работе приведены рекомендации по расчету новой конструкции сборной подошвы фундаментов из балочных элементов по прочности на изгиб с использованием стандартной методики СНиП.

М.В. Таланов
РЕАЛИЗАЦИЯ РАСШИРЕННОГО ФИЛЬТРА
КАЛМАНА НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ
TMS320F28335 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВОЙ
СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: векторное управление, расширенный фильтр Калмана, наблюдатель потокосцепления ротора, микроконтроллер TMS320F28335.

В работе описана реализация расширенного фильтра Калмана с использованием микроконтроллера TMS320F28335 фирмы Texas Instruments в цифровой системе управления. Приведено сравнение производительности микроконтроллера при различных способах вычисления обратной матрицы в алгоритме фильтрации. Оценка угловой скорости вращения ротора, полученная с помощью расширенного фильтра Калмана, используется в модифицированной системе векторного управления с дополнительным наблюдателем потокосцепления ротора.

А.Р. Фардеев, Р.Г. Марданшин
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА
РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ПОДАЧИ ЖИДКОСТИ КАК МЕХАНИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ

Ключевые слова: ветронасосная установка, подача жидкости механическая система, система управления, условия асимптотической устойчивости.

В статье рассмотрена работа автоматической системы подачи жидкости с использованием ветродвигателя как механической системы, представлены уравнения математических моделей

Keywords: aviation, education, accident, emergency crash landing, simulation, software, program.

The problem considered in the article is about the necessity and presented development the program software for training cadets-pilots in order mining knowledge and skills in cases of emergency crash landing of an aircraft outside the airport area.

G.M. Skibin, A.M. Kidakoev, D.N. Arkhipov
CALCULATION OF THE ELEMENTS TEAM PLATE
STRIP FOUNDATION WITH A GEOMETRICALLY
VARIABLE FORM OF SOLES

Keywords: strip foundation, beam element; load capacity; geometrically variable form.

The following guidelines for the calculation of the new design team sole foundations of beam elements for bending strength using the standard technique of Snip.

M.V. Talanov
IMPLEMENTATION OF THE EXTENDED KALMAN
FILTER ON TMS320F28335 PROCESSOR FOR THE
ESTIMATION OF THE ROTOR SPEED OF AN
INDUCTION MOTOR

Keywords: vector control, extended Kalman filter, rotor flux estimator, TMS320F28335 processor.

This paper describes implementation of the extended Kalman filter on TMS320F28335 processor from Texas Instruments. The comparison of different ways of computing the inverse matrix in filtering algorithm is presented. Estimated rotor speed is used in modified vector control system with additional rotor flux estimator.

A.R. Fardeev, R.G. Mardanshin
DEFINING THE CONDITIONS OF THE
ASYMPTOTIC STABILITY OF NOMINAL
OPERATING MODE OF THE AUTOMATIC FLUID
DELIVERY SYSTEM AS A MECHANICAL SYSTEM

Keywords: wind pumping installation, fluid delivery, mechanical system, controlling system, the conditions of asymptotic stability.

In the article the work of automatic fluid delivery system using wind engine as a mechanical system is considered, equations of the object's mathematical models and systems of control are given, the conditions of asymptotic stability of nominal operating mode of the system

объекта и системы управления, установлены условия асимптотической устойчивости номинального режима работы системы при управлении рабочим объемом пластинчатого насоса и площадью сечения воздухопроводов.

В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, В.А. Нестеров,
А.Н. Галахов, Р.С. Доровских

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНО-
АКУСТИЧЕСКОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ

Ключевые слова: ультразвук, коагуляция, агломератор, аппарата со встречно-закрученными потоками, пылегазоочистительное оборудование.

Статья посвящена созданию и исследованию функциональных возможностей газоочистительного оборудования для улавливания дисперсных частиц нанометрового размера. Экспериментально установлено, что эффективность разработанного пылеуловителя при улавливании дисперсных частиц с начальным размером 0,2 мкм при расходе пылегазового потока 0,22 м³/с, концентрацией частиц 100 г/м³ и плотностью исходных частиц 2000 кг/м³ составляет не менее 95%.

М.А. Черноскутов, Д.Г. Ермаков, М.Л. Гольдштейн,
Д.А. Усталов

МЕТОД РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ В GPU-
РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ПОИСКА В ШИРИНУ
НА ГРАФЕ

Ключевые слова: поиск в ширину, параллельные вычисления, ускорители вычислений.

Представлен метод распределения нагрузки, разработанный с целью повышения эффективности выполнения параллельного алгоритма поиска в ширину на графе. Приведено подробное описание алгоритма, реализующего данный метод на массивно-параллельной архитектуре графического ускорителя вычислений. Показано, что использование данного метода позволяет достичь высоких показателей скорости обхода графа в ширину.

Е.А. Шеин, К.А. Голявин

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННЫХ
СЛОЕВ НА ОСНОВЕ СМЕСИ ПОРОШКОВ 30X13 И
HX15CP2

Ключевые слова: лазерная наплавка, микроструктура, фазовый состав, свойства.

В работе представлены результаты исследования структуры и твердости слоев полученных путем лазерной газопорошковой наплавки порошковых смесей на основе 30X13 и HX15CP2. Исследован фазовый и химический состав покрытий. Проведен фрактографический анализ. Показана возможность получения наплавленных слоев заданной твердости без дополнительной термической обработки.

controlling the working volume of vane pump and the cross sectional area of the ducts are presented.

V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, V.A. Nesterov,
A.N. Galakhov, R.S. Dorovskikh

THE DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE
EFFICIENCY OF THE CENTRIFUGAL AND
ACOUSTIC DUST COLLECTOR

Keywords: ultrasound, coagulation, device with counter swirling flows (CSF), agglomerator, dust and gas cleaning equipment.

Article is devoted to creation and study of the gas-cleaning equipment functionality to trap the dispersed particles of nanometer size. Experimentally found that the efficiency of the dust collector developed in trapping the dispersed particles with an initial size of 0,2 microns at a flow rate of dust and gas flow of 0,22 m³/s, the particle concentration of 100 g/m³ and a density of initial particles of 2000 kg/m³ is not less than 95%.

M.A. Chernoskutov, D.G. Ermakov, M.L. Goldshtein,
D.A. Ustalov

METHOD OF DISTRIBUTING WORKLOADS IN
GPU-IMPLEMENTATION OF BREADTH-FIRST
SEARCH ALGORITHM

Keywords: breadth-first search, parallel computing, computational accelerators.

Paper describes a method of distributing workloads, designed to improve the efficiency of parallel breadth-first search algorithm. A detailed description of the algorithm which based on this method and its implementation for massively parallel architecture of GPU-accelerators is presented. It is shown that using this method allows to achieve high graph traversal rates.

E.A. Shein, K.A. Golyavin

STRUCTURE AND PROPERTIES OF LASER
DEPOSITED COATINGS OF MIX OF Fe–Cr AND
Ni–Cr–B–Si–C POWDERS

Keywords: laser deposited coatings, microstructural design, phase structure, properties.

The paper presents the results of research of structure and hardness of laser deposited coatings of mix of Fe–Cr and Ni–Cr–B–Si–C powders. The phase and chemical composition of coverings is investigated. The tensile fracture of the coatings were further observed. possibility of receiving the of laser deposited coatings of the necessary hardness without additional heat treatment is shown.

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 2014

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 25.04.2014 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

12,6 усл.печ.л. 14,5 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1384.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"

420043, Республика Татарстан, Казань,

ул. Лесгафта, д.6

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»