Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й

В Е С Т Н И К

П О В О Л Ж Ь Я

№6 2016

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

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

05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Казань

2016

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №6 2016г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2016. – 198 с.

ISSN 2079-5920

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

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

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

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

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

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

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

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

УДК 60

ББК 30-1

 © Научно-технический вестник Поволжья, 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

И.П. Борискина, А.В. Нуштаева, А.В. Савкина, И.А. Савинов, Р.М. Шарамазанов МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ В МОНОХРОМАТИЧЕСКОЙ ВОЛНЕ КАК КОМПОНЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ 9

В.В. Дружинин, М.И. Конькова ВОЗВЕДЕНИЕ СУММЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОГРЕССИИ В НАТУРАЛЬНУЮ СТЕПЕНЬ 13

В.В. Дружинин, И.Р. Смагин СУММЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ В ДРОБНОЙ СТЕПЕНИ 16

Т.Н. Титова О НОРМАЛИЗАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ ГАМИЛЬТОНОВЫХ СИСТЕМ 19

Е.Н. Шубабко ФАКТОРИЗАЦИЯ ОДНОГО КЛАССА ЦЕЛЫХ ФУНКЦИЙ БЕСКОНЕЧНОГО ПОРЯДКА 24

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

А.В. Агапов, В.Н. Богданов, Д.А. Боровиков, А.В. Ионов, С.Д. Селиверстов, П.А. Стариков МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГТД 28

О.В. Аникеева К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ ОЦЕНОК ТОЧНОСТИ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ 33

Л.В. Беляев, А.В. Жданов ОЦЕНКА ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬСИРУЮЩИХ СИСТЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА НА БАЗЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ 38

Л.В. Беляев, А.В. Степенькин, А.В. Жданов АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПУЛЬСИРУЮЩИХ СИСТЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА НА БАЗЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ С УЧЕТОМ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК 42

А.П. Буйносов, Е.А. Карамов РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ГАСИТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ МЕТОДОМ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ 46

А.П. Буйносов, С.И. Лаптев ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ ДЛЯ РЕМОНТА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР БЕЗ ПРЕКРАЩЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОКОМОТИВОВ 50

Н.С. Галимов, С.Н. Мухтарулин, Р.Т. Насибуллин, Л.Р. Саримов РАЗРАБОТКА РОТОРНОЙ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВКИ С КОНЦЕНТРАТОРОМ 53

Г.Г. Закирзаков, Д.М. Бородин, Ш.М. Мерданов, В.В. Конев ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА МАШИН 56

В.В. Конев, Г.Г. Закирзаков, Ш.М. Мерданов, Д.М. Бородин ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ТЕПЛОВОЙ ПОДГОТОВКЕ ГИДРОДВИГАТЕЛЯ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН 59

Ш.М. Мерданов, В.В. Конев, Г.Г. Закирзаков, Д.М. Бородин ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОГРЕВУ ГИДРОБАКА СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН 62

И.Н. Сидоров, П.А. Хилов МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАНСФЕРНОГО ФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПЕРЕМЕННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ НАПОЛНИТЕЛЯ 66

С.Э. Шаклеина, Е.Н. Тимашева ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ ВАКУУМ-ФИЛЬТРОВ, ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ РАМЫ 72

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

А.А. Алейников, К.З. Билятдинов, Е.А. Кривчун УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ: МЕТОДОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА 76
И.И. Байнева ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СВЕТОДИОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 79
А.П. Буйносов, С.Н. Антропов АНАЛИЗ НАРУШЕНИЯ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА БЛОК НА ЛОКОМОТИВАХ В СЕРВИСНОМ ДЕПО СВЕРДЛОВСК 82
А.А. Мальцев КОНТРОЛЬ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СВЕТОДИОДОВ ПО РАЗБРОСУ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ 86
И.В. Нелин, Д.А. Охотников НАБЛЮДЕНИЕ ЧАСТОТ ДЫХАНИЯ И СЕРДЦЕБИЕНИЯ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ДАТЧИКОМ 89
Р.В. Цветков, В.В. Епин, С.В. Лекомцев, А.П. Шестаков ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В МНОГОСЕГМЕНТНОМ ГИДРОНИВЕЛИРЕ 92
Д.В. Чайкин, А.С. Вохминцев, И.А. Вайнштейн ТЕМПЕРАТУРНОЕ ТУШЕНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КИСЛОРОД-СВЯЗАННЫХ ЦЕНТРОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ 95

05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

А.А. Аббакумов, Д.П. Сидоров, А.И. Егунова ПРИМЕНЕНИЕ ЯЗЫКА VISUAL PROLOG ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ 99
И.К. Алайцев, О.И. Афонина, Т.В. Данилова, И.Ю. Ермаков, В.Н. Кучмин, А.О. Мантуров, Г.О. Мареев, О.В. Мареев УСТРОЙСТВО ВВОДА С ТАКТИЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ 102
А.С. Андреев, Д.С. Макаров, О.А. Перегудова ОБ УПРАВЛЕНИИ МАНИПУЛЯТОРАМИ БЕЗ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ 105
А.С. Андреев, Л.С. Тахтенкова О СТАБИЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЙ СПУТНИКА ПО КРУГОВОЙ НЕКЕПЛЕРОВОЙ И НА ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОРБИТАХ 109
В.В. Воронин, В.И. Марчук, Е.А. Семенищев, С.В. Маков, Н.В. Гапон АЛГОРИТМ СТАБИЛИЗАЦИИ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗНАЧЕНИЙ ПИКСЕЛЕЙ 113
Е.С. Вячкин, В.О. Каледин, С.М. Аульченко, А.С. Бондаренко, Е.А. Вячкина ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ДЕФОРМИРОВАНИИ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ С ОБЪЕМНО-НЕСЖИМАЕМЫМИ СЛОЯМИ 117
Е.С. Вячкин, Е.В. Решетникова, С.М. Аульченко, А.П. Рябков, Е.А. Вячкина ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР, СОДЕРЖАЩИХ ОБЪЕМНО-НЕСЖИМАЕМЫЕ СЛОИ 120
И.В. Гуляев, И.С. Юшков, А.Н. Архипов, М.А. Бобров МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ МЕТОДА MTPA (MAXIMUM TORQUE PER AMPERE) В НАДСИНХРОННОЙ ОБЛАСТИ 124
А.В. Жолудева, Е.Н. Созинова КОНСАЛТИНГ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 128
В.А. Заговорчев, М.Я. Кыласов, В.В. Родченко, Э.Р. Садретдинова ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ РЕАКТИВНОГО ПЕНЕТРАТОРА С ГРУНТОМ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 131
В.Г. Зарубский ПУТИ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ АДАПТАЦИИ СТРУКТУРНО-УСТОЙЧИВОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЭВМ К ТЕКУЩЕМУ ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ НА ОСНОВЕ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ АЛГОРИТМА АДАПТАЦИИ 134

А.В. Иващенко, Д.В. Купер, О.В. Шорникова АРХИТЕКТУРА ПМП ДЛЯ ПОДВИЖНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ 138

А.В. Иващенко, О.В. Шорникова, П.В. Ситников, О.Л. Сурнин ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ ПРЕДПРИЯТИЯ НА БАЗЕ ОТКРЫТЫХ СЕРВИСОВ 141

В.О. Каледин, А.Д. Ульянов, Вл.О. Каледин МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ 144

Д.А. Козорез, В.В. Терентьев, А.О. Шемяков ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА 147

И.З. Краснов, С.О. Шапочкин МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЁТОМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА 152

Т.В. Леванова, П.И. Кальчевская АЛГОРИТМЫ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА ОБЪЕМЫ ПОСТАВОК 157

А.Е. Лысенко СТРУКТУРА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ СОХРАНЕНИЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА 162

И.Ю. Попов, А.Д. Наумов МЕТОД ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ТРЕБОВАНИЯМ РЕГУЛЯТОРА 166

А.В. Супруненко МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ВЕБ-КОНТЕНТА НА ОСНОВЕ ИГРОВОГО ПОДХОДА 169

А.С. Федосин ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ О ПОТРЕБЛЕНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ 172

В.А. Франц СЛЕПАЯ МЕТРИКА ВИЗУАЛЬНОГО КАЧЕСТВА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 175

М.А. Черноскутов, М.Л. Гольдштейн ОБРАБОТКА ГРАФОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСКОРИТЕЛЕЙ ВЫЧИСЛЕНИЙ 178

Е.В. Шаврина РАЗРАБОТКА И ВЕРИФИКАЦИЯ МОДИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА СВЕРХЗВУКОВЫХ НЕИЗОБАРИЧЕСКИХ СТРУЙ 182

АННОТАЦИИ 185

THE RELEASE MAINTENANCE

01.01.00 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICS

I.P. Boriskina, A.V. Nushtaeva, A.V. Savkina, I.A. Savinov, R.M. Sharamazanov MATHEMATICAL MODELING OF INTERACTION OF PARTICLES IN THE MONOCHROMATIC WAVE AS A COMPONENT OF EDUCATION 9
V.V. Druzhinin, M.I. Konkova THE CONSTRUCTION OF THE SUM OF A GEOMETRIC PROGRESSION IN THE NATURAL DEGREE 13
V.V. Druzhinin, I.R. Smagin THE SUM OF SUCCESSIVE NATURAL NUMBERS IN A FRACTIONAL EXPONENT 16
T.N. Titova ON NORMALIZATION OF LINEAR HAMILTONIAN SYSTEMS 19
E.N. Shubabko FACTORIZATION OF THE ONE CLASS OF ENTIRE FUNCTION OF INFINITE ORDER 24

05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

A.V. Agapov, V.N. Bogdanov, D.A. Borovikov, A.V. Ionov, S.D. Seliverstov, P.A. Starikov MATHEMATICAL INDENTFICATION AND PROBLEMS OF MICROTURBINE ENGINEERING 28
O.V. Anikeeva TO THE FORMATING OF THE ACCURACY ASSESSMENT SYSTEM OF THE PROCESSED SURFACES 33
L.V. Belyaev, A.V. Zhdanov ASSESSMENT OF HEMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF PULSATILE CIRCULATORY SUPPORT AND ARTIFICIAL HEART SYSTEMS BASED ON MECHATRONIC UNITES 38
L.V. Belyaev, A.V. Stepenkin, A.V. Zhdanov DESIGN ALGORITHM OF PULSATILE CIRCULATORY SUPPORT AND ARTIFICIAL HEART SYSTEMS BASED ON MECHATRONIC UNITES WITH HEMODYNAMIC CHARACTERISTICS CONSIDERING 42
A.P. Buinosov, E.A. Karamov RESULTS OF TEST OF HYDRAULIC QUENCHERS OF LOCOMOTIVES BY METHOD OF HARMONIC OSCILLATIONS 46
A.P. Buinosov, S.I. Laptev THE PROSPECTS OF USE OF TRIBOTECHNICAL STRUCTURES FOR REPAIR OF BANDAGES OF WHEELPAIRS WITHOUT THE TERMINATION OF OPERATION OF LOCOMOTIVES 50
N.S. Galimov, S.N. Muhtarulin, R.T. Nasibullin, L.R. Sarimov DEVELOPMENT OF ROTORY WIND ELECTRIC MILL WITH A CONCENTRATOR 53
G.G. Zakirzakov, D.M. Borodin Sh.M., Merdanov, V.V. Konev MEASUREMENT EQUIPMENT THERMAL STATE FOR RESEARCH ELEMENTS OF HYDRAULIC MACHINES 56
V.V. Konev, G.G. Zakirzakov, Sh.M. Merdanov, D.M. Borodin PLANNING EXPERIMENT ON THE PREPARATION OF HEAT HYDRAULIC MOTOR ROAD CONSTRUCTION MACHINERY 59
Sh.M. Merdanov, V.V. Konev, G.G. Zakirzakov, D.M. Borodin PILOT STUDY ON THE HYDRAULIC TANK WARMING ROAD CONSTRUCTION MACHINERY 62
I.N. Sidorov, P.A. Khilov MATHEMATICAL SIMULATION OF TRANSFER MOLDING OF COMPOSITES WITH VARIABLY PERMEABLE FILLER 66
S.E. Shakleina, E.N. Timacheva FEATURES OF DESIGNING A VACUUM FILTER BELT EVALUATION OF STRESS STATE FRAME 72

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

A.A. Aleynikov, K.Z. Bilyatdinov, E.A. Krivchun MANAGEMENT TECHNICAL SUPPORT: METHODOLOGY OF QUALITY CONTROL 76
I.I. Bayneva ENERGY EFFICIENT LED TECHNOLOGY 79
A.P. Buinosov, S.N. Antropov THE ANALYSIS OF VIOLATION OF WORK OF THE COMPLEX THE BLOCK ON LOCOMOTIVES IN SERVICE DEPOT SVERDLOVSK 82
A.A. Maltsev QUALITY CONTROL AND RELIABILITY OF LEDS IN SCATTER THEMAL PARAMETERS 86
I.V. Nelin, D.A. Okhotnikov RADAR OBSERVATIONS OF BREATHING RATE AND HEARTBEAT OF PETS 89
R.V. Tsvetkov, V.V. Epin, S.V. Lekomtsev, A.P. Shestakov RESEARCH OF THE FLUID MOTION IN MULTISEGMENT HYDROSTATIC LEVEL 92
D.V. Chaikin, A.S. Vokhmintsev, I.A. Weinstein THERMAL QUENCHING OF OXYGEN-RELATED CENTERS PHOTOLUMINESCENCE IN AlN SINGLE CRYSTALS 95

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

A.A. Abbakumov, D.P. Sidorov, A.I. Egunova USE LANGUAGE VISUAL PROLOG FOR AUTOMATION OF COURSE SCHEDULE 99
I.K. Alaytsev, O.I. Afonina, T.V. Danilova, I.Y. Ermakov, V.N. Kuchmin, A.O. Manturov, G.O. Mareev, O.V. Mareev HAPTIC DEVICE WITH EXTENDED INPUT DEGREE OF FREEDOM 102
A.S. Andreev, D.S. Makarov, O.A. Peregudova ON CONTROL OF THE MANIPULATORS WITHOUT VELOCITIES MEASUREMENT 105
A.S. Andreev, L.S. Takhtenkova ON STABILIZATION OF SATELLITE MOTIONS IN CIRCULAR NON-KEPLERIAN AND IN ELLIPTIC ORBITS 109
V.V. Voronin, V.I. Marchuk, E.A. Semenishchev, S.V. Makov, N.V. Gapon ALGORITHM OF VIDEO STABILIZATION ON THE BASIS OF PIXELS RECONSTRUCTION 113
E.S. Vyachkin, V.O. Kaledin, S.M. Aulchenko, A.S. Bondarenko, E.A. Viachkina NUMERICAL SOLUTION OF PROBLEMS OF DEFORMATION OF THE LAYERED STRUCTURE WITH A VOLUME-INCOMPRESSIBLE LAYERS 117
E.S. Vyachkin, E. V. Reshetnikova, S.M. Aulchenko, A.P. Ryabkov, E.A. Viachkina THE ONE-PARAMETRIC MODEL OF THE DEFORMATION OF LAYERED STRUCTURES CONTAINING THREE-DIMENSIONAL INCOMPRESSIBLE LAYERS 120
I.V. Gulyaev, I.S. Yushkov, A.N. Arkhipov, M.A. Bobrov MATHEMATICAL SIMULATION OF THE INDUCTION MOTOR WITH THE IMPLEMENTATION OF MTPA STRATEGY IN OVER RATED SPEED 124
A.V. Zholudeva, E.N. Sozinova CONSULTING IN THE FIELD OF INFORMATION SECURITY 128
V.A. Zagovorchev, M.YA. Kylasov, V.V. Rodchenko, EH.R. Sadretdinova RESEARCH OF CROSS IMPACT OF JET PENETRATOR WITH SOIL BY MATHEMATICAL SIMULATION 131
V.G. Zarubskiy WAYS TO REDUCE TIME OF ADAPTATION OF STRUCTURALLY STABLE CONTROL COMPUTER TO THE CURRENT FUNCTIONAL STATE ON THE BASIS OF PARALLEL ADAPTATION ALGORITHM 134
A.V. Ivaschenko, D.V. Kuper, O.V. Shornikova “PLAN-ROUTE-PATTERN” ARCHITECTURE FOR A MOVING SENSORS NETWORK 138

A.V. Ivaschenko, O.V. Shornikova, P.V. Sitnikov, O.L. Surnin ENTERPRISE INTEGRATED INFORMATION SPACE DEVELOPMENT BASED ON OPEN SERVICES 141
V.O. Kaledin, A.D. Ulyanov, Vl.O. Kaledin SIMULATION STRESS-STRAIN STATE IN COMPOSITE BODY ROTATION WITH HIGH TEMPERATURE 144
D.A. Kozorez, V.V. Terentyev, A.O. Shemyakov IMPROVING THE ACCURACY OF THE CONTROL ALGORITHM OF ANGULAR ORIENTATION THE SPACECRAFT 147
I.Z. Krasnov, S.O. Shapochkin MANAGEMENT MODEL OF LEADING COMPANY EFFECTIVENESS WITH EFFECT OF HUMAN FACTOR 152
T.V. Levanova, P.I. Kalchevskaya SOME APPROXIMATION ALGORITHMS FOR LOCATION PROBLEM WITH CONSTRAINTS ON THE VOLUMES OF SUPPLIES 157
A.E. Lysenko THE STRUCTURE OF THE MODEL OF INFORMATION SECURITY MANAGEMENT OF ENTERPRISES OF THE MILITARY-INDUSTRIAL COMPLEX ON THE BASIS OF THE PRESERVATION OF PERSONNEL POTENTIAL 162
I.U. Popov, A.D. Naumov METHOD OF CONFORMITY ASSESSMENT OF SECURITY OF PERSONAL DATA IN INFORMATION SYSTEMS TO REQUIREMENTS OF THE REGULATOR 166
A.V. Suprunenko MODELS AND ALGORITHMS OF WEB CONTENT CLASSIFICATION BASED ON THE GAME APPROACH 169
A.S. Fedosin DATA MINING OF RESIDENTAL ELECTRICITY CONSUMPTION DATA WITH PRODUCTION RULE SYSTEM 172
V.A. Frantc BLIND VIDEO QUALITY METRIC BASED ON MACHINE LEARNING 175
M.A. Chernoskutov, M.L. Goldshtein GRAPH PROCESSING USING COMPUTATIONAL ACCELERATORS 178
E.V. Shavrina DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF TURBULENCE MODEL MODIFICATION FOR CALCULATION OF SUPERSONIC ISOBARIC JETS 182

ABSTRACTS 185

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА (01.01.00)

01.01.00

[1]И.П. Борискина, [2]А.В. Нуштаева, [3]А.В. Савкина, [3]И.А. Савинов, [3]Р.М. Шарамазанов

[1]Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, факультет математики и информационных технологий, кафедра математического анализа, irinaboriskina@mail.ru

[2]Московский технологический институт, г. Москва, кафедра информатики и автоматизации, anastesi@yandex.ru

[3]Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, институт электроники и светотехники, кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления

av-savkina@yandex.ru, savinovigor13rus@gmail.com, sr920n@gmail.com

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ В МОНОХРОМАТИЧЕСКОЙ ВОЛНЕ КАК КОМПОНЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ

Статья посвящена созданию математической модели и исследованию поведения частиц в монохроматической волне с малыми амплитудами колебаний. В рамках представленной математической модели получены формулы для сил, воздействующих на частицы, и выполнено численное моделирование траектории движения частиц монохроматической волны. Полученные результаты имеют большое значение для решения множества прикладных задач в различных областях.

Ключевые слова: *математическая модель, монохроматическая волна, сжимаемая жидкость, рассеиваемая энергия.*

Решение задачи о гидродинамическом взаимодействии частиц в идеальной сжимаемой жидкости актуально в связи с изучением динамики частиц в монохроматической волне с учетом парных взаимодействий.

Рассмотрим две однородные сферические частицы A и B, помещенные в поток жидкости, соответствующий распространению строго гармонической (синусоидальной) волны с постоянными во времени частотой, амплитудой и начальной фазой. Используя формулу [1]:

$$V_i = v_{oi}\cos(k\vec{r}_A - wt),$$

где k - волновой вектор, $\vec{r}$ - радиус-вектор центра сферической частицы A, w - частота волны, t - время.

Обозначим длину волны через λ и рассмотрим случай, когда длина волны намного больше, чем расстояние между частицами, тогда скорость V_i для плоской волны в окрестности частиц в линейном приближении по координатам имеет вид

$$V_i \approx v_{oi}\cos(k\vec{r}_A - wt) - v_{oi}k\sin(k\vec{r}_A - wt)x_j \qquad (1)$$

Потенциал φ в силу условия $\lambda >> r$ будет удовлетворять уравнению Лапласа:

$$\nabla^2\varphi = 0.$$

Значит, сила $\vec{F}$, действующая на частицы A и B в монохроматической волне, вычисляется как [2]:

$$F_S = -\oint \Pi_{ik} n_k ds.$$

Скорость сферических частиц в монохроматической волне можно определить из системы уравнений.

$$\begin{cases} m_A \dfrac{d^2\vec{r}_A}{dt^2} = \vec{F}^A \\ m_A \dfrac{d^2\vec{r}_B}{dt^2} = \vec{F}^B \end{cases} \qquad (2)$$

Для этого введем безразмерные переменные:

$$\begin{cases} r_1^A[t] = Rx_1^*[t] \\ r_2^A[t] = Rx_2^*[t], \\ r_3^A[t] = Rx_3^*[t] \end{cases} \qquad \begin{cases} r_1^B[t] = r_o r_1^*[t] \\ r_2^B[t] = r_o r_2^*[t] \\ r_3^B[t] = r_o r_3^*[t] \end{cases}$$

$$\dot{r}_i^A[t] = Rw\dot{r}_i^{A*}[t],\ \dot{r}_i^B[t] = r_o w\dot{r}_i^{B*}[t],\ r[t] = r_o r^*[t],\ t = wt^*,$$

$$g_1^*[t] = \sin(V x_1^*[t] - t^*),\ g_2^*[t] = \cos(V x_1^*[t] - t^*),\ g_3^*[t] = \cos(V x_1^*[t] -$$

$$-t^*)(V\dot{x}_1^*[t] - 1),$$

$$g_4^*[t] = \sin(V x_1^*[t] - t^*)(V\dot{x}_1^*[t] - 1)$$

Обозначим:

$$r[t] = \sqrt{x_2^2[t] + y_2^2[t] + z_2^2[t]},\ \frac{v_0}{c} = V,\ \frac{w}{k} = c,\ kR = u,\ \frac{r_0}{R} = d,\ R = \frac{v_0}{w},\ \frac{l_\rho}{l_e} = l.$$

Результаты решения этой задачи полностью согласуются с выводами об объединении частиц и позволяют определить количество рассеиваемой энергии в монохроматической волне [3, 4, 9, 10].

Некоторое дополнительное излучение звука, то есть дополнительное рассеяние, может возникнуть из-за наличия посторонних тел на пути распространения монохроматической волны, к тому же под влиянием монохроматической волны само тело приходит в движение, что вызывает также дополнительное количество рассеиваемой энергии [5].

Согласно уравнению Лапласа [1]:

$$\Delta\psi = 0$$

где ψ - потенциал возмущенного поля скоростей в рассеянной волне. Следовательно, на больших расстояниях от частиц потенциал ψ рассеянной волны может быть представлен в виде ряда по мультиполям [6,7]:

$$\begin{aligned} \psi = {} & E_{ii}S(L_o^A + L_o^B) + H_i^{(1)}(L_i^A - L_i^B) + F_{ij}^{(1)}(L_{ijo}^A + L_{ij}^B) + \\ & + G_{ijk}^{(1)}(L_{ijk}^A - L_{ijk}^B) + \ldots + + H_i^{(2)}L_i^A + H_i^{(2)}L_i^B + F_{ij}^{(2)}L_{ij}^A + F_{ij}^{(2)}L_{ij}^B + \\ & + G_{ijk}^{(2)}L_{ijk}^A + G_{ijk}^{(2)}L_{ijk}^B + \ldots \end{aligned} \qquad (3)$$

Распределение скорости зависит от расстояний до центров частиц. На больших расстояниях от частиц решение (3) должно совпадать с решением волнового уравнения для сферических волн [8]:

$$\psi = \frac{f_1(ct - r)}{r} + \frac{f_2(ct + r)}{r}.$$

Первый член представляет собой расходящуюся волну, второй – волну, сходящаяся к центру.

При условии $\lambda >> r$, с учетом уравнения (3) получим

$$L_o^A = \frac{1}{x_A},\ L_0^B = \frac{1}{x_B} = \frac{1}{\sqrt{(\vec{x}^2 + \vec{r} \ - 2\vec{x}_A \cdot \vec{r}_A)}} \approx \frac{1}{x_A}$$

$$L_i^A = -\frac{\vec{x}_i^A}{\vec{x}_A^3},\ L_i^B = -\frac{\vec{x}_i^B}{\vec{x}_B^3} = \frac{\vec{x}_i^A - \vec{r}_i^A}{(\vec{x}_A^2 + \vec{r}_A^2 - 2\vec{x}_A \cdot \vec{r}_A)^{3/2}} \approx -\frac{\vec{x}_i^A}{x_A^3}.$$

Ограничимся в формуле (3) только членами, наименее быстро убывающими с ростом r, и получим выражение для потенциала рассеянной волны

$$\psi = 2E_{ii}SL_o^A + \frac{d(H_j^{(1)} + H_j^{(2)})}{dt} L_i^A .$$

Тогда скорость жидкости в рассеянной волне равна

$$v_i = \frac{dE_{ij}}{dt} \cdot \frac{2Sx_i}{cx^2} + 2\frac{d^2(H_j^{(1)} + H_j^{(2)})}{2t^2} \cdot \frac{x_j x_i}{c^2 x^3} \qquad (4)$$

В соответствии с решением волнового уравнения

$$E_{ii}(t) \sim E_{ii}\left(t - \frac{x}{c}\right),\ H_j^{(1)}(t) \sim H_j\left(t + \frac{x}{c}\right),\ H_j^{(2)}(t) \sim H_j\left(t + \frac{x}{c}\right),$$

где c - скорость звука, среднее количество рассеиваемой за одну секунду энергии в данном элементе телесного угла $d\Omega$ определяется произведением $c\,p\,v^2 d\Omega$. Полная интенсивность I рассеяния получается интегрированием формулы (4) по всем направлениям рассеяния. При этом интегрировании удвоенное произведение обоих членов в (4), пропорциональное первой степени косинуса угла между направлением рассеяния и направлением распространения монохроматической волны исчезает, и получаем следующее выражение:

$$I = 16\pi\rho < \left(\frac{dE_{jj}}{dt}\right)^2 > \frac{S}{c} + 16\pi\rho < \left(\frac{dH_j}{dt^2}\right)^2 > \frac{1}{3c}.$$

Здесь скобками «< >» определены усредненные параметры. Усреднение элементов осуществляется по правилу $< a >= \frac{1}{T}\int_0^T dt$.

Таким образом, исследование распространения монохроматических волн в дисперсных средах показывает, что гидродинамическое взаимодействие дисперсных частиц влияет на рассеивание звука. Поскольку метод, предложенный для решения представленной прикладной задачи, предполагает объемные знания студентами курсов алгебры, математического анализа, теоретической механики и уравнений с частными производными необходимо наличие виртуальной лабораторной работы, в основе которой представлена математическая модель.

Для реализации такой виртуальной лабораторной работы предполагается использование электронной системы поддержки обучения математики Math-Bridge [11, 12, 13], которая была разработана консорциумом европейских вузов и является распределенным инструментом поддержки технологии расширенного обучения (Technology-Enhanced Learning).

Список литературы

1. *Ландау Л Д., Лифшиц Е.М.* Гидродинамика. – М.: Наука, 1986. – 736 с.
2. *Рэлей.* Теория звука. – М.: ИЛ., 1955. – Т. 1. – 503 с.
3. *Горьков Л.П.* О силах, действующих на малую частицу в акустическом поле в идеальной жидкости // ДАН СССР. – 1961. – Т. 140. – № 1. – С.88-91.
4. *Борискина И.П., Мартынов С.И.* Влияние гидродинамического взаимодействия на движение частиц в идеальной жидкости. // Тр. СВМО. – 2003. – Т.5. – № 1. – С.93-98.
5. *Гамбурцева Н.Г., Николаев А.В., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Солитонные свойства телесейсмических волн // ДАН СССР. – 1986. – Т. 291. – № 4. – С. 30-32.
6. *Achenbach J.D.* Wave propagation in Plastic Solids. North-Holland, Amsterdam. 1973.
7. *Бреховских Л.М., Годин О А.* Акустика слоистых сред. – М.: Наука, 1989. – 416 с.
8. *Красильников В.А., Крылов В.В.* Введение в физическую акустику. – М.: Наука, 1984. – 400 с.

9. *Кутателадзе С.С., Накоряков В.Е.* Теплообмен и волны в газожидкостных системах. – Новосибирск: Наука, 1984. – 304 с.
10. Рэлей. Теория звука. – М.: ИЛ., 1955. – Т. 1. – 503 с.
11. *Савкина А. В., Савкина А. В., Федосин С. А.* Виртуальные лаборатории в дистанционном обучении. – Образовательные технологии и общество. 2014. Т. 17. № 4. С. 507-517.
12. *Новикова С.В., Валитова Н.Л., Кремлева Э.Ш.* Особенности создания учебных объектов в интеллектуальной системе обучения математике Math-Bridge // Международный электронный журнал "Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)". 2016. Т. 19. №3 С. 451-462.
13. Проект MetaMath программы темпус: применение современных образовательных технологий для совершенствования математического образования в рамках инженерных направлений в российских университетах. Захарова И.В., Кузенков О.А., Солдатенко И.С. Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2014. № 10. С. 159-171.

01.01.06

В.В. Дружинин, М.И. Конькова

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

ВОЗВЕДЕНИЕ СУММЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОГРЕССИИ В НАТУРАЛЬНУЮ СТЕПЕНЬ

Получены общие формулы возведения сумм геометрических прогрессий в произвольную натуральную степень. Рассмотрены свойства таких сумм и их приложения.

Ключевые слова: *сумма членов геометрической прогрессии, биномиальный коэффициент, полиномиальная теорема.*

Конечная сумма членов геометрической прогрессии (в первой степени) определяется формулой

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

Возникает вопрос, как выглядит коэффициенты c_k степенной суммы, если мы возведем $G(n;a;1)$ в целую положительную степень t

$$G(a;n;t) \equiv \left(\sum_{k=0}^{n} a^k\right)^t = \left(\frac{a^{n+1}-1}{a-1}\right)^t = \sum_{k=0}^{nt} c_k a^k\ ? \quad (2)$$

Если $n = 1$, то ответ известен, это бином Ньютона

$$(1+a)^t = \sum_{k=0}^{t} \binom{t}{k} a^k, \quad (3)$$

где $\binom{t}{k} \equiv C_t^k = t!/(k!\,(t-k)!)$ - биномиальные коэффициенты. Если $t = 2$, то результат также известен [1]

$$(1 + a + a^2 + \cdots + a^n)^2 = \sum_{k=0}^{n} a^{2k} + 2\sum_{k_1(<k_2)=0}^{n} a^{k_1} a^{k_2} =$$

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

Например,

$$(1 + a + a^2 + a^3)^2 = 1 + 2a + 3a^2 + 4a^3 + 3a^4 + 2a^5 + a^6. \quad (5)$$

Вид квадрата $G(n;a;2)$ легко запоминается: вначале коэффициенты в степенной сумме линейно возрастают через «1», достигают максимума равного $(n+1)$ при a^n, а потом также линейно убывают.

При более высоких степенях t современная математика предлагает пользоваться полиномиальной теоремой $[2-3]$

$$\left(\sum_{k=0}^{n} a^k\right)^t = \sum_{k=0}^{tn} c_k a^k = \sum \frac{t!}{s_0 \cdot s_1 \cdot \ldots \cdot s_n} 1^{s_0} \cdot a^{s_1} \cdot a^{2s_2} \ldots \cdot a^{ns_n}, \quad (6)$$

где используются все наборы неотрицательных целых чисел $(s_0; s_1; \ldots; s_n)$ при условии $s_0 + s_1 + \cdots + s_n = t$. Коэффициенты c_k при этом имеют такую же симметрию, как и в (3-4), т.е. они вначале возрастают, а потом симметрично убывают и их сумма $\sum_{k=0}^{nt} c_k = (n+1)^t$. При этом расчет конкретных коэффициентов в степенной сумме по (6) довольно громоздкая процедура. Мы предлагаем конкретные формулы для расчета таких коэффициентов при произвольных параметрах $G(a;n;t)$. Общая формула геометрической прогрессии -го порядка в степени t имеет вид

$$G(a;n;t) = \sum_{k=0}^{nt} c_k a^k. \quad (7)$$

Нам надо рассчитать при четном nt коэффициенты c_k при $0 \le k \le nt/2$, а при нечетном nt – при $0 \le k \le (nt-1)/2$. Характерная особенность расчета c_k состоит в том, что весь

массив коэффициентов $\{c_k\}$ делится на блоки по $(n+1)$ штук в каждом, и в каждом блоке c_k надо рассчитывать по своей формуле. Всего блоков $(d+1)$. Если nt четное и $(nt+2)$ не кратно $(2n+2)$, то $d=\left[\frac{nt+2}{2(n+1)}\right]+1$. Если кратность есть, то $d=\left[\frac{nt+2}{2(n+1)}\right]$. Тут $[x]$ дает целое число не превышающее x. При nt нечетном $d=\left[\frac{nt+1}{2(n+1)}\right]+1$ или $d=\left[\frac{nt+2}{2(n+1)}\right]$. Если $\left[\frac{k}{n+1}\right]=s$, то c_k находится в s блоке, $0\le s\le d$ и коэффициент рассчитывается по формуле

$$c_k(s,n,t)=\sum_{p=0}^{s}(-1)^p\,\alpha_p(t)\frac{[t+k-1-p(n+1)]!}{(t-1)![k-p(n+1)]!} \qquad (8)$$

Множители $\alpha_p(t)$ зависят от степени t

$$\alpha_0(t)=1;\ \alpha_1(t)=t;\ \alpha_2(t)=\frac{t(t-1)}{2};\ \alpha_3(t)=28(t-6)+\sum_{k=1}^{t-9}k(t-1-k). \qquad (9)$$

В общем случае множители $\alpha_p(t)$ находятся при использовании бинома Ньютона, коэффициенты которого известны, и бином можно также рассчитывать по нашей методике. Формула (8) получена точно методом математической индукции, проверена в численных расчетах для больного количества параметров и является новой в теории чисел. В монографиях и справочниках $[2-6]$ она нами не обнаружена.

Покажем применение формул (8-9) на следующем примере. Пусть нам надо рассчитать $G(a;4;3)$ $=(1+a+a^2+a^3+a^4)^3$. Раскрывая скобку по степеням a^k, мы получим «13» слагаемых. Коэффициенты c_k достаточно рассчитать только для первых семи слагаемых, т.к. остальные шесть повторяют первые шесть коэффициентов в обратном порядке. Каждый блок содержит $(n+1)$ – пять слагаемых. В расчете будет задействовано два блока. Коэффициенты нулевого блока $(n=4,t=3)$ по (9) равны

$$c_0=1;\ c_1=3;\ c_{2;0}=\frac{4!}{2!\,2!}=6;\ c_3=10;\ c_4=15.$$

Следующие два коэффициента входят в блок с $s=1$, и они рассчитываются по формуле с двумя блоками

$$c_k=c_k-t\frac{(k-3)!}{2!(k-5)!};\ c_5=21-3=18;\ c_6=28-9=19.$$

Таким образом,

$$G(a;4;3)=1+3a+6a^2+10a^3+15a^4+18a^5+19a^6+$$
$$+18\,a^7+15\,a^8+10\,a^9+6a^{10}+3a^{11}+a^{12}. \qquad (10)$$

Рассмотрим свойства сумм $G(a;n;t)$. Они содержат $(nt+1)$ слагаемых с возрастающими степенями a^k от нуля до nt. Коэффициенты c_k обладают зеркальным свойством $c_k=c_{nt-k}$. Если nt число четное, то при $k=nt/2$ имеем один максимальный коэффициент c_k. Если nt число нечетное, то при $k=(nt\pm1)/2$ имеем два одинаковых наибольших коэффициентов c_k.Число слагаемых до набольшего (или двух наибольших) коэффициента(ов) равно $(nt/2)$ (или $(nt-1)/2$). Сумма коэффициентов c_k равна $(n+1)^t$.

Приведем еще один пример разбивки по блокам суммы $G(a;n;t)$ для $n=5$, $t=5$. Всего блоков в этой сумме из 26-и слагаемых при $d=2$ три, причем последний блок не полный, он содержит одно слагаемое. Приведем таблицу первых 13-и коэффициентов, рассчитанных по (8-9).

Таблица коэффициентов c_k в степенной сумме $G(a;5;5)$

s	0						1						2
k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
c_k	1	5	15	35	70	126	205	305	420	540	651	735	780

Обсудим вопрос применения сумм $G(a;n;t)$. Поскольку они являются обобщением бинома Ньютона на случай более двух слагаемых в основании, то, учитывая огромной количество применений самого бинома Ньютона, потенциал применения новых сумм широк. Рассмотрим некоторые из них.

1. Вычисление несобственных интегралов вида

$$\int\left(\frac{x^{n+1}-1}{x-1}\right)^t dx=\sum_{k=0}^{nt}\frac{c_k x^{k+1}}{k+1}+C. \qquad (11)$$

2. Возникает вариант сворачивания степенной суммы по виду коэффициентов в компактный вид. Когда мы видим $(1+2a+a^2)$, то сразу же пишем $(a+1)^2$. Сейчас наши возможности расширяются. Например, $1+5a+15a^2+30a^3+45a^4+51a^5+45a^6+30a^7+15a^8+5a^9+a^{10}=(1+a+a^2)^5$.

3.Дифференцирование $G(a;n;t)$ по a дает новые аналитически рассчитываемые суммы

$$\frac{dG(a;n;t)}{da}=\sum_{k=1}^{n}kc_k a^{k-1}=t\left(\frac{a^{n+1}-1}{a-1}\right)^{t-1}\frac{(n+1)(a-1)a^n-a^{n+1}+1}{(a-1)^2}. \quad (12)$$

Например, дифференцируя (5), находим

$$1+3a+6a^2+6a^3+5a^4+3a^5=\frac{(a^4-1)(3a^4-4a^3+1)}{(a-1)^3}. \quad (13)$$

При $a=2$ с обеих сторон стоит «255».

4. Возникают случаи аналитического решения алгебраических уравнений высокой степени. Например, уравнение пятого порядка

$$3a^5+5a^4+6a^3+6a^2+3a-1359=0,$$

если посмотреть на равенство (13), имеет корень $a=3$. Могут возникнуть случаи, когда выделяется блок $G(a;n;t)$ в разных степенях. Например, дано уравнение $a^4+2a^3-3a^2-2a-12=0$, которое можно переписать как квадратное уравнение $G(a;2;2)-6G(a;2;1)-7=0$ с корнями «7» и «-1».

$G(a;2;1)=7$ дает $a^2+a-6=0$; $a_1=2$; $a_2=-3$. Второе число «-1» дает комплексные значения a.

5. Малая теорема Ферма указывает на сравнение $a^{p-1}\equiv 1(mod\ p)$, если простое число p и a взаимно просты. При $n+2=p$, $(a,p)=1$, $a^{n+1}-1=a^{p-1}-1=\alpha p$ при положительном a. Это дает такую модификацию малой теоремы Ферма: $G(a;p-2;t)\equiv 0(mod\ p^t)$, т.е. $G(a;p-2;t)$ кратно p^t. Например, $(1+a+a^2+a^3)^2$ при a = 3 равно $256\cdot 25$. Отсюда следует, что возведение геометрических прогрессий в целую степень может дать генерацию простых чисел.

Список литературы

1. *Дружинин В.В, Сироткина А.Г.* // Научно-технический вестник Поволжья, №4, с.15-17, 2016.
2. *Позняков С.Н., Рыбин С.В.* Дискретная математика. М., Академия, 2008.
3. *Корн. Г., Корн. Т.* Справочник по математике, Наука, ГРФМЛ, М., 1974.стр. 31, 135.
4. *Грэхем З., Кнут Д., Паташник О.* Конкретная математика, М., «Мир», стр. 313, 1998.
5. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. ГИФМЛ, Москва, 1962. Стр. 15-16.
6. *Сизый С.В.* Лекции по теории чисел, М. ФИЗМАТГИЗ, 2007.

01.01.06

В.В. Дружинин, И.Р. Смагин

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

СУММЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ В ДРОБНОЙ СТЕПЕНИ

Получены почти точные формулы для расчета сумм последовательных натуральных чисел в дробной степени от нуля до единицы. На основании этих формул получены новые рассчитываемые суммы. Рассмотрены приложения полученных результатов.

Ключевые слова: *сумма членов арифметической прогрессии, суммы одинаковых дробных степеней натуральных чисел.*

Вопрос о конечных числовых суммах является одним из важнейших вопросов теории чисел. В справочниках и монографиях по теории чисел приведены формулы для расчета таких сумм в основном для целых и обратных значений натуральных чисел. Наибольший прогресс получен в виде точной формулы для сумм обобщенных арифметических прогрессий с целыми неотрицательными степенями t, произвольными скважностью m и начальным числом a в работах Дружинина [1, 2]. Эти статьи развивают и обобщают известные формулы Якоба Бернулли для случая $m = a = 1$

[3,4]. Общая рекуррентная формула для расчета таких сумм в работе [2] имеет вид

$$S(n;m;t+1;a) = \sum_{k=0}^{n-1}(a+km)^{t+1} = a^{t+1} + (a+m)^{t+1} + \cdots + (a+(n-1)m)^{t+1} =$$
$$= a^{t+1}\left\{\frac{m}{a}(t+1)\int_0^n S\left(\zeta;\frac{m}{a};t;1\right)d\zeta\right\} + a^{t+1}n\left\{1-\frac{m}{a}(t+1)\int_0^1 S\left(\zeta;\frac{m}{a};t;1\right)d\zeta\right\}. \quad (1)$$

Например, первые три суммы записываются так

$$S(n;m;0;a) = n;\ \ S(n;m;1;a) = \frac{mn^2}{2} + \frac{(2a-m)n}{2};$$
$$S(n;m;2;a) = \frac{m^2n^3}{3} + m(2a-m)\frac{n^2}{2} + \frac{(6a^2-6am+m^2)}{6}n. \quad (2)$$

Функция $S(n;m;t;a)$ при произвольном непрерывном t немного напоминает правую ветвь знаменитой гамма-функции Эйлера: это возрастающая функция, выпуклая вниз. При целых значениях t она дает натуральное число и имеет рекуррентную зависимость, при дробных t – это иррациональное число. Вопрос о расчете таких сумм при дробном t ставился в работе [5], где были получены приближенные формулы расчета с довольно большой погрешностью. Заметим, что формул для расчета таких сумм нет в известных справочниках [6,7]. В данной работе получена расчетная формула для таких сумм при $0 \le t \le 1, m = a = 1$ с очень малой погрешностью.

$$S_1(n;1;t;1) = \sum_{k=1}^{n} k^t = \frac{n^t(n+t)}{t+1} + \frac{(1-t)(n-1)}{2(t+1)n}[(n-1)^t - 1]. \quad (3)$$

Заметим, что первое слагаемое дает асимптотическое значение этой суммы при n, стремящемся к бесконечности, через интеграл $\int_0^n \xi^t d\xi$, как это и должно быть. Разность между точным $S(n;1;t;1)$ и расчётным значением $S_1(n;1;t;1)$, т.е. абсолютная погрешность, число $\varepsilon = S - S_1$, при $1 \le n \le 10^7$ невелико и не превышает $|\varepsilon| < 0.06$. Это дало нам основание для использования термина «почти точное расчетное значение». При этом формула (3) удовлетворяет трем граничным условиям: $S_1(1;1;t;1) = 1;\ S_1(n;1;0;1) = n;\ S_1(n;1;1;1) = n(n+1)/2$ Сопоставление точных и расчетных значений приведено в таблице 1.

Анализ данных табл. 1 позволяет сделать вывод, что в данной числовой сумме проявляется знаменитое правило Эйлера-Маскерони о пределе частичной суммы гармонического ряда

$$\lim_{n\to\infty}\left[\left(\sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{n}\right)-\ln n\right]=C=0.577215\ldots \quad (4)$$

Таблица 1 – Значения точных S и расчетных S_1 по (3) величин сумм, $\varepsilon = S - S_1$.

t	n	2	10	100	1000	10^4	10^6
0.50	S	2.4142	22.4683	671.4629	21097.4559	666716.4592	666667166.4588
	S_1	2.3570	22.4359	671.4767	21097.4881	666716.4975	666667166.4998
	ε	0.0572	0.0323	-0.0138	-0.0322	-0.0383	-0.0409
0.10	ε	0.0257	0.0084	-0.0050	-0.0076	-0.0081	-0.0081
0.25	ε	0.0486	0.0191	-0.0109	-0.0185	-0.0201	-0.0204
0.75	ε	0.0390	0.0334	-0.0038	-0.0290	-0.0435	-0.0562
0.90	ε	0.0179	0.0200	0.0036	-0.0123	-0.0251	-0.0444

Мы видим, что с ростом n погрешность ε стремится к некоторому пределу. У нас есть расчеты погрешностей вплоть до $n = 10^9$.Тем не менее, требуются более точный анализ для выявления предельных значений ε.

Рассмотрим некоторые приложения полученной формулы (3). Сумму (3) можно дифференцировать и интегрировать по t, что дает новые почти точно считаемые суммы. Например,

$$\sum_{k=2}^{n} k^t lnk = \frac{\partial S_1}{\partial t} + \varepsilon, \quad (5)$$

которое выполняется во всем диапазоне табл. 1 с точностью $|\varepsilon| < 0.9$. Например, при $t = 0.5$, $n = 50$ точное значение суммы равно 779.165, расчетное 778.731, $\varepsilon = 0.434$. Формула (3) позволяет также найти сумму какого-либо выделенного набора указанных чисел. Например,

$$\sqrt{11}+\sqrt{12}+\sqrt{13}+\cdots+\sqrt{20}=39.205.$$

$S_1(n;1;t;1)$ дает погрешность при замене площади интеграла $\int_0^n \xi^t d\xi$ площадью гистограммы в численных методах. В случае дискретного пространства, когда нельзя применять интегрирование, $S_1(n;1;t;1)$ позволит произвести быстрое суммирование.

Подход, применяемый нами в [2], позволяет получить сумму дробных степеней с произвольной скважностью m. Например, при $m = 2$ и $0 \le t \le 1$

$$S_1(n;2;t;1) = 1 + 3^t + 5^t + \cdots + (2n-1)^t =$$
$$= \sum_{k=1}^{n}(2k-1)^t = \frac{2^t n^{t+1}}{t+1} + \left(1 - sign(n-1)\right)\frac{t+1-2^t}{t+1}. \quad (6)$$

Эта формула также удовлетворяет трем основным граничным условиям: $S_1(1;2;t;1) = 1$; $S_1(n;2;0;1) = n$; $S_1(n;2;1;1) = n^2$. Абсолютная погрешность формулы (6) $|\varepsilon| < 0.1$ во всем диапазоне, отмеченном в табл. 1. Например, точное значение

$$1+\sqrt{3}+\sqrt{5}+\sqrt{7}+\sqrt{9} = 10.6139.$$

Формула (6) дает 10.5409; $\varepsilon = 0.0714$.

Две формулы (3) и (6) позволяют рассчитать сумму знакочередующихся натуральных чисел в дробных степенях

$$T(2n;1;t;1) = \sum_{k=1}^{2n}(-1)^t k^t = -1 + 2^t - 3^t + 4^t - \cdots + (2n)^t. \quad (7)$$

Расчетная формула таких сумм при $0 \le t \le 1$ имеет вид

$$T_1(2n;1;t;1) = S_1(2n;1;t;1) - 2S_1(n;2;t;1). \quad (8)$$

Абсолютная погрешность $|\varepsilon| = |T - T_1| < 0.9$. Например, точное значение

$$T(10;1;0.5;1) = -1+\sqrt{2}-\sqrt{3}+\sqrt{4}-\cdots-\sqrt{9}+\sqrt{10} = 1.2405.$$

Расчетное значение $T_1(10;1;0.5;1) = 1.3541$.

Одним из возможных применений формулы (3) может явиться расчет кратных сумм чисел в дробных степенях $0 \le t \le 1$. Действительно, возводя $S_1(n;1;t;1)$ в квадрат при $t \le 0.5$ и вычитая $S_1(n;1;2t;1)$, мы получаем

$$S_1^2(n;1;t;1) - S_1(n;1;2t;1) = 2\sum_{k_1(<k_2)=1}^{n} k_1^t k_2^t = 2P_1. \quad (9)$$

Например, имеем кратную сумму

$$P = 2^{0.25} + 3^{0.25} + 2^{0.25} \cdot 3^{0.25} = 4.0704.$$

При этом $S_1(3;1;0.25;1) = 3.4596$; $S_1(3;1;0.5;1) = 4.0875$, что дает для $P_1 = 3.9407, \varepsilon = 0.13$.

В практических задачах встречается расчет площади суммы примыкающих друг к другу прямоугольных треугольников, когда один из катетов всегда равен «1», второй катет равен $\sqrt{n}$, а гипотенуза равна $\sqrt{n+1}$. Эта гипотенуза является вторым катетом примыкающего треугольника с гипотенузой $\sqrt{n+2}$. Следующий примыкающий треугольник имеет гипотенузу $\sqrt{n+3}$ и так далее (рис 1).

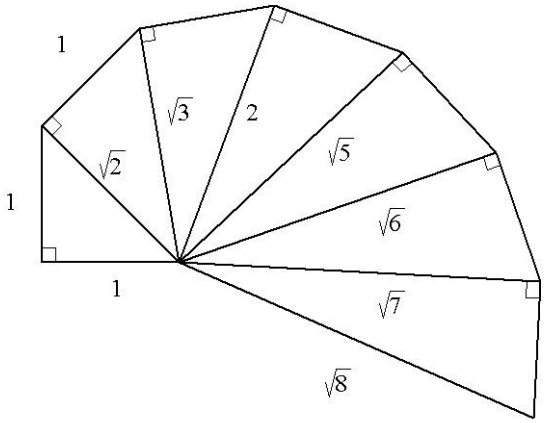


Рис. 1– Пример примыкающих друг к другу прямоугольных треугольников

Ясно, что сумма площадей n таких треугольников равна $S(n;1;0.5;1)/2$.

Авторы благодарят профессора Шевяхова Н.С. за интерес к работе и ценные замечания.

Список литературы

1. *Дружинин В.В* .// Научно-технический вестник Поволжья, № 5, с.18-20, 2016.
2. *Druzhinin V.V., Strahov A. V.* Austrian Journal of Technical and Natural Science, №11-12, p.17-20, 2016.
3. *Прасолов В.В.* Многочлены. МЦИМО, 2003 г., стр. 131.
4. *Грэхем З., Кнут Д., Паташник О.* Конкретная математика, М., «Мир», стр. 313, 1998 .
5. *Дружинин В.В., Сироткина А.Г.*// НТВП, №4, с.15-16, 2016.
6. *Градштейн И.С., Рыжик И. М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. ГИМФЛ, Москва, 1962. стр. 15-16.
7. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике, наука, ГИМФЛ, М., 1974 г., стр. 31,135.

01.01.02

Т.Н. Титова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
кафедра прикладной математики,
Москва, tat_titova@mail.ru

О НОРМАЛИЗАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ ГАМИЛЬТОНОВЫХ СИСТЕМ

В работе предложен метод приведения матрицы канонической системы дифференциальных уравнений с квадратичным гамильтонианом к нормальному виду. Получена система матричных уравнений для нахождения производящей функции канонического преобразования. Рассмотрены способы решения системы в различных случаях. При этом гамильтонова матрица может иметь кратные, в том числе и нулевые, собственные значения.

Ключевые слова: *каноническая система, квадратичный гамильтониан, гамильтонова матрица, собственное значение, нормальный вид.*

Рассмотрим квадратичный гамильтониан $H = 1/2\ w^T\Omega w$, где w – $2n$-мерный вектор-столбец, Ω - симметрическая квадратная матрица порядка $2n$. Тогда каноническая система дифференциальных уравнений с этим гамильтонианом имеет вид:

$$\frac{dw}{dt} = J\Omega w,\ \ J = \begin{pmatrix} O_n & E_n \\ -E_n & O_n \end{pmatrix},$$

где E_n, O_n – соответственно единичная и нулевая матрицы порядка n. Мы хотим привести матрицу этой системы каноническим преобразованием к следующему нормальному виду:

$$I = \begin{pmatrix} U & O_n \\ O_n & -U^T \end{pmatrix}, \qquad (1)$$

где U – жорданова квадратная матрица порядка n.

В статье [1] предложен алгоритм приведения матрицы к нормальному виду в случае кратных ненулевых собственных значений. В работе [2] доказана возможность приведения невырожденной гамильтоновой матрицы к некоторому другому нормальному виду с помощью действительного канонического преобразования, но не дан алгоритм нахождения преобразующей матрицы. В работах [3, 4] рассматриваются способы нахождения нормального вида гамильтоновой матрицы. В настоящей работе предлагается метод нахождения канонического преобразования, приводящего гамильтонову матрицу с любыми собственными значениями к нормальному виду.

Рассмотрим квадратичный гамильтониан:

$$H = 1/2\ w^T\Omega w = 1/2\ x^TAx + x^TBy + 1/2\ y^TCy, \qquad (2)$$

где x, y – n-мерные векторы-столбцы сопряженных канонических переменных, A, B, C – квадратные действительные матрицы порядка n, A и C – симметрические, $w = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$. Матрица канонической системы называется гамильтоновой и имеет вид:

$$V = J\Omega = \begin{pmatrix} B^T & C \\ -A & -B \end{pmatrix}. \qquad (3)$$

Пусть q, p – n-мерные векторы-столбцы новых канонических переменных. Каноническое преобразование совершим при помощи производящей функции:

$$S(x, p) = ½\ p^TKp + p^TLx + ½\ x^TMx, \qquad (4)$$

где K, L, M – квадратные матрицы порядка n, K и M - симметрические, $\det L \neq 0$. Новые и старые переменные связаны соотношениями: $\frac{\partial S}{\partial p} = q,\ \frac{\partial S}{\partial x} = y.$ В результате получаем систему уравнений:

$$Kp + Lx = q, \quad L^T p + Mx = y.$$

Из этой системы находим выражение старых переменных через новые:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L^{-1} & L^{-1}K \\ ML^{-1} & L^T - ML^{-1}K \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q \\ p \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} q \\ p \end{pmatrix} \tag{5}$$

Будем искать матрицу преобразования T в виде (5) такую, что $T^{-1}VT = I$. Из равенств (3) и (5) следует, что

$$VT = \begin{pmatrix} B^T & C \\ -A & -B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L^{-1} & L^{-1}K \\ ML^{-1} & L^T - ML^{-1}K \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} B^T L^{-1} + CML^{-1} & -B^T L^{-1}K + CL^T - CML^{-1}K \\ -AL^{-1} - BML^{-1} & AL^{-1}K - BL^T + BML^{-1}K \end{pmatrix}$$

Аналогично, из равенств (1) и (5) получаем:

$$TI = \begin{pmatrix} L^{-1} & L^{-1}K \\ ML^{-1} & L^T - ML^{-1}K \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U & O_n \\ O_n & -U^T \end{pmatrix} == \begin{pmatrix} L^{-1}U & L^{-1}KU^T \\ ML^{-1}U & -L^T U^T + ML^{-1}KU^T \end{pmatrix}$$

Приравнивая между собой две полученные блочные матрицы, приходим к следующей системе матричных уравнений:

$$\begin{aligned} &B^T L^{-1} + CML^{-1} = L^{-1}U, \; -AL^{-1} - BML^{-1} = ML^{-1}U, \\ &-B^T L^{-1}K + CL^T - CML^{-1}K = L^{-1}KU^T, \\ &AL^{-1}K - BL^T + BML^{-1}K = -L^T U^T + ML^{-1}KU^T \end{aligned} \tag{6}$$

Четвертое уравнение полученной системы является следствием первых трех. Действительно, умножим третье уравнение системы слева на матрицу M, получим уравнение:

$$-(MB^T + MCM)L^{-1}K + MCL^T = ML^{-1}KU^T \tag{7}$$

Из первых двух уравнений системы следует, что

$$MB^T + MCM = -A - BM, \; MCL^T = L^T U^T - BL^T \tag{8}$$

Сделав в уравнении (7) замену (8), получим четвертое уравнение системы (6). Из уравнений (8) также следует, что система (6) эквивалентна системе:

$$MCM + MB^T + BM + A = O,$$

$$L(B^T + CM)L^{-1} = U,$$

$$KU^T + L(B^T + CM)L^{-1}K = LCL^T$$

Упростив последнее уравнение с помощью второго, окончательно получим систему матричных уравнений:

$$\begin{aligned} &MCM + MB^T + BM + A = O, \\ &L(B^T + CM)L^{-1} = U, \\ &KU^T + UK = LCL^T \end{aligned} \tag{9}$$

В системе (9) матрицы A и C – симметрические, неизвестные матрицы M и K ищем симметрическими, матрицу L ищем невырожденную, матрицу U – в жордановой форме. Из системы последовательно находим неизвестные матрицы: из первого уравнения – матрица M, из второго уравнения – матрицы L и U, из третьего уравнения – матрица K.

В результате мы приведем гамильтонову матрицу к нормальному виду (1), а соответствующий гамильтониан имеет вид:

$$H(q, p) = p^T Uq \tag{10}$$

Предложение . Пусть матрица L канонического преобразования, задаваемого производящей функцией (4), является невырожденной. Каноническое преобразование приводит квадратичный гамильтониан (2) к нормальному виду (10) тогда и только тогда, когда матрицы K, L, M производящей функции удовлетворяют системе (9).

Рассмотрим первое уравнение системы (9), называемое матричным уравнением Риккати [5, 6]:

$$MCM + MB^T + BM + A = O \qquad (11)$$

Рассмотрим методы решения уравнения (11) в различных частных случаях.

Случай 1. Пусть $C = E$, $B = O$. Тогда уравнение примет следующий вид:

$$M^2 + A = O \qquad (12)$$

Задача свелась к нахождению симметрического корня из симметрической матрицы. Матрица A, как симметрическая, ортогонально подобна диагональной матрице L_A с действительными собственными значениями на главной диагонали:

$$A = F^T L_A F;\ L_A = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \lambda_n \end{pmatrix};$$

где F – ортогональная матрица, λ_i – собственные значения матрицы A. Пусть Λ_A – диагональная матрица такая, что $\Lambda_A^2 = -L_A$:

$$\Lambda_A = \begin{pmatrix} \pm\sqrt{-\lambda_1} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \pm\sqrt{-\lambda_n} \end{pmatrix}$$

Таким образом, диагональные элементы полученной матрицы действительные или чисто мнимые. Тогда

$$M = F^T \Lambda_A F \qquad (13)$$

является симметрическим решением уравнения (12).

Случай 2. Пусть $B = O$, C - симметрическая положительно определенная матрица, A – симметрическая матрица. Тогда уравнение (11) примет вид:

$$MCM + A = O \qquad (14)$$

Этот случай сводится к предыдущему. Действительно, представим матрицу C в виде: $C = QQ^T$. Сделав замену $M_1 = Q^T MQ$, $A_1 = Q^T AQ$, получим уравнение вида (12):

$$M_1^2 + A_1 = O;\ A_1^T = A_1 \qquad (15)$$

Найдя симметрическое решение M_1 уравнения (15), получим симметрическое решение уравнения (14):

$$M = (Q^T)^{-1} M_1 Q^{-1} \qquad (16)$$

Случай 3. Пусть $C = E$, $B = B^T$. Тогда уравнение (11) примет вид:

$$M^2 + MB + BM + A = O \qquad (17)$$

Сделав замену $M = N - B$, $D = B^2 - A$, получим уравнение $N^2 = D$. Так как D – симметрическая матрица, мы пришли к уравнению вида (12). Пусть $D = F^T L_D F;\ \Lambda_D^2 = L_D$, где F – ортогональная матрица, L_D и Λ_D – диагональные. Тогда решение уравнения (17) имеет вид:

$$M = F^T \Lambda_D F - B \qquad (18)$$

Случай 4. Рассмотрим теперь уравнение:

$$M^2 + MB^T + BM + A = O \qquad (19)$$

Сделав замену $M = N - B$, $M^T = N^T - B^T$, $D = BB^T - A$, получим уравнение

$$NN^T = D. \qquad (20)$$

Матрица D, как симметрическая, ортогонально подобна диагональной матрице L_D, то есть $D = F^T L_D F$, где F - ортогональная матрица. Пусть Λ_D – диагональная матрица такая, что $\Lambda_D^2 = L_D$. Тогда решение уравнения (20) можно записать в виде:

$$N = F^T \Lambda_D G, \qquad (21)$$

где G- произвольная ортогональная матрица. Из условия симметричности решения уравнения (19) получаем, что $N - B = N^T - B^T$. Последнее уравнение с помощью замены (21) приведем к следующему виду:

$$F^T \Lambda_D G - G^T \Lambda_D F = B - B^T$$

После замены $X = GF^T$, $P = F(B - B^T)F^T$ окончательно получим следующее уравнение:

$$\Lambda_D X - X^T \Lambda_D = P, \qquad (22)$$

где P – кососимметрическая матрица. Задача свелась к нахождению ортогональной, вообще говоря, комплексной матрицы X, удовлетворяющей уравнению (22). Пусть $X = (x_{ij})$, $P = (p_{ij})$, $\Lambda_D = \mathrm{diag}\{\lambda_1,\ldots, \lambda_n\}$. Тогда уравнение (22) можно записать в виде системы ½ $n(n - 1)$ линейных уравнений:

$$\lambda_i x_{ij} - \lambda_j x_{ji} = p_{ij},\ 1 \le i < j \le n \qquad (23)$$

В случаях $n = 2, 3$ задача решается при помощи представления искомой матрицы X в тригонометрической форме. Решение уравнения (19) получаем в виде:

$$M = F^T \Lambda_D X F - B \qquad (24)$$

Случай 5. Рассмотрим теперь уравнение (11) с симметрической положительно определенной матрицей C, поэтому ее можно представить в виде $C = QQ^T$. После замены

$$M_1 = Q^T M Q,\ \mathrm{B}_1 = Q^T B (Q^T)^{-1},\ A_1 = Q^T A Q$$

получим уравнение вида (19). Найдя симметрическое решение M_1 этого уравнения, получим симметрическое решение уравнения (11):

$$M = (Q^T)^{-1} M_1 Q^{-1} \qquad (25)$$

Рассмотрим второе уравнение системы (9). В этом уравнении матрица L приводит матрицу $B^T + CM$ к жордановой нормальной форме U. Поэтому уравнение всегда разрешимо.

Рассмотрим последнее третье уравнение системы (9). Неизвестную матрицу K ищем симметрической. Запишем это уравнение в виде системы линейных уравнений относительно элементов. Пусть

$$U = \begin{pmatrix} \nu_1 & 0 & \cdots & 0 \\ \varepsilon_1 & \nu_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \varepsilon_{n-1} & \nu_n \end{pmatrix},\ \varepsilon_i = 0,\ 1,\ i = \overline{1, n-1};$$

$$LCL^T = (c_{ij}),\ K = (k_{ij}).$$

Получим следующую систему ½ $n(n+1)$ уравнений:

$$(\nu_i + \nu_j)k_{ij} + \varepsilon_{i-1}k_{i-1,j} + \varepsilon_{j-1}k_{i,j-1} = c_{ij},\ k_{ij} = k_{ji},\ \varepsilon_0 = k_{0j} = k_{i0} = 0,$$
$$1 \le i \le j \le n.$$

Определитель системы равен $\prod_{1 \le i \le j \le n} (\nu_i + \nu_j)$. Если определитель не равен 0, система имеет единственное решение. Система просто решается, так как неизвестные k_{ij}, начиная с k_{11}, находятся последовательно.

Найдя матрицы M, L и K преобразующей функции (4), каноническое преобразование получим в виде (5), а новый гамильтониан в виде (10).

Пример. Рассмотрим гамильтониан (2) с матрицами $A = \begin{pmatrix} 1 & 8 \\ 8 & 4 \end{pmatrix},\ B = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix},\ C = E$

Найдем матрицы:

$$D = B^2 - A = \begin{pmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 9 \end{pmatrix},\ \Lambda_D = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 3 \end{pmatrix}$$

Получим решение системы (9):

$$M = \Lambda_D - B = \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ -2 & 0 \end{pmatrix},\ L = E,\ U = \Lambda_D,\ K = \begin{pmatrix} 1/4 & 0 \\ 0 & 1/6 \end{pmatrix}$$

Преобразующая функция найденного канонического преобразования имеет вид (4):

$$S(x, p) = 1/2 p^T K p + p^T L x + 1/2 x^T M x = 1/8 p_1^2 + 1/12 \mathrm{p}_2^2 +$$
$$+ p_1 x_1 + p_2 x_2 + 1/2 x_1^2 - 2 x_1 x_2$$

В результате новый гамильтониан имеет вид (10):

$$H(q,p) = p^T U q = 2p_1 q_1 + 3p_2 q_2$$

Список литературы

1. *Roels J., Louterman G.* Normalisation des systèmes linéaires canoniques et application au problème restreint des trois corps // Celestial Mechanics. - 1970. - V. 3, № 1. - P. 129–135.
2. *Laub A.J., Meyer K.* Canonical Forms for Symplectic and Hamiltonian Matrices // Celestial Mechanics. - 1974. - V. 9, № 2. - P. 213-223.
3. *Титова Т.Н.* Свойства гамильтоновых матриц // Естественные и технические науки. - 2015. - № 6(84). - С. 65-66.
4. *Брюно А.Д., Петров А.Г.* О вычислении гамильтоновой нормальной формы //Доклады Академии Наук. - 2006. - Т. 410, № 4. - С. 474 – 478.
5. *Potter J.E.* Matrix quadratic solutions // SIAM Journal of Applied Mathematics. - 1966. - V. 14, № 3. - P. 496-499.
6. *Martensson K.* On the matrix Riccaty equation // Information Science. - 1971. - V. 3, № 1. - P. 17-23.

01.01.01

Е.Н. Шубабко

Брянский государственный университет им. академика И.Г. Петровского,
филиал в г. Новозыбкове, кафедра математики, физики и информатики,
Новозыбков, shubabko@yandex.ru

ФАКТОРИЗАЦИЯ ОДНОГО КЛАССА ЦЕЛЫХ ФУНКЦИЙ БЕСКОНЕЧНОГО ПОРЯДКА[1]

В работе представлены результаты исследования класса целых функций бесконечного порядка, рост характеристики Неванлинны которых близок к экспоненциальному. Получены условия на корневые множества и факторизационное представление этого класса.

Ключевые слова: *целая функция, характеристика Неванлинны, весовые классы целых функции, корневые множества, факторизация.*

В теории целых функций комплексного переменного одним из важнейших направлений остается изучение задач, связанных с характеристикой корневых множеств и построением факторизационных представлений различных классов функций. Классические теоремы Адамара и Вейерштрасса устанавливают факторизацию целых функции конечного порядка [1]. Вопрос о существовании подобных представлений для целых функций, допускающих более сильный рост в бесконечности, по-прежнему представляет интерес.

Пусть **H(C)** - множество всех целых функций на комплексной плоскости **C**. Обозначим N_ω - класс целых функций, для которых

$$\int_0^{+\infty} T(r, f)e^{-\omega(r)}dr < +\infty \tag{1}$$

где $T(r, f) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} \ln^+ \left| f(re^{i\varphi}) \right| d\varphi$ - характеристика Неванлинны (см. [2]), а функция $\omega(r)$ удовлетворяет условиям: $\omega(r)>0$ при $r\geq 0$, $\omega(r)\uparrow+\infty$ при $r\to+\infty$ и $\lim\limits_{r\to+\infty}\frac{r\omega'(r)}{\omega(r)} = \alpha > 0$ (или $0 < \alpha_\omega \leq \frac{r\omega'(r)}{\omega(r)} \leq \beta_\omega,\ r > 0$).

В случае, когда $\omega(r)$ имеет вид $\omega(r)=\sigma r^\alpha-\beta\ln r$ при $\alpha \geq 1, \sigma > 0, \beta \in \mathrm{R}$, описание корневых множеств данного класса и факторизационное представление получено в статье автора [3].

Рассмотрим общий случай. Обозначим $n(r)$ – количество нулей функции f в круге $|z|<r$ с учетом их кратности. Тогда из (1) немедленно следует

Лемма 1. Если $f(z) \in N_\omega$ $(f(z) \not\equiv 0)$, тогда последовательности нулей функции f удовлетворяет условию

$$\int_0^{+\infty} n(r)e^{-\omega(r)}\frac{dr}{\omega(r)} < +\infty \tag{2}$$

Доказательство достаточного условия опирается на следующие леммы:

Лемма 2. Если для последовательности комплексных чисел $\{a_k\}_1^{+\infty}$ $(|a_k| > 0, |a_k| \uparrow +\infty)$ выполнено условие (2), то

1) $n(r) \leq ce^{\omega(r)}\frac{\omega^2(r)}{r},\ r > 0$;

---

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (задание №1.1704.2014К)

2) сходится ряд $\sum_{k=1}^{+\infty}\frac{\exp(-\omega(|a_k|))}{|a_k|^{\delta}\ \omega(|a_k|)}$ при $\forall\delta>\alpha-1$ (или $\delta>\alpha_\omega-1$).

Лемма 3. Если для последовательности комплексных чисел $\{a_k\}_1^{+\infty}$ $(|a_k|>0, |a_k|\uparrow+\infty)$ сходится ряд $\sum_{k=1}^{+\infty}\frac{\exp(-\omega(|a_k|))}{|a_k|^{\delta}\ \omega(|a_k|)}$, то бесконечное произведение типа Вейерштрасса

$$W_\omega(z)=\prod_{k=1}^{+\infty}\left(1-\frac{z}{a_k}\right)\exp\left(\sum_{j=1}^{p_k}\frac{1}{j}\left(\frac{z}{a_k}\right)^j\right) \tag{3}$$

где $p_k=[\omega(|a_k|)+\delta]$, сходится абсолютно и равномерно в каждом круге $|z|\le r$ и обращается в ноль только в точках последовательности $\{a_k\}_1^{+\infty}$.

Положим $\omega^*(r)=\sigma r^\alpha$, $\sigma>0$, $\alpha>0$. Пусть далее функция $\omega(r)$ удовлетворяет условиям: $\omega(r)>0$ при $r\ge0$, $\omega(r)\uparrow+\infty$ при $r\to+\infty$, $\lim\limits_{r\to+\infty}\frac{r\omega'(r)}{\omega(r)}=\alpha$ и дополнительно $0<\omega(r)-\omega^*(r)\le\beta\ ln(r)$, $r>r_0$, $\beta=const>0$.

Теорема 1. *Если для последовательности комплексных чисел* $\{a_k\}_1^{+\infty}$ $(|a_k|>0, |a_k|\uparrow+\infty)$ *выполнено условие*

$$n(r)\le c\frac{e^{\omega(r)}}{r^\lambda\ln^2 r},\ \lambda>\alpha+1,\ r>0 \tag{4}$$

то бесконечное произведение

$$W(z)=\prod_{k=1}^{+\infty}\left(1-\frac{z}{a_k}\right)\exp\left(\sum_{j=1}^{p_k-1}\frac{1}{j}\left(\frac{z}{a_k}\right)^j\right) \tag{5}$$

где $p_k=[\gamma|a_k|^\alpha+\delta]$ *и* $\gamma=\sigma\alpha$, *принадлежит классу* N_ω *и обращается в ноль только в точках последовательности* $\{a_k\}_1^{+\infty}$

Доказательство теоремы 1. Пусть задана произвольная последовательность комплексных чисел $\{a_k\}_1^{+\infty}$ $(|a_k|>0, |a_k|\uparrow+\infty)$, удовлетворяющая условию (4). Не уменьшая общности, будем считать, что в круге $|z|\le R_0$ нет точек последовательности $\{a_k\}_1^{+\infty}$, где R_0 - некоторое фиксированное на протяжении доказательства положительное число, удовлетворяющее $\gamma R_0^{\ \alpha}+\delta>0$. Очевидно при этом будем иметь $n(R_0)=0$.

Используя известную оценку элементарных множителей произведения Вейерштрасса (см. [4], с. 51) и методику работы [3], получим оценку характеристики Неванлинны произведения (5)

$$T(r,W)\le\tilde{n}r^{\delta-1}\int_{R_0}^{+\infty}n(t)\exp\left(\gamma t^\alpha\ln\frac{r}{t}\right)t^{\alpha-\delta}\ln^2 t\,dt \tag{6}$$

Оценим интеграл $M_W=\int_0^{+\infty}T(r,W)\exp(-\omega(r))dr$. Применяя (6), будем иметь

$$M_W\le\tilde{n}\int_0^{+\infty}\exp(-\omega(r))r^{\delta-1}\int_{R_0}^{+\infty}n(t)\exp\left(\gamma t^\alpha\ln\frac{r}{t}\right)t^{\alpha-\delta}\ln^2 t\,dt\,dr=$$

$$=\tilde{n}\int_0^{+\infty}\exp(-\omega(r))r^{\delta-1}\int_{R_0}^{r}n(t)\exp\left(\gamma t^\alpha\ln\frac{r}{t}\right)t^{\alpha-\delta}\ln^2 t\,dt\,dr+$$

$$+\tilde{n}\int_0^{+\infty}\exp(-\omega(r))r^{\delta-1}\int_r^{+\infty}n(t)\exp\left(\gamma t^{\alpha}\ln\frac{r}{t}\right)t^{\alpha-\delta}\ln^2 t\,dt\,dr \overset{def}{=} c(I'+I''). \qquad (7)$$

Рассмотрим каждый из интегралов. Изменим порядок интегрирования в I'. Учитывая, что $n(t)\equiv 0$ при $t\in[0,R_0]$, будем иметь

$$I'=\int_1^{+\infty}n(t)\exp(-\gamma t^{\alpha}\ln t)t^{\alpha-\delta}\ln^2 t\int_t^{+\infty}\exp(-\omega(r)+\gamma t^{\alpha}\ln r)r^{\delta-1}dr\,dt=$$

$$=\int_1^{+\infty}n(t)\exp(-\gamma t^{\alpha}\ln t)t^{\alpha-\delta}\ln^2 t\int_t^{+\infty}\exp(-\omega(r)+(\gamma t^{\alpha}+\delta+\varepsilon)\ln r)r^{-1-\varepsilon}dr\,dt.$$

Не трудно убедиться, что показатель экспоненты убывает на промежутке интегрирования при $\gamma\le\sigma\alpha$ (в случае $\gamma=\sigma\alpha$ учтем, что $\omega(r)>\sigma r^{\alpha}$), таким образом, получаем

$$I'\le\int_1^{+\infty}n(t)\exp(-\gamma t^{\alpha}\ln t)t^{\alpha-\delta}\ln^2 t\,\exp(-\omega(t)+(\gamma t^{\alpha}+\delta+\varepsilon)\ln t)\int_t^{+\infty}r^{-1-\varepsilon}dr\,dt\le$$

$$\le c\int_1^{+\infty}n(t)\exp(-\omega(t))t^{\alpha}\ln^2 t.$$

Последний интеграл сходится в силу условия (4).

Оценим теперь

$$I''=\int_0^{+\infty}\exp(-\omega(r))r^{\delta-1}\int_r^{+\infty}n(t)\exp\left(\gamma t^{\alpha}\ln\frac{r}{t}\right)t^{\alpha-\delta}\ln^2 t\,dt\,dr.$$

Применим к $n(t)$ оценку (4). Получим

$$I''\le\tilde{n}\int_{R_0}^{+\infty}\exp(-\omega(r))r^{\delta-1}\int_r^{+\infty}\frac{\exp(\omega(t))}{t^{\lambda}\ln^2 t}\exp\left(\gamma t^{\alpha}\ln\frac{r}{t}\right)t^{\alpha-\delta}\ln^2 t\,dt\,dr\le$$

$$\le\tilde{n}_1\int_{R_0}^{+\infty}\exp(-\omega(r))r^{\delta-1}\int_r^{+\infty}t^{-\lambda+\alpha-\delta}\exp\left(\omega(t)+\gamma t^{\alpha}\ln\frac{r}{t}\right)dt\,dr \qquad (8)$$

Не трудно убедиться, что показатель экспоненты убывает на промежутке интегрирования при $\gamma\ge\sigma\alpha$. Следовательно, при $\lambda>\alpha+1$

$$I''\le\tilde{n}_2\int_{R_0}^{+\infty}r^{\delta-1}\int_r^{+\infty}t^{-\lambda+\alpha-\delta}dt\,dr=\tilde{n}_3\int_{R_0}^{+\infty}r^{\alpha-\lambda}dr<+\infty.$$

Окончательно, учитывая оценки интегралов I'', I', получаем, что

$$M_W=\int_0^{+\infty}T(r,W)\exp(-\omega(r))dr<+\infty$$

при $\gamma=\alpha\sigma$ и $0<\omega(r)-\sigma r^{\alpha}\le\beta\ln(r)$ $(r>r_0,\ \beta=const>0)$, и при выполнении этих условий функция $W(z)$ принадлежит классу N_{ω}. Теорема доказана.

Из теоремы 1 очевидным образом можно получить факторизационное представление функций класса N_{ω}.

Теорема 2. *Пусть* $\sigma>0$, $\alpha>0$, $\beta>0$, *функция* $\omega(r)$ *удовлетворяет условиям:* $\omega(r)\uparrow+\infty$ *при* $r\to+\infty$, $\lim\limits_{r\to+\infty}\frac{r\omega'(r)}{\omega(r)}=\alpha$ *и* $0<\omega(r)-\sigma r^{\alpha}\le\beta\ln(r)$, $r>r_0$. *Если для последовательности комплексных чисел* $\{a_k\}_1^{+\infty}$ $(|a_k|>0, |a_k|\uparrow+\infty)$ *выполнено условие (4),* $W(z)$ *- бесконечное произведение (5), с параметрами* $\gamma=\alpha\sigma$ *и* $\delta\in R$, $h(z)$ *– целая функция, удовлетворяющая условию* $M_h(r)=\max\limits_{|z|<r}|h(z)|\le c_h r^{-\mu}e^{\omega(r)}$ *при некотором* $\mu>1$, *то функция вида*

$$f(z)=z^n W(z)\exp\{h(z)\},\quad z\in C, \qquad (9)$$

где n *– кратность нуля* $f(z)$ *в начале координат, принадлежит классу* N_{ω}.

Из лемм 1 и 3 также следует

Теорема 3. Если $f(z) \in N_\omega$ $(f(z) \not\equiv 0)$, то ее можно представить в виде

$$f(z) = z^n W_\omega(z) \exp\{h(z)\}, \quad z \in C, \qquad (10)$$

где $W_\omega(z)$ - бесконечное произведение (3), построенное по нулям функции f(z), h(z) – некоторая целая функция и n – кратность нуля f(z) в начале координат.

Список литературы

1. *Левин Б.Я.* Распределение корней целых функций. М.: Гостехиздат, 1956. – 632с.
2. *Неванлинна Р.* Однозначные аналитические функции / Пер. с нем./ - М.-Л.: ГИТТЛ, 1941. - 388 с.
3. *Шубабко Е.Н.* // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. №6. С. 38-42.
4. *Хейман У.* Мероморфные функции. – М.: Мир, 1966. – 447 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (05.02.00)

05.02.00

А.В. Агапов, В.Н. Богданов, Д.А. Боровиков, А.В. Ионов к.т.н., С.Д. Селиверстов, П.А. Стариков

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), кафедра «Технологии производства двигателей летательных аппаратов», Москва, woln@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГТД.

В работе представлены результаты изучения возможности расширения области применения малоразмерных ГТД не только на авиацию, но и на другие области машиностроения. Для этого был выбран проект разработки воздушно-реактивного двигателя малой тяги или микро-ВРД на базе двигателя-прототипа Pegasus MK-3 компании AMT Netherlands. Была произведена идентификация математической модели газовой динамики двигателя, усовершенствованы некоторые его узлы, а также затронуты темы производства основных деталей ВРД.

Ключевые слова*: газотурбинный двигатель, энергетическая установка, центробежный компрессор.*

Общепринятым в мировой практике проектирования двигателей ЛА является использование серийно отработанного изделия как базы для создания семейства двигателей, предназначенных для различных типов воздушных судов, с различными энергетическими характеристиками и конструкцией. Сейчас большинство серийно выпускающихся воздушно-реактивных двигателей - это результат планомерного совершенствования конструкций и технологий, постепенное улучшение отдельных характеристик при соблюдении общего баланса параметров изделия.

Уровень проработанности конструкции и закладываемые характеристики энергосиловых установок ЛА позволяют расширить область применения известных технических решений не только на авиацию, но и на другие области машиностроения. На базе ДЛА (ПС-90А, АЛ-31Ф и д.р.) создаются серии ДЛА, насосные станции, приводы наземных газотурбинных энергетических установок, установки для сжигания отходов и д.р.

В настоящее время в области малоразмерных ГТД подобные методики в отечественном двигателестроении малоразвиты. Для решения данной проблемы в качестве пилотного проекта был выбран проект разработки воздушно-реактивного двигателя малой тяги или микро-ВРД на базе двигателя-прототипа Pegasus MK-3 компании AMT Netherlands. Была произведена идентификация математической модели газовой динамики двигателя, усовершенствованы некоторые его узлы, а также затронуты темы производства основных деталей ВРД [1,2].

Одним из основных направлений развития авиации является создание беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного назначения. В контексте этого все большую актуальность приобретает проблема создания эффективных силовых установок для БПЛА.

Существует определенный класс всепогодных БЛА, для которых необходимо обеспечить с одной стороны, высокую крейсерскую скорость полета БЛА, а с другой – достаточную продолжительность полета. Требования преодоления ветрового сноса, полета в условиях приземной турбулентности, оперативности получения информации выдвигают необходимость обеспечения крейсерской скорости полета на уровне М=0,5 и продолжительности полета около 30 минут. Учитывая падение чисел Рейнольдса, а также рост площади обтекания потоком по отношению к объему и массе по мере уменьшения физических размеров ЛА [3], задача достижения высоких скоростей полета осложняется

непропорциональным ростом потребной тяги при уменьшении размерности БЛА. Применение в качестве двигательной установки воздушно-реактивного двигателя (ВРД) открывает возможность обеспечения высоких скоростных характеристик. Однако создание ВРД МТ традиционной схемы с тягой 50-200 Н, пригодного для установки на сверхлегкий БЛА, сопряжено со значительными трудностями, связанными, прежде всего, с масштабным вырождением рабочего процесса.

На первый взгляд, конструкция ТРД малой тяги достаточно проста по сравнению с полноразмерными ТРД. Однако они имеют те же конструктивные узлы, что и полноразмерные ТРД: лопаточные машины – компрессор и газовую турбину, работающих при периферийных окружных скоростях до 500 м/с и температурой перед турбиной до 950 градусов Цельсия; камеру сгорания, обеспечивающую при очень компактных габаритах полное сгорание топлива и достаточно широкую срывную характеристику; ротор, вращающийся с высокой частотой, подверженный колебаниям и вибрации, которые появляются из-за дисбаланса, а так же при достижении критических скоростей вращения. Малая размерность двигателя по расходу воздуха не позволяет использовать отработанные конструктивные решения в практике авиационного двигателестроения.

Характеристики прототипа:

- Длина L=342 мм, диаметр D=120 мм.
- Сухая масса двигателя составляет 2,3 кг
- Частота вращения ротора n=120000 об/мин
- Степень сжатия в компрессоре $\pi^*=3,2$
- Расход воздуха $G_в=0,27$ кг/с
- Температура за камерой сгорания $T_г=948$ К
- Расход топлива $G_т=0,48$ кг/мин
- Тяга двигателя P=167 Н.

Рассмотрим подробнее особенности двигателя-прототипа.

Pegasus MK-3 (Рис. 1) сконструирован по одноконтурной одновальной схеме, включает в себя следующие узлы и системы: корпус двигателя с реактивным соплом и узлом подвески, входное устройство, компрессор, камера сгорания, турбина, электрический двигатель-стартер, топливная система, система контроля рабочих параметров [4].

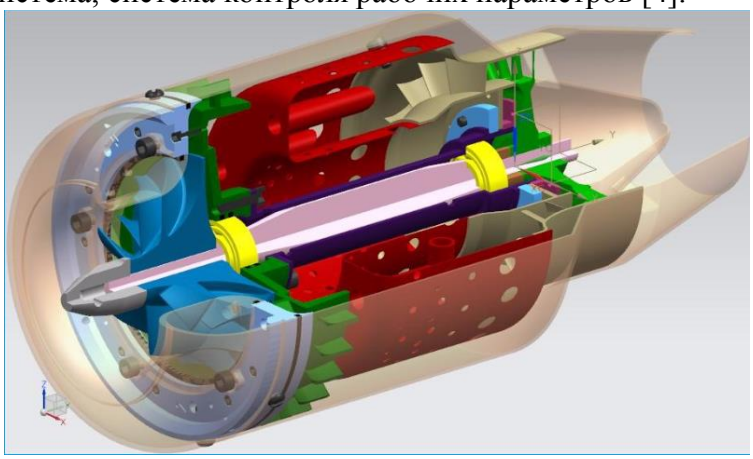


Рис. 1- Общий вид двигателя-прототипа.

Модели были получены методом «реверс-инжиниринга» при помощи мобильной сканирующей системы Model Maker D100. Технология имеет следующие ограничения: нет возможности сканировать закрытые полости или полости, часть которых находится вне прямой видимости. Кроме того, невозможно оцифровывать зеркальные поверхности и отверстия малого диаметра. Было проведено сканирование деталей двигателя-прототипа, имеющих повышенную криволинейность поверхностей, и на основе облаков точек и результатов измерений получены CAD модели конструкции.

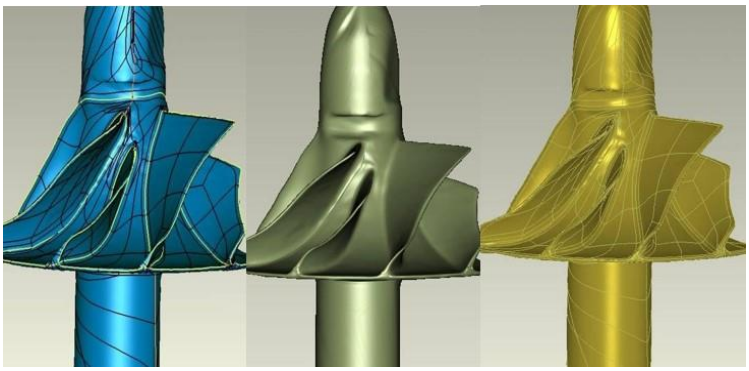


Рис. 2- Этапы получения 3D-модели детали двигателя-прототипа.

После получения CAD-сборки двигателя был проведен ряд расчетов. В частности, выполнен термогазодинамический расчет двигателя Pegasus MK-3 на основе идентифицированной математической модели, расчет его высотно-скоростных характеристик, динамический анализ ротора при различных критических скоростях, а также расчет основной камеры сгорания.

Идентификация математической модели термогазодинамического расчета проведена по натурному объекту - двигателю Pegasus MK-3 (использована геометрия и известные термогазодинамические параметры прототипа). Проведены детальные расчеты компрессора и турбины натурного образца, результаты которых приведены в таблице [6,7].

Таблица- Сравнение расчетных и заявленных характеристик двигателя-прототипа.

Параметры	**Расчетные**	**Заявленные**
Тяга, Н	148	167
Обороты, об/мин	112500	120000
Степень повышения давления	3,2	3,2
Расход воздуха, кг/с	0,27	0,27
Температура газа, С	948	948
Удельный расход топлива, кг/(ч*Н)	0,39	0,48

Динамический анализ позволяет охарактеризовать конструкцию ротора и его опор. Расчет на критических скоростях дает возможность выявить форму и амплитуду колебаний ротора.

Ротор двигателя Pegasus MK-3 (Рис. 2) находится на двух радиально-упорных подшипниках. Рабочие колеса компрессора и турбины подвешены консольно. Общая масса ротора составляет m_o=0,56 кг, длина L=221 мм. Масса рабочего колеса компрессора $m_к$=0,108 кг, осевой момент инерции J_o=38,69 кг*мм^2, полярный момент инерции $J_п$=2274,17 кг*мм^2. Масса рабочего колеса турбины $m_к$=0,16 кг, осевой момент инерции J_o=80,9 кг*мм^2, полярный момент инерции $J_п$=46,69 кг*мм^2. Рабочая частота вращения ротора n=120000 об/мин. Предполагаемая жесткость опор k=10^7..10^8.

Расчет критической скорости вращения ротора производится в программе ROTOR (каф. 203 МАИ) [8]. Для этого необходимо задать модель ротора, жесткость опор, а также диапазон поиска (0…105000 об/мин) и шаг (500 об/мин). Модель ротора и его формы прогиба в программе указаны на рис.3

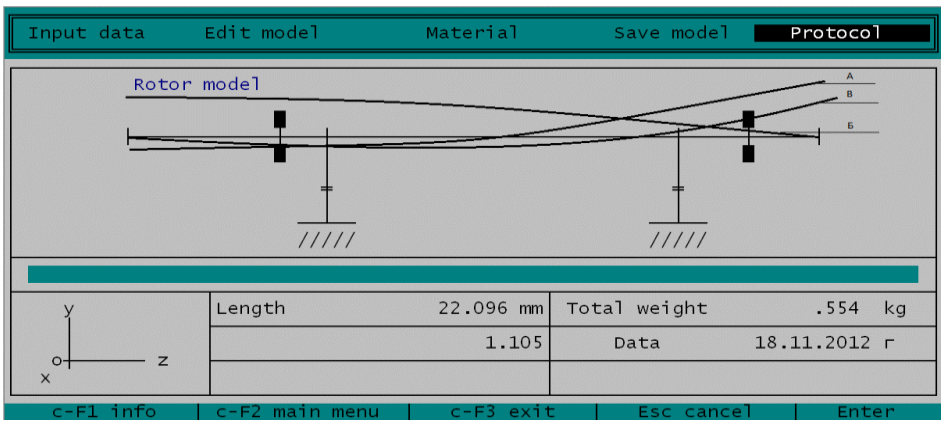


Рис. 3- Модель ротора в программе ROTOR и его формы прогиба.

В результате расчета критических скоростей ротора для коэффициента жесткости опор k=10^7 были получены следующие результаты: n=49759,4 и n=58523,6 об/мин. Соответствующие им формы прогиба вала указаны на рис.3 (А,Б).

Критическая скорость ротора для k=10^8 равна n=89466,3. Форма прогиба вала при данных параметрах показана на рис.3(В).

Полученные результаты позволяют полагать, что во всем диапазоне принятой нами жесткости опор (k=10^7..10^8) вал является «гибким». Это значит, что рабочая частота вращения ротора находится выше критических скоростей. Проход зон критических скоростей при разгоне ротора, а также его торможении должен происходить с большим ускорением и замедлением, для того чтобы время прохода зон было минимальным и увеличение прогиба за это время незначительным.

Расчет камеры сгорания позволяет уточнить её габаритные размеры, а также такие параметры, как коэффициент полноты сгорания, избытка воздуха, возможность высотного запуска, потери полного давления и т.д.

Основная камера сгорания двигателя Pegasus МК-3 (рис.4) кольцевого типа. Имеет довольно малый предполагаемый коэффициент сохранения полного давления $\sigma_{кс}$=0,92, что связано с не большими габаритами, а также наличием шести трубок испарителей. Габаритные размеры камеры сгорания: длина L=73 мм, внешний диаметр жаровой трубы $D_{внеш}$=105 мм, внутренний диаметр жаровой трубы $D_{внутр}$=52 мм.

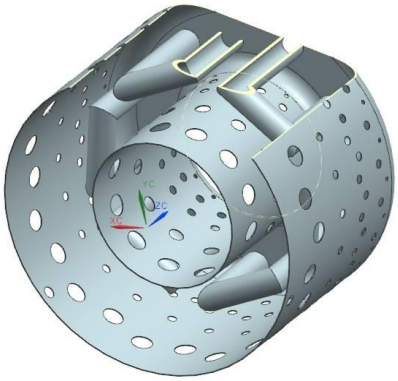


Рис. 4- Основная камера сгорания.

Выполнен предварительный расчет параметров камеры сгорания по методике каф. 201 МАИ (программа PR11). Исходными данными для программы являются:

1) Режимные параметры: $G_в$=0,27 кг/с, $T_к^*$=433 К, $P_к^*$=294900 Па, $T_г^*$=1150 К, $\lambda_к$=0,166, $\delta_{охл}$=0.

2) Геометрические параметры выходного сечения компрессора: $D_{к.ср}$=114 мм, $h_к$=7 мм, f=1,425.

3) Специфические требования: $H_{зап}$=5000 м, $\Delta\theta_г$=0,32, $F_{кк.отн}$=1,3, $l_{г.отн}$=1,7, $l_{с.отн}$=1,1.

На рис. 5 приведен расчет параметров основной камеры сгорания.

```
PR11
                    РАСЧЕТ ОСНОВНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ        ДАТА:

1.Н ЗАП +      6.GB ВН =   .27     21.ДТЕТАГ=   .32      L ДИФ  = .0329
2.QVX   -      7.РК    =294900.    22.С ОТВ =  28.04     ДН КОРП= .1257
3.СЖХ   -      8.ТК    = 433.         V Ж ТР= .0008      ДВ КОРП= .0411
               9.ТГ    =1150.         F Ж ТР= .0095      НКК НАР= .00670
              10.LAMDA = .166         Н Ж ТР= .0265      НКК ВН = .00293
4.ДТЕТАГ+     11.ДК СР = .114         L Ж ТР= .0729      FKK НАР= .00411
5.С ОТВ -     12.Н ВЫХК= .007         V ЗГ  = .00056     FKK ВН = .00123
              13.LГ ОТН=1.7           L ЗГ  = .0450      КСИ Ж  =1.0249
              14.DЖ ОТН= 1.4          L ЗС  = .0279      КСИ К  =1.275
              15.LС ОТН= 1.1          LКС   = .1058      СИГМА К= .9797
              16.FKKOTH=1.30          FOЭОТН=  1.150     TAU    = .00735
              17.DELTOX= .000         FOЭ   = .0041      КЖ     =66.393
              18.Н ЗАП = 5000.        FO    = .0063      ALFA K =3.461
              19.QVX   = 3238.7       LП ДИФ= .0210
              20.СЖХ   = 12.158       НП ДИФ= .01190
```

Рис. 5- Расчет ОКС в программе PR11.

Исходя из методики расчета для принятых исходных данных и габаритных размеров камеры сгорания, коэффициент сохранения полного давления составил $\sigma_{кс}$=0,9797, а коэффициент избытка воздуха $\alpha_к$=3,461[5].

В проведенной работе были получены следующие результаты:

- построена CAD модель прототипа микро-ВРД;
- определена математическая модель термогазодинамического расчета прототипа;
- построена CAD модель модифицированного двигателя;

Список литературы

1. Методы математической идентификации микро-ГТД по прото- типу / *Д.А. Боровиков, И.А. Заранкевич, С.Ю. Новиков, А.К. Пахомов, С.Д. Селиверстов* // Авиация и космонавтика – 2014: тез. 13-й Междунар. конф. – СПб.: Мастерская печати, 2014. – С. 277–279. *Д.А. Боровиков, А.В. Ионов, С.Д. Селиверстов* 114
2. Разработка методик создания ВРД малых тяг / *Д.А. Боровиков, С.Д. Селиверстов, А.В. Ионов, М.С. Болховитин* // Будущее авиации и космонавтики за молодой Россией: материалы междунар. молодежного форума. – Рыбинск: Изд-во РГАТУ им. П.А. Соловьева, 2015. – С. 154–161.
3. *Селиверстов, С.Д., Боровиков Д.А., Ионов А.В.* Разработка микро-ГТД и методик их проектирования // Тезисы докл. 20-й науч.- техн. конф. молод. ученых и спец. – Королев, 2014. – С. 447–449.
4. AMT Netherlandswebsite [Электронный ресурс] // Amtjets.com. – URL: http://www.amtjets.com/Titan.php (дата обращения: 20.12.2014).
5. Термогазодинамические расчеты и расчет характеристик авиа- ционных ГТД / *А.Б. Агульник, В.И. Бакулев, В.А. Голубев, И.В. Кравченко, Б.А. Крылов.* – М.: Изд-во МАИ, 2002. – 257 с.
6. *Ржавин Ю.А., Емин О.Н., Карасев В.Н.* Лопаточные машины двигателей летательных аппаратов. Теория и расчет: учеб. пособие – М.: Изд-во МАИ: Принт, 2008 – 700 с.
7. *Ржавин Ю.А., Карасев В.Н.* Термогазодинамический расчет турбокомпрессора для агрегата наддува ДВС: учеб. пособие. – М.: Дипак, 2004. – 45 с.
8. *Чуян Р.К.* Методы математического моделирования двигателей летательных аппаратов: учеб. пособие для студ. авиадвигат. спец. вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.

05.02.23

О.В. Аникеева к.т.н.

Юго-Западный государственный университет, механико-технологический факультет,
кафедра управления качеством, метрологии и сертификации,
Курск, olesya-anikeeva@yandex.ru

К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ ОЦЕНОК ТОЧНОСТИ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В работе определены и раскрыты взаимосвязи между параметрами геометрической точности станков и обработанных на них поверхностей деталей. На этой основе предложен подход к построению системы оценок точности обработанных поверхностей. Получены выражения для нормирования показателей геометрической точности узлов станков в зависимости от требуемой точности обработки поверхностей.

Ключевые слова: *металлорежущие станки, геометрическая точность, обрабатываемая поверхность.*

Система оценок точности обработанных поверхностей деталей машин является основой не только поддержки реализации их служебного назначения, контроля точности их изготовления, но и обоснования норм точности технологического оборудования, используемого при их изготовлении. Некоторые несоответствия действующих стандартов по геометрической точности металлорежущих станков были отмечены в [1] и раскрыты в работе [2], они связаны с тем, что они являются одновременно:

1) избыточными, т.к. содержат проверки параметров станков, не оказывающих влияние на точность обработки;

2) недостаточными, т.к. не содержат проверок параметров станков, оказывающих влияние на точность обработки.

Вместе с указанными несоответствиями, появление новых видов и типов станков, а также выпуск и применение известных видов и типов станков, для которых не разработаны соответствующие стандарты, привело к существованию **проблемы**, заключающейся в недоработанности системы оценок точности металлорежущих станков и обработанных на них поверхностей деталей.

Основой данной работы является вариационный метод расчета точности станков представленный в работе [1], в которой имеется раздел 5.2 «Система оценок точности обработанных поверхностей», поэтому существование выявленной проблемы требует дополнительного обоснования. Для получения таких оценок в указанной работе было введено понятие «базовой поверхности», которая была определена как «метрологическая база».

Данные понятия были введены в связи с использованием подхода к решению метрологических задач, в частности с определением отклонений от круглости цилиндрических поверхностей по результатам их измерений на кругломерах и координатно-измерительных машинах. Для определения численных значений таких отклонений и используют «базовые» окружности.

Однако в [3] указано, что необходимость указания базы существует только для допусков ориентации, месторасположения и биения, а для допусков формы, как и для допусков размеров, такой необходимости нет. На рабочих чертежах деталей указывают конструкторские базы для отклонений положения, биения и ориентации, а в технологической документации – технологические и измерительные базы.

После публикации работы [1] были введены в действие стандарты ([4] и др.) использующие новые понятия и определения, в которые не входит «базовая поверхность»,

так в [4] показано, что производный геометрический элемент «базовая окружность» является присоединенной окружностью. За это же время появился и получил развитие подход к оценке точности, основанный на рассмотрении геометрии реальных поверхностей деталей изделий машиностроения [5], что явилось основой для развития самого вариационного метода расчета точности [6]. Необходимость такого развития была связана с тем, что использование понятия «базовой поверхности» при установлении взаимосвязей между параметрами точности станков и обрабатываемых на них поверхностей деталей [7, 8] позволило получить только результаты, аналогичные результатам работы [1].

Целью настоящей работы является определение взаимосвязей между параметрами геометрической точности самих станков и обработанных на них поверхностей деталей для построения системы оценок точности этих поверхностей.

Перейдем непосредственно к изложению подхода к построению системы оценок точности обработанных поверхностей.

Развитие вариационного метода расчета точности связано с отказом от использования понятия «базовой поверхности», и перестройкой системы расчетов параметров геометрической точности.

Уравнение номинальной обрабатываемой поверхности имеет вид:

$$\boldsymbol{r_0} = \boldsymbol{r_0}\,(u, v, \boldsymbol{q_0}), \qquad (1)$$

где u, v – криволинейные координаты поверхности; $\boldsymbol{q_0}$ – вектор размерных параметров поверхности; $\boldsymbol{q_0} = (q_{01}, \ldots, q_{0m1})^{\mathrm{T}}$; $m1$ – количество составляющих вектора $\boldsymbol{q_0}$.

Функция формообразования (ФФ) отражает связь между координатами точек режущей кромки инструмента в системе S_l режущего инструмента и координатами тех же точек в координат S_0 обрабатываемой заготовки

$$\boldsymbol{r_0} = \boldsymbol{A_{0,l}}\boldsymbol{r_l}, \qquad (2)$$

где $\boldsymbol{A_{0,l}} = \prod_{i=1}^{l} \boldsymbol{A_{i-1,i}^{j_i}}$; l – количество подвижных звеньев формообразующей системы станка; матрицы $\boldsymbol{A}$ входящие в произведение, соответствуют одному из шести обобщенных перемещений, выполняемых узлом; $\boldsymbol{r_l}$ – радиус-вектор режущей кромки инструмента;

а также связи (огибания, скрытые и функциональные) между обобщенными перемещениями, таким образом, что ФФ (2) может быть представлена в следующем виде:

$$\boldsymbol{r_0} = \boldsymbol{r_0}\,(u, v, \boldsymbol{q_{\text{ст}}}), \qquad (3)$$

где u, v – криволинейные координаты поверхности; $\boldsymbol{q_{\text{ст}}}$ – вектор связей станка; $\boldsymbol{q_{\text{ст}}} = (q_{\text{ст}1}, \ldots, q_{\text{ст}L})^{\mathrm{T}}$; L – количество составляющих вектора $\boldsymbol{q_{\text{ст}}}$ (количество связей), $L=n+m-2$; n – количество звеньев, осуществляющих движение формообразования; m – количество независимых переменных, входящих в модель режущего инструмента.

Равенство выражений (1) и (3) обеспечивает формализованное описание служебного назначения станка. Полная вариация ФФ представляет собой векторный баланс точности [1]. Учитывая в этом балансе только те погрешности, которые влияют на параметры точности обрабатываемой поверхности, а также характер этого влияния, автором предложено новое определение векторного баланса точности $\boldsymbol{\Delta r_0}$** в виде

$$\Delta\boldsymbol{r_0^{**}} = \boldsymbol{\varepsilon_0}\boldsymbol{r_0} + \boldsymbol{\delta r_0} + \boldsymbol{dr_0}, \qquad (4)$$

где $\boldsymbol{\varepsilon_0}$ – матрица погрешности положения обрабатываемой заготовки относительно технологической базы при обработке поверхности $\boldsymbol{r_0}$.

С учетом (1) и (4) уравнение реальной обработанной поверхности имеет следующий вид:

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r_0} + \Delta\boldsymbol{r_0^{**}}. \qquad (5)$$

Из (4) и (5) следует, что разделение погрешностей реальной обработанной поверхности осуществляется на погрешности размера ($\boldsymbol{dr_0}$), формы ($\boldsymbol{\delta r_0}$) и положения ($\boldsymbol{\varepsilon_0 r_0}$), причем погрешность положения определяется относительно технологической базы, использованной при обработке данной поверхности.

Для определения взаимосвязей между параметрами геометрической точности узлов станков и обрабатываемых на этих станках поверхностей деталей здесь предложено следующее уравнение:

$$\Delta\boldsymbol{r_0}(u, v, \Delta\boldsymbol{q_0}) = \Delta\boldsymbol{r_0^{**}}(u, v, \Delta\boldsymbol{q_{\text{ст}}}) - \boldsymbol{\varepsilon_0}\boldsymbol{r_0}. \qquad (6)$$

В (6) член $\Delta\boldsymbol{r_0}$ (u, v, $\Delta\boldsymbol{q_0}$) является полной вариацией выражения (1), член $\Delta\boldsymbol{r_0^{**}}(u, v, \Delta\boldsymbol{q}_{\text{ст}})$ является полной вариацией выражений (2) и (3), а составляющая $\boldsymbol{\varepsilon_0 r_0}$ не учитывается, поскольку погрешности положения задаются на чертеже детали для двух различных номинальных обрабатываемых поверхностей.

Раскрытие взаимосвязей между погрешностями реальной обработанной поверхности $\Delta\boldsymbol{q_0}$ и погрешностями узлов станка $\Delta\boldsymbol{q}_{\text{ст}}$, может выполняться из системы трех уравнений на основе выражений (4) и (6), либо из проекции выражения (6) на нормаль к номинальной обрабатываемой поверхности $\boldsymbol{n}$, т.е. из следующего скалярного уравнения:

$$\boldsymbol{n}^{\text{т}}\Delta\boldsymbol{r_0}(u, v, \Delta\boldsymbol{q_0}) = \boldsymbol{n}^{\text{т}}\Delta\boldsymbol{r_0^{**}}(u, v, \Delta\boldsymbol{q}_{\text{ст}}) - \boldsymbol{n}^{\text{т}}\boldsymbol{\varepsilon_0 r_0}, \quad (7)$$

где т – символ транспонирования.

Существенным замечанием к выражениям (6) и (7) является то, что отбрасываются только постоянные значения составляющих, входящих в члены $\boldsymbol{\varepsilon_0 r_0}$ и $\boldsymbol{n}^{\text{т}}\boldsymbol{\varepsilon_0 r_0}$, а переменные значения составляющих от параметров u и/или v должны быть учтены.

При использовании соотношения (6) используется соответствие между полными дифференциалами

$\boldsymbol{dr_o}(u, v, \boldsymbol{dq_0}) = \boldsymbol{dr_o}(u, v, \boldsymbol{dq}_{\text{ст}})$, (8)

что не представляет затруднений, и между частными вариациями

$\boldsymbol{\delta r_o}(u, v, \boldsymbol{\delta q_0}) = \boldsymbol{\delta r_o}(u, v, \boldsymbol{\delta q}_{\text{ст}})$, (9)

что является более сложной задачей.

В отличие от выражения (8), где переменными считаются только величины составляющих векторов $\boldsymbol{q_0}$ и $\boldsymbol{q}_{\text{ст}}$, в выражении (9) переменными являются сами виды зависимостей для этих составляющих. При вычислении вариации $\boldsymbol{\delta r_o}(u, v, \boldsymbol{\delta q_0})$ составляющие вектора $\boldsymbol{\delta q_0}$ следует рассматривать как функцию параметров u и v номинальной обрабатываемой поверхности. Для нахождения данных вариаций, которые должны быть малыми (ограниченными) наибольшее применение нашли разложения в ряд Фурье [9, 10], в т.ч. числе в кратный ряд Фурье, например, для спектральной оценки отклонений от круглости и цилиндричности, а также полиномы Чебышева [10] для оценки отклонений от прямолинейности и плоскостности.

При вычислении же вариации $\boldsymbol{\delta r_o}(u, v, \boldsymbol{\delta q}_{\text{ст}})$, составляющие вектора $\boldsymbol{\delta q}_{\text{ст}}$ следует рассматривать как функцию только одного из параметров (u или v) для соответствующего узла станка, поскольку, как правило, каждый из узлов реализует только одно движение формообразования, т.е. аргумента матриц выражения (2) с учетом связей. Например, при исследовании биения оси вращения шпинделя также применяется разложение в ряд Фурье [11].

Для станков с параллельной компоновкой некоторые из узлов могут реализовывать несколько движений формообразования, и для таких узлов составляющие вектора $\boldsymbol{\delta q}_{\text{ст}}$ следует рассматривать как функцию двух параметров (u и v).

При многоинструментальной обработке за один установ заготовки на станке производится обработка нескольких номинальных поверхностей. В этом случае вместо уравнения (1) мы имеем систему из k уравнений (k – количество номинальных обрабатываемых поверхностей), состоящую из уравнений (1) для поверхностей с радиусами-векторами $\boldsymbol{r_0^{(1)}}$, $\boldsymbol{r_0^{(2)}}$, …, $\boldsymbol{r_0^{(k)}}$, со соответствующими векторами размерных параметров поверхности $\boldsymbol{q_0^{(1)}}$, …, $\boldsymbol{q_0^{(k)}}$. Данной системе уравнений будут соответствовать системы уравнений вида (6) и (7), решение которых также позволит установить взаимосвязи между погрешностями реальной обработанной поверхности и погрешностями узлов станка. А вот для оценки погрешностей взаимного расположения и ориентации этих обрабатываемых поверхностей следует учитывать отброшенные ранее составляющие $\varepsilon_0 r_0^i$ или $n_i^{\text{т}}\varepsilon_0 r_0^i$ (i = 1, …, k) и типовые соотношения между полными и производными геометрическими элементами: поверхностями, линиями и точками.

На основе установленных взаимосвязей между погрешностями реальной обработанной поверхности и погрешностями узлов станка можно построить доработанную систему оценок точности:

1) Для номинальной обрабатываемой поверхности $\boldsymbol{r_0}(u, v, \boldsymbol{q_0})$ заданы только номинальный размер ($\boldsymbol{q_0} = q_{01}$) и требования к его точности, характеризуемые допуском Tq_{01}. В данном случае следует использовать выражение (7) без учета разложения оператора Δ на составляющие (Δ=d+δ), а требования к точности узлов станка будут определяться соотношением

$$pTq_{01} \geq \underbrace{max}_{S} \boldsymbol{n}^{\mathrm{T}}(\Delta \boldsymbol{r}_{\boldsymbol{0}}^{**}(u, v, \Delta \boldsymbol{q}_{\text{ст}}) - \boldsymbol{\varepsilon_0 r_0}) - \underbrace{min}_{S} \boldsymbol{n}^{\mathrm{T}}(\Delta \boldsymbol{r}_{\boldsymbol{0}}^{**}(u, v, \Delta \boldsymbol{q}_{\text{ст}}) - \boldsymbol{\varepsilon_0 r_0}), \quad (10)$$

где p – часть допуска Tq_{01} на геометрические погрешности станка; S – площадь всей номинальной обрабатываемой поверхности.

Если задано несколько номинальных размеров, и требования к их точности, характеризуемые только допусками, то выражение (10) будет преобразовано в соответствующую систему соотношений.

Для известного примера обработки цилиндрической поверхности на токарном станке [1], примем диаметр d=60 мм и Td=30 мкм, что соответствует 7-му квалитету точности, длину L=240 мм, а величину p=1/3.

Тогда выражение (10) примет вид: $10 \geq 240\beta_1 + \sum_{i=1}^{3} \delta x_i$, где β_1, $\delta x_{1..3}$ – элементарные погрешности узлов станка, для случая, если элементарные составляющие погрешностей входящие в матрицу $\boldsymbol{\varepsilon_0}$ являются постоянными, что соответствует непараллельности и несоосности осей вращения шпинделя и обрабатываемой заготовки. При наличии зависимости элементарных составляющих погрешностей входящих в матрицу $\boldsymbol{\varepsilon_0}$ от угла поворота шпинделя φ, что соответствует радиальному и угловому биению оси вращения шпинделя ($\alpha_0 = \alpha_0(\varphi)$, $\beta_0 = \beta_0(\varphi)$, $\delta x_0 = \delta x_0(\varphi)$, $\delta y_0 = \delta y_0(\varphi)$), выражение (10) будет иметь вид:

$$10 \geq \delta x_o \cos\varphi + \delta y_o \sin\varphi - \alpha_0 \sin\varphi + \beta_0 \cos\varphi + 240\beta_1 + \sum_{i=1}^{3} \delta x_i.$$

Как было установлено в работе [2], в ГОСТ 18097-93 нормирования и проверок углового биения оси вращения шпинделя не предусмотрено. Полученные неравенства, входящие в систему оценок точности могут быть использованы для актуализации данного стандарта по составу проверок и численным значениям элементарных погрешностей узлов станков.

2) Для номинальной обрабатываемой поверхности $\boldsymbol{r_0}$ $(u, v, \boldsymbol{q_0})$ заданы номинальный размер ($\boldsymbol{q_0} = q_{01}$) и требования к его точности, характеризуемые допуском на размер Tq_{01} и отклонения формы, которые здесь обозначим как Tf_{01}. Теперь следует использовать выражения (6) или (7) с учетом $\Delta = d + \delta$. Требования к точности узлов станка будут определяться соотношениями, при использовании выражения (7)

$$p_1 Tq_{01} \geq \underbrace{max}_{S} \boldsymbol{n}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{dr_0}(u, v, \boldsymbol{dq}_{\text{ст}}) - \underbrace{min}_{S} \boldsymbol{n}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{dr_0}(u, v, \boldsymbol{dq}_{\text{ст}}), \quad (11)$$

где p_1 – часть допуска Tq_{01} на геометрические погрешности станка,

$$p_2 Tf_{01} \geq \underbrace{max}_{S} \boldsymbol{n}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{\delta r_0}(u, v, \boldsymbol{\delta q}_{\text{ст}}) - \underbrace{min}_{S} \boldsymbol{n}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{\delta r_0}(u, v, \boldsymbol{\delta q}_{\text{ст}}), \quad (12)$$

где p_2 – часть допуска Tf_{01} на геометрические погрешности станка, или

$$p_2 Tf_{01} \geq \underbrace{max}_{\text{Сеч.}1,\ldots,t} \boldsymbol{n}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{\delta r_0}(u, v, \boldsymbol{\delta q}_{\text{ст}}) - \underbrace{max}_{\text{Сеч.}1,\ldots,t} \boldsymbol{n}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{\delta r_0}(u, v, \boldsymbol{\delta q}_{\text{ст}}), \quad (13)$$

где t – количество сечений, в которых производится оценка отклонений формы.

Выражение (12) используется при проверке отклонений формы по всей поверхности (отклонение от цилиндричности и т.п.), а выражение (13) при проверке в некоторых сечениях (отклонение от круглости и т.п.).

Таким образом, в данной работе предложен подход к построению системы оценок точности обработанных поверхностей на основе раскрытых взаимосвязей между параметрами геометрической точности узлов станков и обрабатываемых на этих станках поверхностей деталей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60049 мол_а_дк.

Список литературы

1. *Решетов, Д.Н., Портман, В.Т.* Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
2. *Аникеева, О.В.* Управление этапом планирования для повышения качества процесса ремонта металлорежущих станков: автореферат … канд. техн. наук / О.В. Аникеева. – Курск, 2012. – 16 с.
3. ГОСТ Р 53442-2009. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения. Введ. 2012-01-01. М.: Стандартинформ, 2010. 51 с.
4. ГОСТ 31254-2004. Основные нормы взаимозаменяемости. Геометрические элементы. Общие термины и определения. Введ. 2005-07-01. М.: Стандартинформ, 2005. 12 с.
5. *Кашуба, Л.А., Жук, Д.М., Маничев, В.Б.* Геометрия реальных поверхностей деталей изделий машиностроения / Л.А. Кашуба, Д.М. Жук, В.Б. Маничев // Известия вузов. Машиностроение. – 2012. - №2. – С. 72-79.
6. *Аникеева, О.В.* Обоснование норм точности при проектировании металлорежущих станков / О.В. Аникеева // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2016): труды 16-ой международной молодежной конференции. – М.: ООО «Аналитик», 2016. – С. 211-214.
7. *Хусаинов, Р.М., Юрасов, С.Ю., Зиятдинов, Р.Р. и др.* Моделирование показателей точности обрабатываемых поверхностей при токарной обработке под действием геометрических погрешностей металлорежущего станка / Р.М. Хусаинов, С.Ю. Юрасов, Р.Р. Зиятдинов и др // СТИН. – 2016. - № 9. – С. 32-35.
8. *Аникеева, О.В.* Методологические основы стандартизации параметров геометрической точности металлорежущих станков / О.В. Аникеева // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. - №3. – С. 202-209.
9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / А.М Дальский, А.Г. Суслов, А.Г. Косилова и др.; под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2003. – 912 с.
10. Nick, V.G. Determining measurement uncertainties of feature measurements on CMMs: Proefschrift voorgedragen tot het behalen van de graad van Doctor in de Ingenieurswetenschappen [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – KU LEUVEN. – Режим доступа: https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/ 312758/1/phd-nickvangestel-lowres.pdf, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 22.10.2016).
11. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х томах. Т.1: Проектирование станков / А.С. Проников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов и др.; Под. общ. ред. А.С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана: Машиностроение, 1994. – 444 с.

05.02.05

Л.В. Беляев к.т.н., А.В. Жданов к.т.н.

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, институт машиностроения и автомобильного транспорта, кафедра технологии машиностроения,
Владимир, blv_vlsu@mail.ru

ОЦЕНКА ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬСИРУЮЩИХ СИСТЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА НА БАЗЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

В работе представлены результаты математического моделирования гемодинамических прочесов внутри камеры искусственного желудочка сердца (ИЖС). Приведены результаты сравнения численного моделирования и экспериментальных исследований полей скоростей внутри камеры ИЖС систем вспомогательного кровообращения (ВК) и искусственного сердца (ИС) на базе мехатронных модулей (ММ).

Ключевые слова: *искусственное сердце и вспомогательное кровообращение, мехатронный модуль, гемодинамика, конечно-элементное моделирование.*

В настоящее время применение аппаратов ВК и ИС является одним из наиболее радикальных методов лечения сердечной недостаточности. Для этих целей применяются системы механической поддержки кровообращения, построенные на базе ММ. Элементом ММ непосредственно отвечающем за перекачивание крови, является ИЖС. Исходя из функционального назначения ИЖС, к его конструкции предъявляется ряд требований по гемодинамике. ИЖС не должен содержать зон застоя, рециркуляции потоков крови, турбулентности [1]. Установлено, что формированию тромбов могут способствовать изменения скорости потока и его отсутствие (наличие застойных областей) в отделенных областях ИЖС [2]. Оценка данных требований только на основании сравнительных экспериментальных исследований различных вариантов конструкций ИЖС, путем последовательного приближения гемодинамических характеристик указанных систем к требуемым параметрам, заложенным в медико-технических требованиях, влечет за собой удорожание конструкции и увеличивает сроки выпуска готового изделия.

В этой связи перспективным является направление, связанное с использованием подхода, дающего возможность нахождения оптимального геометрического дизайна и гемодинамических параметров систем ВК и ИС уже на этапе проектирования изделия.

В данной статье рассматривается подход к проектированию пульсирующих систем ВК и ИС на основе применения CAD/CAE -технологий, позволяющий оценивать гемодинамические параметры работы системы на этапе проектирования и сократить время выпуска готового изделия.

Данный подход предлагается реализовать в несколько взаимосвязанных этапов. Начальным этапом является создание трехмерной геометрической модели, которая является основой для всех следующих этапов проектирования и создания ИЖС систем ВК и ИС. Трехмерное моделирование конструкции ИЖС систем ВК и ИС реализовано в системе Pro/ENGINEER WF5. Полученные на этом этапе данные были переданы в CAE-систему для проведения гемодинамического анализа. Моделирование потоков внутри камеры ИЖС проводились на основании ее реалистичной 3D модели (рис. 1, а). Расчетная модель представляет собой внутренний объем ИЖС с учетом реальной геометрии основного тела, дисковых клапанов серии «МИКС», радиусов и переходов. Моделирование было проведено при положении митрального клапана в 45 градусов и положении аортального клапана – 90 градусов (рис. 1, б), данные положения клапанов являются оптимальными [3].

Для решения уравнений Навье-Стокса использовалась система конечно-элементного анализа ANSYS CFX. Этап гемодинамического анализа включает создание конечно-элементной модели (КЭМ) (рис. 1, в), назначение краевых условий, определение показателей течения жидкости в камере ИЖС.

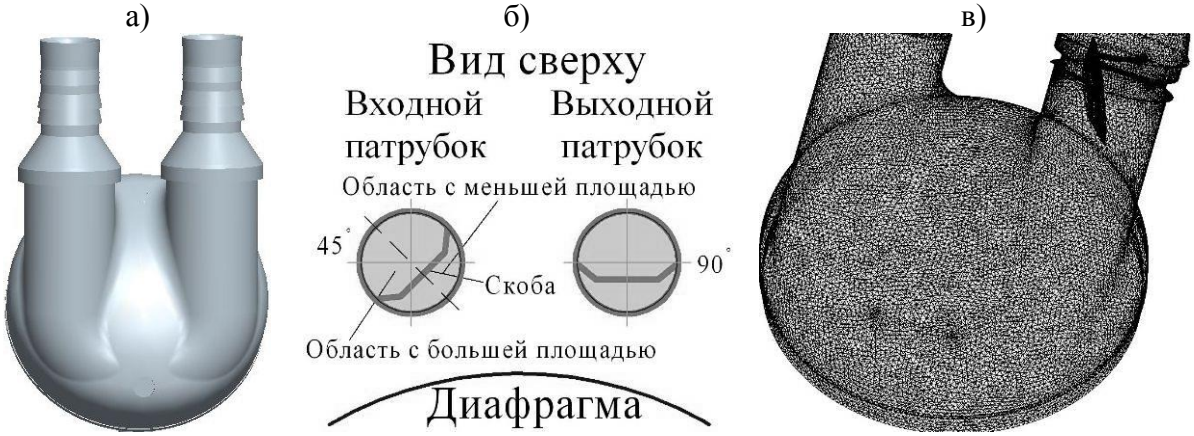


Рис. 1 – Исходные данные для проведения гемодинамического анализа: а) - 3D модель ИЖС; б) – схема расположения клапанов; в) – КЭМ внутреннего объема ИЖС

Параметры КЭМ и краевые условия были следующими: количество узлов 298224, количество конечных элементов 1669390, минимальная длина ребра 10^{-5} мм. Кровь моделировалась как ламинарная, несжимаемая Ньютоновская жидкость с плотностью 1060 кг/м^3 и динамической вязкостью 0,0032 Па·с. Объем ударного выброса системы составляет 30 мл. Частота сердечных сокращений – 75 уд/мин, модель турбулентности – k-ε. Временные интервалы фаз диастолы и систолы были приняты одинаковыми, а именно 0,4 с.

В процессе проведения гемодинамического анализа были получены результаты моделирования, отображающие изменение скоростных потоков в ИЖС систем ВК и ИС. Их анализ позволяет сделать выводы о наличии застойных зон, локальных зон закручивания и отрыва потока. Результаты представлены в виде векторных диаграмм (рис. 2).

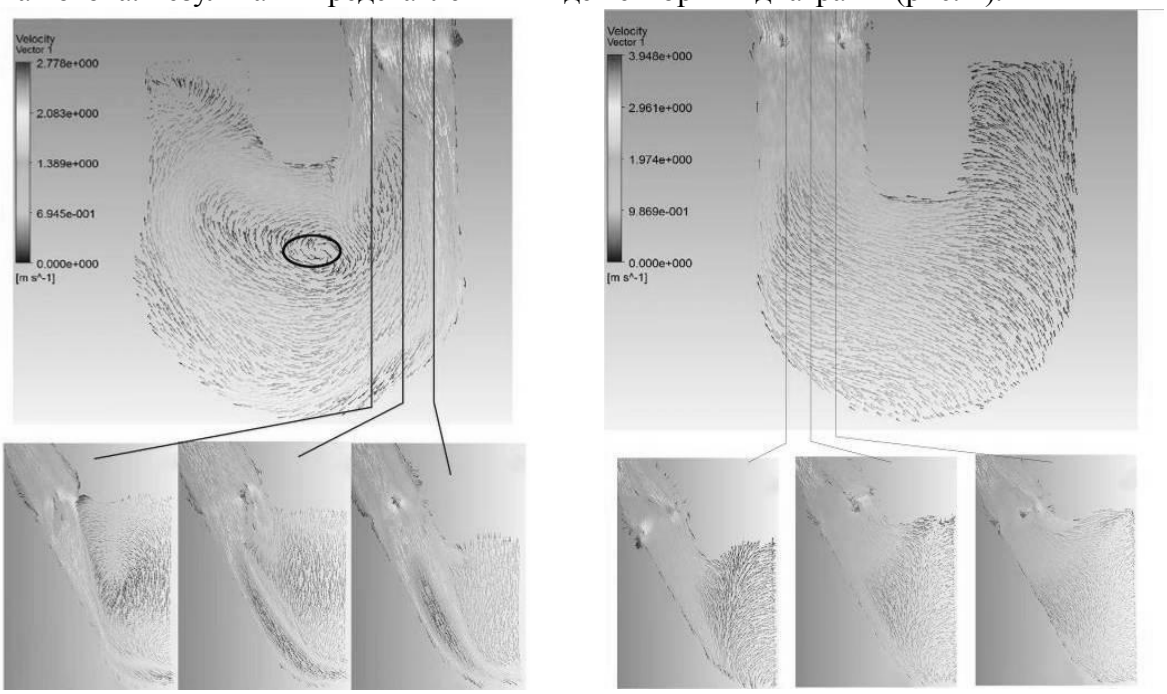


Рис. 2 – Поля скоростей внутри ИЖС в момент времени окончания фазы диастолы (слева) и систолы (справа). Положения сечений показаны линиями. Области с низкими значениями скоростей потока показаны овалами

Полученные результаты показывают практически полное отсутствие зон с низким значением скорости потока и, следовательно, отсутствием зон застоя, приводящих к

тромбообразованию. Данный эффект достигается за счет установки клапана под указанным углом, что обеспечивает максимальное «омывание» внутренних стенок камеры крови, за счет «направления» входящего потока на стенку ИЖС и закручивания потока внутри камеры ИЖС в сторону противоположенного патрубка. Значение максимальной скорости в фазу диастолы составляет 2,77 м/с. В фазу диастолы скорость достигает максимального значения в конце фазы. В начале фазы диастолы наблюдается резкое возрастание скорости потока, но к 0,1 секунде фазы диастолы значение выравнивается и до конца цикла меняется незначительно. Максимальное значение скорости потока в конце фазы систолы наблюдается при движении жидкости через клапан и составляет 3,94 м/с.

Для оценки полученных результатов и качества разработанной модели было проведено моделирование поведения крови внутри камеры ИЖС системы BerlinHeart Excor. Результаты моделирования сравнивались с экспериментальными данными, полученными при проведении натурных экспериментов по визуализации потоков методом цифровой трассерной визуализации, описанной в работе [4]. Для получения геометрии (рис. 3) ИЖС системы BerlinHeart Excor использовался 3D сканер фирмы Breuckmann [5].

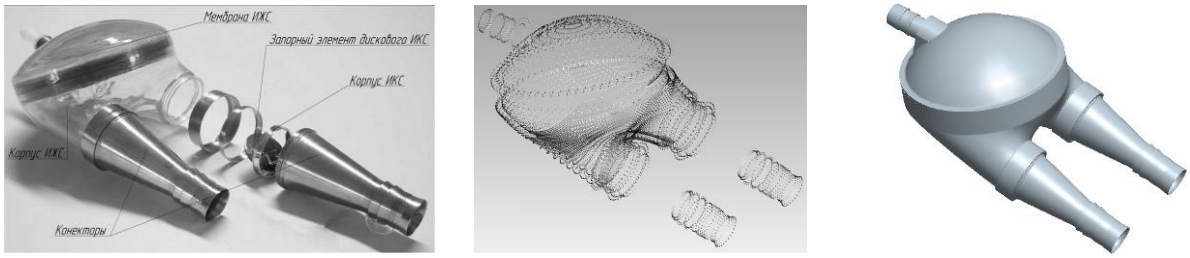


Рис. 3 – Система BerlinHeart Excor: внешний вид (слева), облако точек, полученное с использованием 3D сканера (в центре) и 3-D модель для проведения конечно-элементного моделирования, полученная на основании данных сканирования (справа)

После получения исходной геометрии было проведено моделирование поведения крови в камере ИЖС с краевыми условиями описанными выше. Сравнение полученных результатов моделирования с результатами моделирования и экспериментальными данными представлено на рисунке 4.

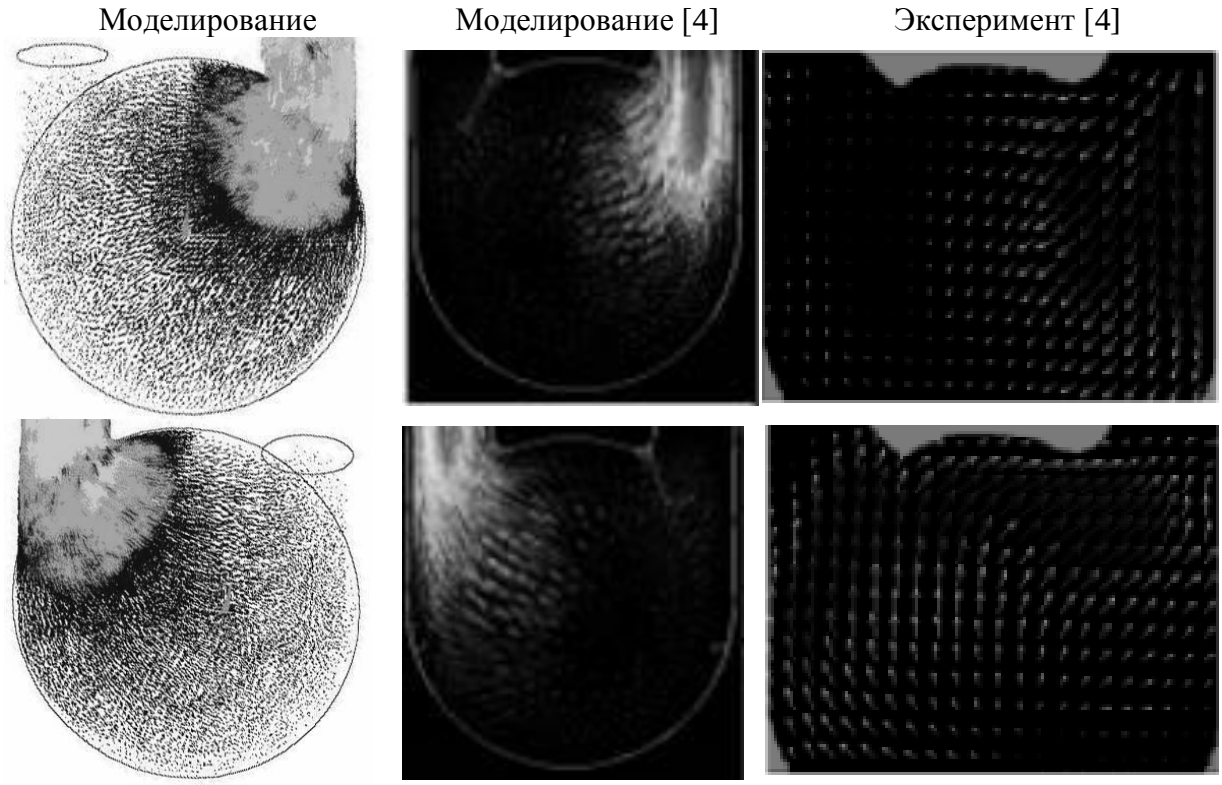


Рис. 4 – Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными

Качественное сравнение результатов натурного и численного экспериментов дают удовлетворительную сходимость на начальной и конечной стадиях процесса, и позволяет использовать указанный подход для моделирования поведения крови внутри ИЖС различной геометрической формы и объема выброса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых в рамках проекта МК-5860.2015.8.

Список литературы

1. *Шумаков В.И.* Искусственное сердце и вспомогательное кровообращение / В.И. Шумаков, В.Е. Толпекин, Д.В. Шумаков. – М.: Янус-К, 2003. – 376 с.
2. *Galanga F.* An Experimental Study of the Flow-Induced Mass Transfer Distribution in the Vicinity of Prosthetic Heart Valves / F. Galanga, J. Lloyd // Journal of Biomechanical Engineering. – 1981. – Vol. 103. – p. 1 – 10.
3. *Беляев Л.В., Иванченко А.Б., Жданов А.В., Морозов В.В.* Математическое моделирование работы педиатрических систем вспомогательного кровообращения пульсирующего типа с различными типами входных клапанов // Медицинская техника, 2016. – №4. – С. 5-8.
4. *Avrahami, I.* Hemodynamic aspects of the Berlin ventricle assist device / I. Avrahami, S. Einav, M. Rosenfeld [et al.] // Engineering in Medicine and Biology Society. – 2001. – Vol. 1. – p. 468 – 472.
5. *Breuckmann, B.*, 2003. State of the art of topometric 3D-metrology. Optical 3-D Measurement Techniques VI, Zurich, Switzerland, Sept. 22-25, Vol. II, pp. 152 – 158.

05.02.05

Л.В. Беляев к.т.н., А.В. Степенькин, А.В. Жданов к.т.н.

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, институт машиностроения и автомобильного транспорта, кафедра технологии машиностроения,
Владимир, blv_vlsu@mail.ru

АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПУЛЬСИРУЮЩИХ СИСТЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА НА БАЗЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ С УЧЕТОМ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В статье рассмотрены существующие подходы к проектированию пульсирующих систем вспомогательного кровообращения и искусственного сердца на базе мехатронных модулей. Предложен алгоритм проектирования указанных систем, дающий возможность прогнозирования гемодинамических показателей работы насоса крови, реализованный на основе современного программного обеспечения.

Ключевые слова: *искусственное сердце и вспомогательное кровообращение, мехатронный модуль, гемодинамика, алгоритм проектирования*.

При проектировании пульсирующих систем вспомогательного кровообращения (ВК) и искусственного сердца (ИС) на базе мехатронных модулей (ММ) решается комплекс научно-инженерных задач связанных с конструированием, моделированием и экспериментальными исследованиями разрабатываемых систем. Особое внимание уделяется обеспечению требуемых гемодинамических характеристик. Решение данных задач только на основе сравнительных экспериментальных исследований разных вариантов конструкций, путем последовательного приближения гемодинамических характеристик систем ВК и ИС к требуемым параметрам [1, 2], заложенным в медико-технических требованиях (МТТ), влечет за собой удорожание конструкции и увеличивает сроки выпуска готового изделия. В этой связи перспективным является направление, связанное с использованием подхода, дающего возможность нахождения оптимального геометрического дизайна и гемодинамических параметров систем ВК и ИС уже на этапе проектирования изделия. Данный подход позволяет проводить оптимизацию конструкции, сравнивать варианты разрабатываемых систем ВК и ИС на основе анализа результатов численных экспериментов и проведении стендовых испытаний образцов систем ВК и ИС. В настоящее время существует несколько методик проектирования, как отдельных компонентов, так и систем ВК и ИС в целом, предложенных отечественными и зарубежными учеными.

Методика проектирования насоса крови (НК) мембранного типа, предложенная в работе [3], включает в себя четыре основных этапа: этап геометрического проектирования; анализ гемодинамики; технологическая подготовка производства; изготовление насоса. Недостатком описанной методики является то, что в ней показана лишь линейная последовательность этих этапов без учета обратных связей между ними. В работах [4, 5] предлагаются методики проектирования систем ВК и ИС пульсирующего типа в целом, без акцента на этапы проектирования НК и учета его параметров, хотя это устройство является одним из основных компонентов системы и имеет специфику в процессе проектирования. Таким образом, основываясь на положительных особенностях ранее разработанных методик проектирования, авторами статьи предлагается свой алгоритм проектирования пульсирующих систем ВК и ИС на базе ММ, который четко отражает взаимосвязи между основными этапами проектирования и выделяет некоторые новые этапы, связанные с процессом анализа гемодинамических характеристик НК, на которых до этого не было акцентировано внимание. В соответствии с предлагаемым алгоритмом порядок проектирования выглядит следующим образом (рис. 1).

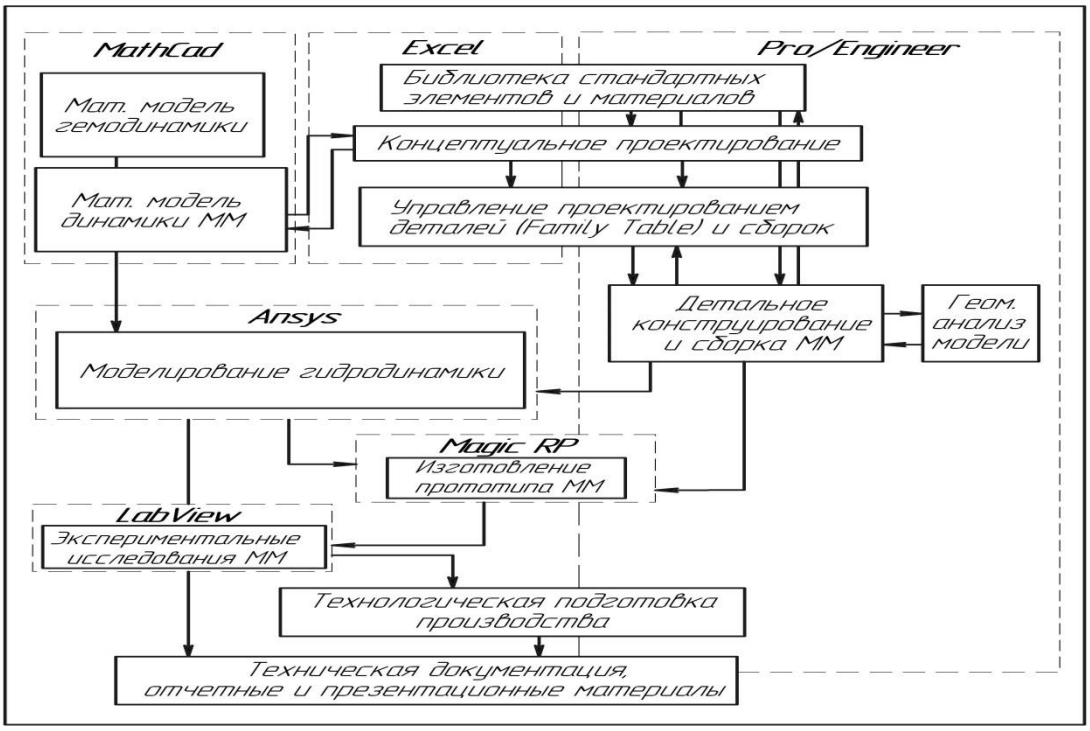


Рис. 1 – Алгоритм проектирования пульсирующих систем ВК и ИС на базе ММ, с заданными гемодинамическими показателями

Процесс проектирования начинается с формулирования и анализа МТТ, предъявляемых к системам ИС и ВК пульсирующего типа. Эти требования включают в себя три группы и формулируются в виде технического задания на изготовление изделия [6]. После окончания данного этапа необходимо провести концептуальную проработку системы с целью определения общего компоновочного решения. Следующим является этап геометрического моделирования, на котором происходит разработка и геометрический анализ твердотельных моделей, которые являются основой для всех следующих этапов создания изделия.

Одним из важных этапов является этап анализа гидродинамических процессов, протекающих в камере НК, при работе систем [7] (рис. 2).

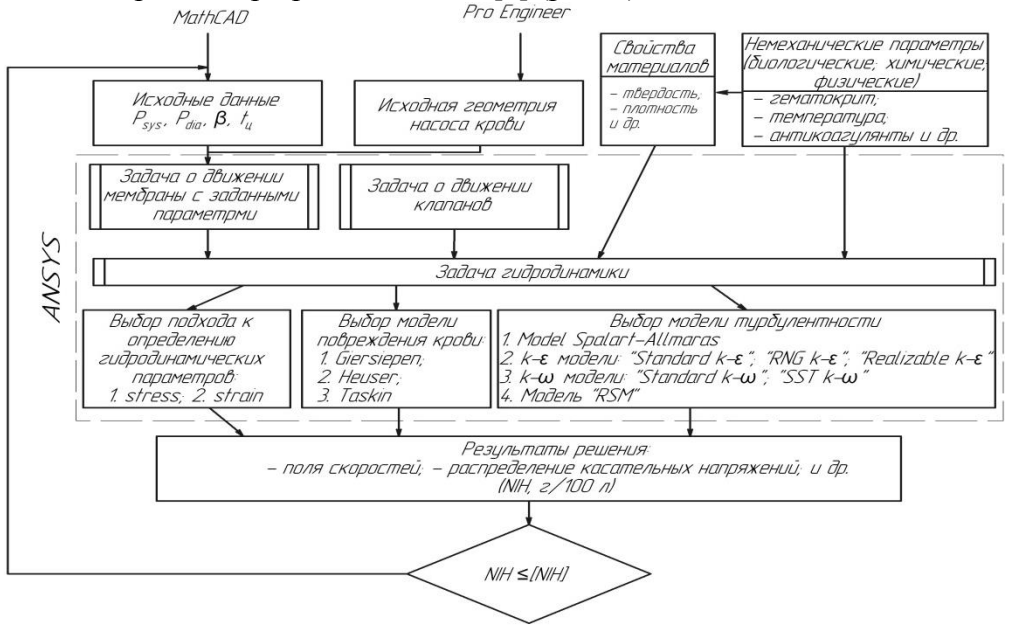


Рис. 2 – Последовательность этапов гемодинамического анализа при проектировании пульсирующих систем ВК и ИС на базе ММ

После получения решений, отвечающих установленным МТТ, целесообразно изготовить прототип.

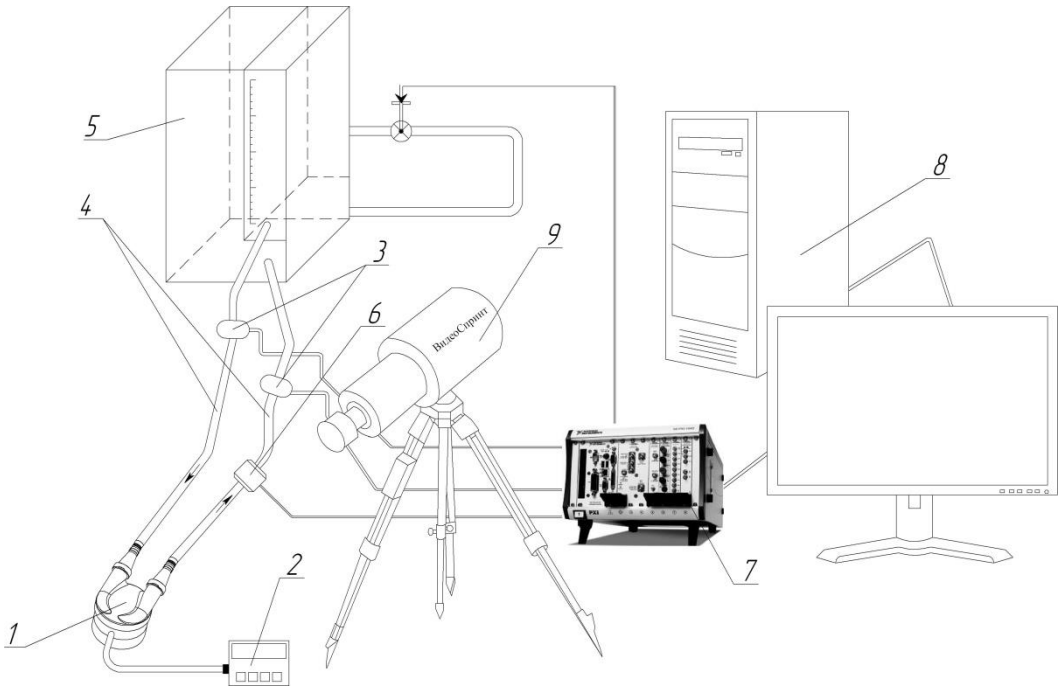


Рис. 3 – Схема стенда для исследования функциональных характеристик систем ВК и ИС на базе ММ: 1 – ММ ВК (ИС); 2 – система питания и управления ММ; 3 – датчики давления; 4 – магистрали; 5 – гидродинамический стенд; 6 – расходомер; 7 – устройство сбора данных; 8 – ЭВМ; 9 – высокоскоростная видеокамера

После создания прототипа необходимо провести комплекс экспериментальных исследований образца с целью определения его соответствия МТТ. Для оценки функциональных показателей работы систем ВК и ИС авторами предлагается конструкция стенда для проведения комплексных лабораторных испытаний, включающих оценку производительности, исследование тепловых характеристик приводов ИС и ВК, а также изучение гидродинамических характеристик потока крови (рис. 3).

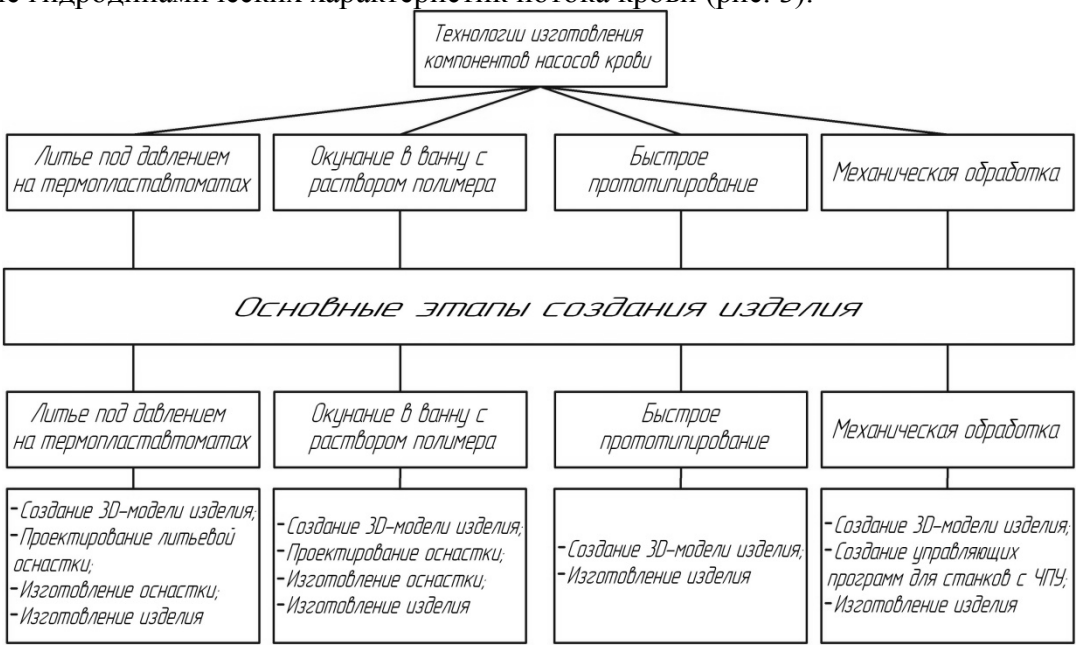


Рис. 4 – Технологии, применяемые для изготовления компонентов НК пульсирующих систем ВК и ИС на базе ММ

Этап технологической подготовки производства начинается с выбора материалов и анализа технологий для их переработки [8]. Новым методом изготовления компонентов насосов крови, является метод, основанный на использовании технологий быстрого прототипирования, которые позволяют получить как отдельные детали устройства, так и сборку изделия в целом (рис. 4). Итогом проведения этапа технологической подготовки

производства является выпуск отчетной и технологической документации и опытного образца. Применение описанного выше алгоритма, разработанного в рамках современного подхода к проектированию систем ВК и ИС, позволяет эффективно использовать обратные связи между отдельными этапами проектирования, и реализуется на базе современных программных продуктов и позволяет создать указанные системы, удовлетворяющие МТТ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых в рамках проекта МК-5860.2015.8.

Список литературы

1. *Lindemann U.* Methodische Entwicklung technischer Produkte, Springer Berlin. – 2007. – 337 p.
2. *Mussivand T., Day K. D., Naber B.C.* Fluid Dynamic Optimization of a Ventricular Assist Device Using Particle Image Velocimetry // ASAIO J. – 1999. – Vol. 45. №1 – p. 25 – 31.
3. Синтез ИЖС с заданными гемодинамическими характеристиками / Владим. гос. ун-т. [под ред. В.В. Морозова]. Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 180 с.
4. *Новикова Ю.А.* Создание и исследование мехатронного модуля имплантируемой системы вспомогательного кровообращения: автореф. дис. канд. техн. наук – Владимир, 2003. – 16 с.
5. *Kwant P.B.* Implantable electromechanical displacement blood pumps: systematic design and validation methods., 2007. – 157 p. – URL: http://darwin.bth.rwth-achen.de/opus3/volltexte/2008/2380/pdf/Kwant_Paul.pdf.
6. Медико-технические требования на создание электромеханической имплантируемой системы обхода левого желудочка сердца. – М.: НИИТиИО, 2001. – 10 с.
7. *Беляев Л.В., Иванченко А.Б., Жданов А.В., Морозов В.В.* Математическое моделирование гемодинамических характеристик насосов крови для систем вспомогательного кровообращения пульсирующего типа // Медицинская техника, 2015. – №1. – С. 17-20.
8. *Беляев Л.В., Жданов А.В.* Особенности современных подходов к проектированию систем искусственного сердца и вспомогательного кровообращения пульсирующего типа с применением ИПИ-технологий // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.; URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=11654.

05.02.02

А.П. Буйносов д.т.н., Е.А. Карамов

Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, byinosov@mail.ru, karamov92@rambler.ru.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ГАСИТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ МЕТОДОМ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

В статье приведены результаты испытания гидравлических гасителей КВЗ-ЛИИЖТ методом гармонических колебаний, на основе принципа Парето выполнен анализ надежности гасителей колебаний локомотивов, выявлены дефекты, приведшие к выходу их из строя.

Ключевые слова: *локомотив, колебания, гаситель, испытания, гармоника, метод, неисправность, дефекты, результаты*.

Объективный контроль работоспособности гидравлических гасителей колебаний (ГГК) производится на специализированных стендах методом гармонических колебаний с записью диаграммы. По диаграмме определяют параметр сопротивления сравнивают его с нормативным значением; усилия сопротивления; их симметричность на ходах «сжатия–растяжения» и максимальные значения в клапанном режиме; возможные дефекты гасителя.

Испытание ГГК производят на стендах, воспроизводящих гармоническое движение поршня относительно цилиндра $x = \alpha \cdot \sin\omega t$, где α – амплитуда колебаний, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$ – круговая частота, n – частота колебаний от 1 до 4 Гц [1]. Рабочую диаграмму записывают в координатах: «перемещение поршня–усилие сопротивления». У исправного ГГК в дроссельном режиме работы она имеет форму, близкую к эллипсу. Нарушение формы свидетельствует о наличии и виде дефекта (см. табл. 1). Площадь эллипса отражает работу сил сопротивления гасителя за период колебаний $W = \pi \cdot \alpha \cdot F(\alpha, \omega)$, т. е. энергетическую оценку работоспособности гасителя. Длина диаграммы в заданном масштабе по оси усилий представляет собой максимальное сопротивление – суммарное на ходах сжатия и растяжения $2 \cdot F(\alpha, \omega) = 2 \cdot F_m$ – силовую оценку неупругого сопротивления гасителя колебаний.

Наиболее подходящей и универсальной оценкой качества и количества демпфирования служит параметр сопротивления, определяемый как отношение развиваемого усилия к скорости поршня. С учетом нелинейности вязкого трения и баланса сил $F(\alpha, \omega) = \omega \cdot \beta \cdot \alpha = F_m$ параметр сопротивления β вычисляется по данным диаграммы с использованием формулы:

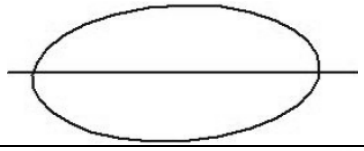
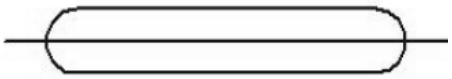
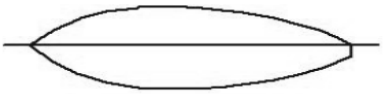
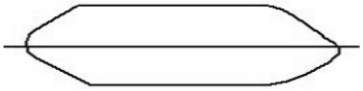
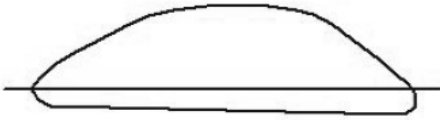
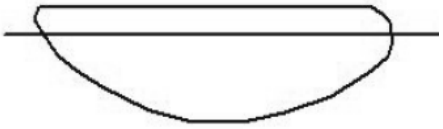
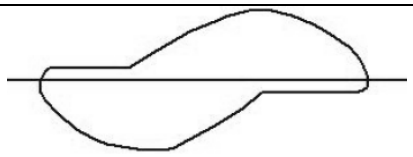
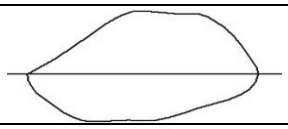
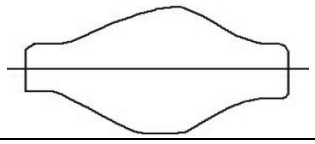
$$\beta = \frac{k \cdot l \cdot M_F \cdot 10^3}{h \cdot \omega},$$

где k – коэффициент линеаризации. k =1,1; 1,0; 0,85; l – длина диаграммы, мм; M_F – масштаб усилий, кН/мм; h – ширина диаграммы, мм; ω – круговая частота колебаний, $с^{-1}$.

В течение 2016 г. на стенде «ЭНГА» типа СИЛ-02-01, предназначенного для испытания ГГК локомотивов, пассажирских вагонов, вагонов метро испытанию подвергалось 779 гидравлических гасителей колебаний типа КВЗ-ЛИИЖТ. Испытания производятся методом гармонических колебаний под углом установки гидродемпфера от 0 до 90°, с построением рабочей диаграммы испытываемого ГГК. На экран монитора выводился график (рабочая диаграмма) и параметры гасителя.

В таблице приведен анализ полученных на стенде рабочих диаграмм, выявленная неисправность и их количество.

Таблица 1. Анализ диаграмм гасителей КВЗ-ЛИИЖТ

Форма диаграммы	Неисправность	Кол-во
	–	252
	Нет рабочей жидкости. Засорение, перекос впускного или предохранительного клапанов днища	44
	Износ направляющей или штока	87
	Не отрегулированы предохранительные клапана	45
	Недостаток рабочей жидкости. Засорение, неплотности клапанов в днище	112
	Износ поршневого кольца. Засорение, неплотности клапанов в поршне	105
	Ослаблены втулки в головках или крепления их на стенде, не затянута гайка корпуса	77
	Большая вязкость рабочей жидкости, засорение дросселей, клапанов	39
	Перекос гасителя на стенде, задиры цилиндра или поршня	18
Итого		779

Из таблицы видно, что из 779 испытанных ГГК только 252 были полностью исправны (32 %). В настоящее время для качественной оценки технического состояния узлов и агрегатов локомотивов применяется анализ Парето [2, 3]. Для построения диаграммы Парето на основе данных о неисправностях исходя из табл. 1, производим классификацию дефектов и определяем их количество в отказавших узлах (табл. 2).

Таблица 2. Классификация дефектов ГГК

Дефекты узлов	Количество дефектов	Накопленная сумма количества дефектов	Процент числа дефектов от общего количества дефектов	Накопленный процент
1	2	3	4	5
Недостаток рабочей жидкости. Засорение, неплотности клапанов в днище	112	112	21,2	21,2

Износ поршневого кольца. Засорение, неплотности клапанов в поршне	105	217	20,0	41,2
Износ направляющей или штока	87	304	16,5	57,7
Ослаблены втулки в головках или крепления их на стенде, не затянута гайка корпуса	77	381	14,6	72,3
Не отрегулированы предохранительные клапана	45	426	8,5	80,8
Нет рабочей жидкости. Засорение, перекос впускного или предохранительного клапанов днища	44	470	8,4	89,2
Большая вязкость рабочей жидкости, засорение дросселей, клапанов	39	509	7,4	96,6
Перекос гасителя на стенде, задиры цилиндра или поршня	18	527	3,4	100
Итого:	527	–	100	–

Для построения диаграммы Парето на оси абсцисс обозначаем название дефектов, а на оси ординат – количество дефектов [4]. Далее на уровне 80 % проводим горизонтальную линию до пересечения с кумулятивной кривой и из точки пересечения опускаем перпендикуляр на горизонтальную ось [5]. В итоге получаем две области дефекты, которые расположены слева от перпендикуляра являются значимым, а справа не значимые (см. рисунок).

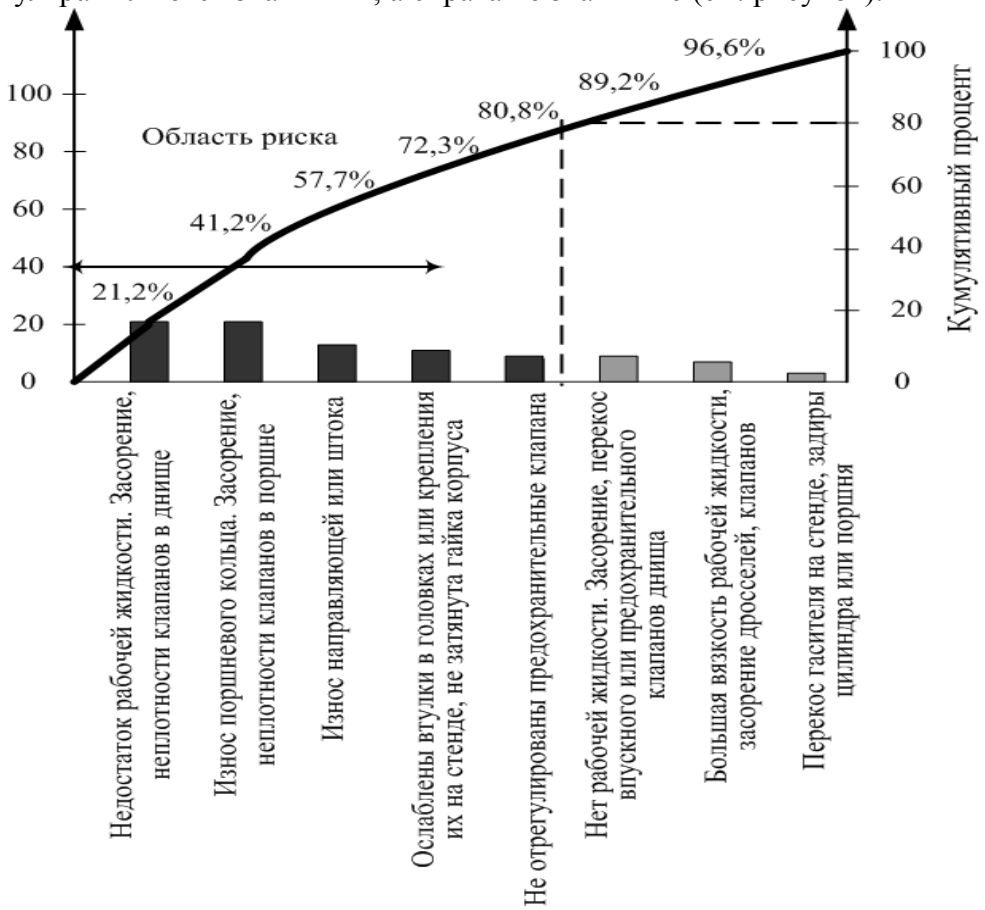


Рис. Диаграмма Парето по видам дефектов ГГК

Из построенной диаграммы Парето видно, что в области риска оказались такие дефекты как: недостаток рабочей жидкости. Засорение, неплотности клапанов в днище; износ поршневого кольца. Засорение, неплотности клапанов в поршне; износ направляющей или штока; ослаблены втулки в головках или крепления их на стенде, не затянута гайка корпуса; не отрегулированы предохранительные клапана. Такое положение обусловлено причинами, выявить которые для дальнейшего изучения и нивелирования можно при помощи других инструментов качества. Эти неисправности несомненно приведут к продолжительным возмущенным колебаниям кузова локомотива после прохода даже с небольшой скоростью рельсовых стыков и стрелочных переводов. Эти дефекты требуют разработки методов по повышению надежности гидравлических гасителей колебаний.

Список литературы

1. *Буйносов А.П.* Выбор остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11 // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2013. Т. 6. № 2. С. 221-228.
2. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Анализ надежности узлов электровозов ВЛ11 на основе принципа Парето и диаграммы Исикавы // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 1. С. 317-320.
3. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Анализ причин отказов узлов электровозов на основе закона Парето и диаграммы Исикавы // Вестник транспорта Поволжья. 2013. № 3 (39). С. 35-39.
4. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Анализ надежности узлов электровозов ВЛ10 и ВЛ11 на основе диаграммы Исикавы // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 93-96.
5. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Анализ отказов узлов электровозов постоянного тока на основе закона Парето // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 97-100.

05.02.04

А.П. Буйносов д.т.н., С.И. Лаптев

Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, byinosov@mail.ru, serj2212@mail.ru.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ ДЛЯ РЕМОНТА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР БЕЗ ПРЕКРАЩЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОКОМОТИВОВ

В статье рассматриваются различные марки триботехнических составов, возможность их использования для ремонта бандажей колесных пар без прекращения эксплуатации локомотивов, для снижения интенсивности процесса изнашивания тяжелонагруженных пар трения.

Ключевые слова: *локомотив, колесная пара, бандаж, ремонт, пара трения, триботехнический состав, износостойкость, применение, перспективы.*

Обработка гребней бандажей колесных пар электровозов триботехническим составом в настоящее время является одним из перспективных методов повышения ресурса колесных пар электровозов, обслуживающих магистральные линии и железные дороги необщего пользования [1].

Проблема изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов неоднократно выделялась многими учеными как наиболее значительная причина невозможности увеличения межремонтных пробегов локомотивов, что значительно увеличивает затраты на техническое обслуживание и простой локомотивов в ремонтных депо. В ходе комплексного анализа статистики отказов электровозов за 2010–2013 гг. было выявлено, что 15–20 % неплановых ремонтов вызвано необходимостью проведения обточек или замен колесных пар, причиной которых в 75 % случаев становится предельный износ гребня бандажа [2].

Известно, что за последние 20 лет происходило постепенное увеличение интенсивности изнашивания колесных пар локомотивов на Российских железных дорогах. В качестве основных причин такого изменения выделяются следующие: 1) номинальный размер ширины колеи на прямых участках составляет 1520 мм с допускаемым сужением на 4 мм, что приводит к смещению положений пятен контактов колес с рельсами в сторону гребня бандажа [3]; 2) увеличились перегонные скорости движения поездов и осевые нагрузки, что без должного внимания к техническому состоянию пути и подвижного состава приводит к изнашиванию поверхностей бандажей и рельсов; 3) жесткость пути при переходе на рельсы Р65 и железобетонные шпалы увеличилась в 1,2–2 раза, при этом сталь для изготовления бандажей не изменилась [4].

В настоящее время существует несколько методов повышения ресурса бандажей колесных пар. Наиболее эффективным из них является лубрикация гребней колесных пар локомотивов и боковой поверхности рельсов. Наличие смазочного материала в контакте колесо-рельс позволяет на практике снизить коэффициент трения на боковой поверхности головки рельса до значений 0,25–0,30 при относительно низкой удельной стоимости смазочного материала.

При указанном достоинстве лубрикация имеет и ряд недостатков. Метод позволяет изменить свойства так называемого третьего тела в процессе трения колесной пары о рельс, при этом никак не влияя на физические свойства контактирующих поверхностей (твердость, модуль упругости, вязкость). Покрытие из смазочного материала необходимо регулярно обновлять, что увеличивает регулярные затраты. Также при обработке неизбежно попадание смазочного материала на поверхность катания бандажа, что снижает коэффициент сцепления колеса с рельсом, негативно сказывается на реализации локомотивом силы тяги и повышает вероятность боксования колесных пар.

В качестве альтернативного метода повышения ресурса бандажей рассматривается применение триботехнического состава для обработки поверхностей трения [5].

Триботехнические составы – обобщенное название группы материалов, представляющих собой сухую смесь оксидов металлов и неметаллов, наибольшую долю из которых составляют SiO_2, MgO, Fe_2O_3, Al_2O_3, FeO (87–90 % в зависимости от конкретного состава). Попадая в узел трения, такой состав под действием термомеханических нагрузок образует на поверхности взаимодействующих тел металлокерамическое покрытие, состоящее из слоев толщиной $10^{-7}…10^{-8}$ м каждый. Образование покрытия происходит вследствие процесса высокоскоростного нагревания кристаллов исходного состава до температуры перехода в стеклообразное состояние, не допуская их плавления, с последующим охлаждением.

В настоящее время известно несколько триботехнических составов: РВЗ, НИОД, ФОРСАН, НАП, отличающихся процентным содержанием элементов и свойствами получаемых покрытий. В результате исследований, проводимых научными институтами, использование составов НИОД-2, НИОД-5, НАП для снижения изнашивания зубчатых передач и подшипников качения привело к увеличению ресурса узлов в 6–10 раз.

Устройство для нанесения (рис. 1) представляет собой стержень, содержащий смесь триботехнического состава, парафина и смазочного материала, закрепленный на вертикальной стойке рессорного подвешивания. Трение стержня о поверхность гребня бандажа приводит к увеличению температуры и расплавлению парафина. Триботехнический состав попадает на поверхность катания и удерживается с помощью смазочного материала, формируя первичное покрытие, которое переносится в зону контакта колеса и рельса за счет вращения колесной пары.

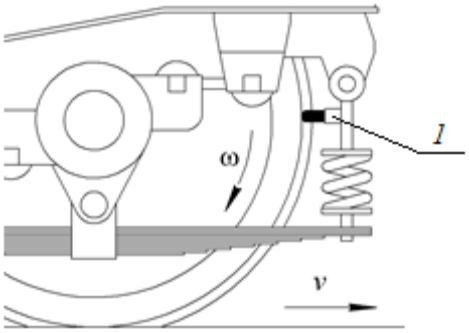


Рис. 1. Крепление стержня с триботехническим составом на локомотиве

Необходимыми условиями протекания процесса являются кратковременное поддержание значительных температур и давлений в месте формирования покрытия. В месте контакта колеса и рельса во время движения температура возрастает до 600 °С в штатном режиме. Давление в пятне контакта для грузового электровоза ВЛ11 составляет величину порядка 10^8 Па. В результате выполнения перечисленных требований за один оборот колеса на поверхности основного материала (бандажной и рельсовой стали) образуется один слой металлокерамического покрытия. При каждом последующем обороте колеса образуется новый слой на поверхности предыдущего. Таким образом, покрытие, полученное по окончанию процесса формирования, состоит из нескольких тысяч слоев.

Нанесение первичного покрытия и образование на поверхности катания металлокерамического слоя не требует привлечения сложных технических средств, что является значительным преимуществом.

Полученное покрытие обладает набором положительных качеств, в частности, коэффициентом теплового расширения ($\beta_{кер.} = 5…7\cdot10^{-6}$ $К^{-1}$), значительно ниже чем у стали ($\beta_{стали.} = 11…17\cdot10^{-6}$ $К^{-1}$). Металлокерамические материалы имеют низкие показатели удлинения при повышении температуры, что означает высокую устойчивость образовавшегося покрытия к последующему нагреванию, циклически происходящему при вращении колеса. Рассеивание излишнего тепла от зоны контакта колеса и рельса объясняется высокой теплопроводностью покрытия. За счет анизотропии материал может

обладать низким значением коэффициента Пуассона (0,20–0,24 для металлокерамического покрытия против 0,28–0,42 для бандажной стали). Частицы триботехнического состава на поверхности бандажа распределяются, заполняя микронеровности структуры поверхностного слоя. Покрытие после образования закрывает собой неровности и тем самым снижает величину шероховатости.

Исследования, проведенные на Свердловской железной дороге, показали, что ресурс бандажей электровозов ВЛ11 при обработке триботехническим составом НИОД-2 увеличился в 1,4 раза. При этом были выявлены недостатки технологии: непостоянный контакт стержня с триботехническим составом и поверхности гребня и изнашивание покрытия вследствие трения тормозных колодок.

На кафедре «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения была разработана комплексная модель влияния параметров контакта «колесо рельс» на ресурс бандажей колесных пар электровозов (рис. 2).

Рис. 2. Блок-схема комплексной модели расчета ресурса бандажей

Расчеты с использованием модели подтвердили данные, полученные при экспериментальном исследовании. Также был разработан комплекс мер, позволяющих исключить негативные факторы и повысить эффективность обработки бандажей триботехническим составом, увеличивая ресурс в 2,5–3 раза в зависимости от условий работы электровоза.

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Разработка автоматизированного рабочего места мониторинга параметров колесных пар локомотивов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2011. № 1. С. 43-46.

2. *Костюков В.Н., Сизов С.В., Аристов В.П.* Непрерывный мониторинг состояния моторвагонного подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2008. № 6. С. 41-42.

3. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Структурная классификация технических средств диагностики тягового подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 326-329.

4. *Буйносов А.П., Денисов Д.С.* Разработка диагностического комплекса при техническом обслуживании электровозов на ПТОЛ // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 2. С. 79-81.

5. *Буйносов А.П., Денисов Д.С.* О разработке прибора неразрушающего метода контроля бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 4. С. 69-72.

05.02.00

Н.С. Галимов, С.Н. Мухтарулин, Р.Т. Насибуллин, Л.Р. Саримов

Набережночелнинский институт КФУ, кафедра «Электроэнергетика и электротехника», Набережные Челны, sarlena1985@mail.ru

РАЗРАБОТКА РОТОРНОЙ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВКИ С КОНЦЕНТРАТОРОМ

В работе представлена разработка энергонезависимого рекламного щита на основе роторного ветродвигателя. При повышении кинетической энергии воздушный поток вращает ветророторы, которые соединены модульным способом с генератором. Преимуществом такой модульной конструкции является доступность в установке различных генераторов по мощностям в зависимости от ветровой местности.

Ключевые слова: *рекламный щит, ротор ветродвигателя, угловые согласующие элементы*.

В настоящее время практически никто не может представить современный городской пейзаж без обильно и с сочно украшенными, со статически фиксированной информацией, с динамическим экраном, со светодиодными панелями и т.д., рекламными щитами. В дневное время вся информация рекламных щитов доступна людям, однако с наступлением темноты эта информация теряет свою доступность. Конечно, очень многие рекламные щиты освещаются и в темное время суток, если эти щиты находятся недалеко от источника электрической энергии. Случаются ситуации, когда рекламный щит находится на очень удачном месте для передачи информации, например привокзальная территория, многолюдные крупные остановки общественного транспорта, большие проспекты, междугородние и международные трассы и т.д. Многие из этих щитов, если не обеспечены электропитанием, с наступлением темноты практически исчезают [1]. Из существующего уровня техники известна конструкция рекламного щита [2] и [3], которые имеют следующий недостаток: отсутствие автономных источников электропитания для освещения имеющейся информации на рекламном щите в темное время суток, устанавливаемых далеко от стационарных или сетевых источников электроснабжения.

В настоящее время нами ведется работа по созданию энергонезависимых рекламных щитов, которые могут рекламировать заданную информацию почти круглосуточно. Понятно, что в ночное время необходимо обеспечить рекламные щиты искусственным освещением. Для освещения в темное время суток подходят накальные лампы освещения, энергосберегающие лампы и наконец, светодиодные источники света. Источниками электроэнергии могут быть обычная электросеть с напряжением 220 вольт переменного тока, аккумуляторная батарея напряжением 12 вольт или 24 вольта, электрогенератор с двигателем внутреннего сгорания, пневмодвигатель-генератор и т.д. По нашему мнению во многих случаях достаточно укомплектовать эти рекламные щиты возобновляемыми источниками электроэнергии [4]. Для этой цели наиболее подходят роторные ветроэнергопреобразователи. Такая комплектация этих устройств могут вполне сочетаться в городском или ином облике, даже с точки зрения экологической чистоты, бесшумности и безопасности.

Наибольшая компактность по габаритным соображениям энергонезависимого щита, наверное, будет тогда, когда роторы будут расположены по периметру рекламного щита, где оси роторов занимают положение параллельное сторонам прямоугольного щита. На рис. 1 и рис. 2 предложен такой вариант компоновки рекламного щита и роторов электроветродвигателей.

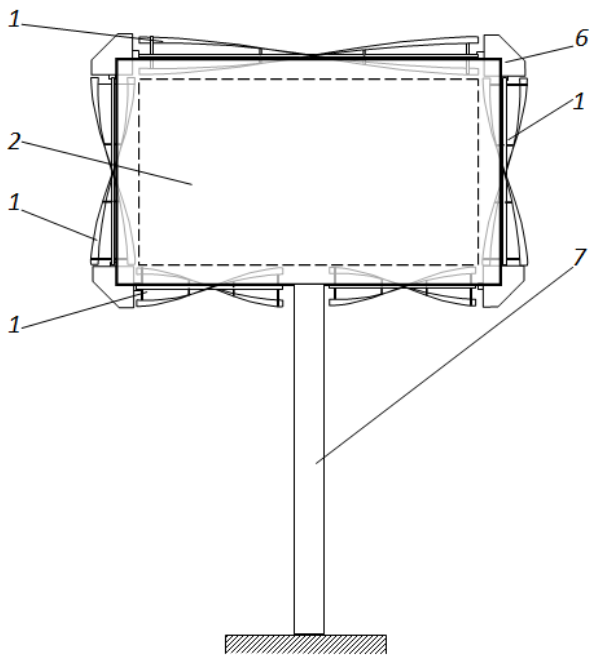


Рис. 1 – Компоновка энергонезависимого рекламного щита

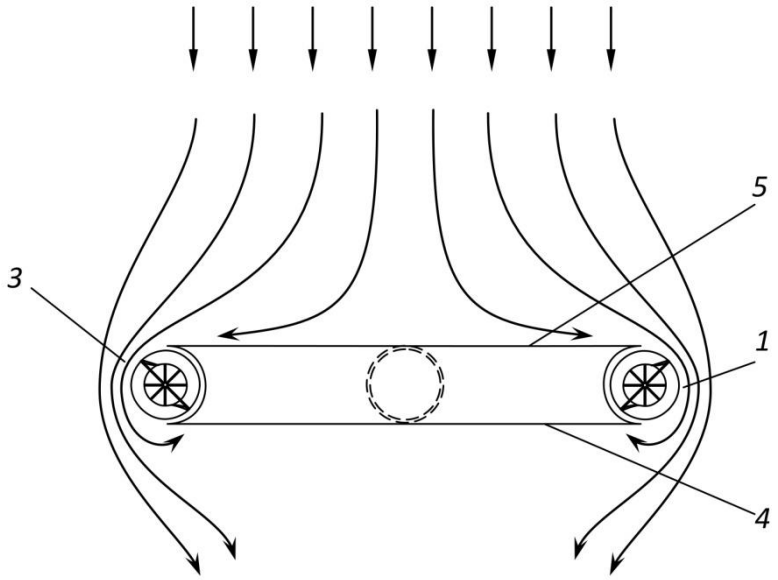


Рис. 2 – Принцип работы энергонезависимого рекламного щита

Установка состоит из роторов 1, расположенных вокруг прямоугольного щита 2. Вокруг прямоугольного планшета имеются углубления 3, глубина которых равна радиусу роторов 1. Толщина щита чуть больше диаметра ротора. Прямоугольный щит 2 спереди и сзади закрыт плоскими листами 4 и 5, которые являются одновременно информаторами и концентраторами воздушного потока. Для синхронизации вращений роторов и соблюдения сонаправленности роторы установлены на угловые согласующие элементы 6.

Установка работает следующим образом. При набегании воздушного потока на щит 5 (концентратор), центральные слои воздушного потока затормаживаются, статическое давление по мере приближения к щиту начинает возрастать. Эти слои образуют как уплотненный перед щитом обтекатель. Вокруг этой зоны из-за удлинения пути движения воздушные слои начинают ускоряться. Максимального значения скорости воздушного потока достигают при переходе вокруг переднего щита, т.е. перед зоной ротора 1. Повышенной кинетической энергией этот поток вращает роторы 1, отдавая мощность пропорционально кубу скорости воздушного потока. Вторая половина роторов находится в углублении 3 вокруг щита. Это защищает лопасти ветрового колеса от импульса усиленного набегающего потока. Разность давлений на лопасти роторов создает крутящий момент

вокруг оси ротора. Щиты 2 должны устанавливаться на опорах 7 так, чтобы максимальный луч розы ветров на данной местности был параллелен к нормали щита.

При изменении направления ветра на 180^0 задний щит становится концентратором воздушного потока, роторы начинают вращаться в противоположную сторону.

На рис. 3 представлен эскиз кинематической схемы гибридного щита.

Мощность привода питания плоского рекламного щита ориентировочно можно определить по формуле:

$$N=0.5\rho\xi SV^3 \quad (1)$$

Или с учетом, что площадь обтекания роторов $S=abr$:

$$N=0.5\rho\xi\, abrV \quad (2)$$

Представим, a =3м, b = 6м, r =0,2м.

$$N=3*6*0,2*0,5*1,25*0,3*V^3=0.675V^3 \quad (3)$$

Подставляя среднегодовую скорость ветра региона V=5м/с,

$$N=3*6*0,2*0,5*1,25*0,3*V^3=0.675V^3=0,675*125=84.375\ Вт.$$

Работа совершаемая при такой мощности за сутки может составлять:

$$A=Nt\ [Дж] \quad (4)$$

Подставляя полученную мощность и суточное время, в случае когда средняя скорость ветра сохраняется в течение 24 часов, получим:

$$A=84,375\cdot 24=2025\ Вт\cdot час=2,0\ кВт\cdot час$$

Этой энергии хватит на питание источника накального освещения мощностью 160 Вт в ночное время в течение 12 часов. Для светодиодного варианта освещения время непрерывного освещения может достигать до 120 часов, т.е. в течение 5 суток.

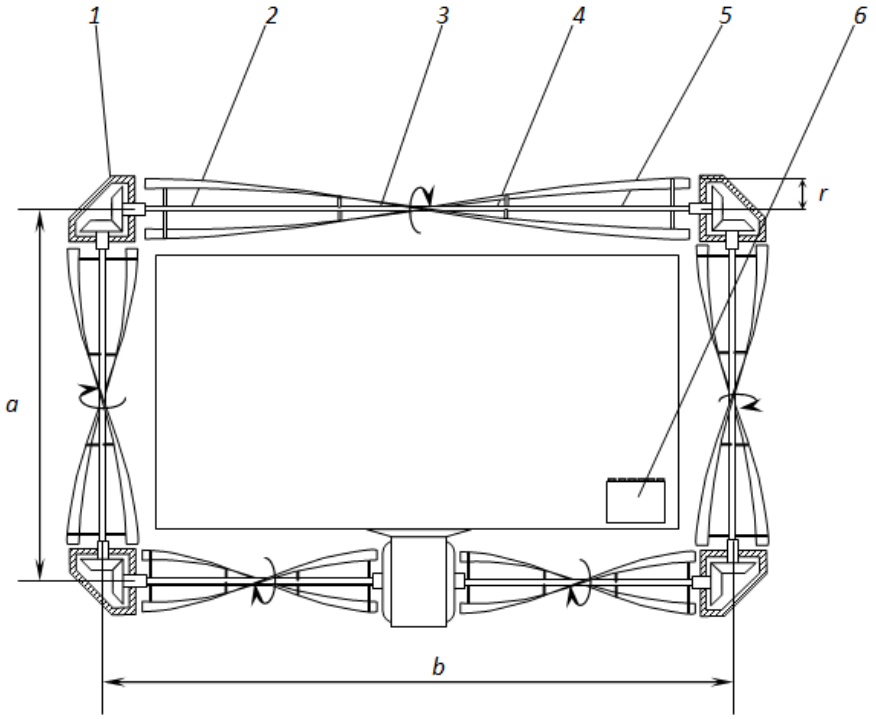


Рис. 3 – Кинематика привода генератора плоского рекламного щита
1 – угловая шестеренчатая передача между модулями; 2 – модуль (ротор); 3 – задняя плоскость щита; 4 – внутренняя полость щита; 5 – генератор; 6 – аккумуляторная батарея.

Список литературы

1. *Тосунова М.И., Гаврилова М.М., Полещук И.В.* Архитектурное проектирование. - М.: Высшая школа. 1988. 288 с.
2. *Патент РФ №2232433*, МПК G09F 15/00, опубликовано 10.07.2004
3. *Патент РФ №12482*, МПК G09F 7/18, опубликовано 10.01.2000
4. *Патент РФ № 149659*, МПК51 G09F19/22. Приоритет от 18.07.2014. Опубликовано 10.01.2015. Описание патента.

05.02.00

Г.Г. Закирзаков, Д.М. Бородин, Ш.М. Мерданов, В.В. Конев

Тюменский индустриальный университет, институт транспорта,
кафедра транспортных и технологических систем,
Тюмень, zakirzakovgg@tsogu.ru, mitronhi@mail.ru, konev@tsogu.ru, merdanovsm@tyuiu.ru

ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА МАШИН

Определено, что с целью повышения эффективности эксплуатации строительно-дорожных машин необходимо проводить тепловую подготовку гидропривода. Совершенствование таких систем основывается на экспериментальных исследованиях в которых используется измерительное оборудование. Определены основные характеристики измерительного оборудования для проведения экспериментальных исследований и на этой основе изготовлены новые конструкции.

Ключевые слова: *измерительное оборудование, температурные датчики, гидропривод строительно-дорожных машин, тепловая подготовка, экспериментальные исследования.*

В условиях эксплуатации строительно-дорожных машин (СДМ) на Севере возникают проблемы с обеспечением их работоспособности по нормативным наработкам до отказа. В первую очередь это связано с низкими температурами окружающего воздуха, которые воздействуют на все агрегаты и узлы машин. При влиянии температуры изменяются тепловые режимы работы агрегата. Это приводит к повышеным износам в местах трения подвижных элементов деталей узлов. Поэтому возникает задача по обеспечению их оптимального теплового состояния. Данная задача решается путем использования систем тепловой подготовки [1, 2, 3].

На сегодняшний день недостаточно решены вопросы тепловой подготовки гидропривода СДМ. Это связано с тем, что элементы гидросистемы объемного гидропривода расположены по всей машине, на рабочих органах (трубопроводы, гидродвигатели). Поэтому тепловая подготовка имеет большую продолжительность по времени и сопровождается работой гидропривода на холодной (имеющей высокую вязкость) рабочее жидкости [4, 5]. Для исследования данного вопроса в рамках проведения экспериментальных исследований по тепловой подготовке гидропривода подбирались температурные датчики, а также аппаратура для измерений. Анализ показал, что «тестеры» - цифровые мультиметры к которым в том числе относятся мультиметры серии М - 830 имеют функцию измерения температуры, но их использование (погрешности) различно для разных диапазонов температур, поэтому ограничено в применении [6, 7].

Входящий в комплект прибора измерительный датчик - термопара имеет высокие погрешности измерений, а также возникают грубые ошибки при проведении измерений в зоне низких отрицательных температур. Это связано с нелинейностью температурной зависимости при аналого - цифровом преобразовании (АЦП) тока внутренним АЦП прибора, а также высокой инерционностью процессов. Поэтому, была установлена практическая непригодность данных датчиков для измерения отрицательных температур. В то же время в области высоких температур (100 ^{0}С - 500 ^{0}С) точность данных датчиков была достаточна для принятых условий экспериментов, а инерционность по условиям нашего эксперимента не являлась определяющей характеристикой, которая бы изменяла результаты экспериментов в данном интервале температур.

Для замера температуры выхлопных газов ДВС в системах утилизации тепла [6, 8] использовалась термопара установленная в штуцер. Штуцер с вклеенной термопарой представлен на рис. 1. Такая конструкция датчика обеспечивала герметичность и надежность его крепления.

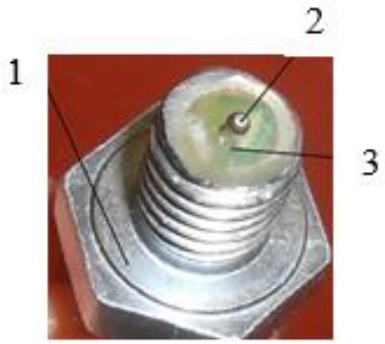


Рис. 1- Штуцер с вклеенной термопарой:
1 – штуцер; 2 – термопара; 3- эпоксидный клей

Для измерения температуры стенки гидрооборудования в небольших пределах (до + 150 ^{0}С) используют в качестве датчиков терморезисторы. Но результаты таких измерений имеют высокую погрешность из-за их нелинейной температурной характеристики. При этом применение различных линеаризующих цепей приводит к снижению чувствительности, сужению диапазона измерений. Более качественным температурным преобразователем является кремниевый транзистор в металлическом корпусе. По высоте корпуса были отобраны транзисторы 2Т 312Б.

Для получения чистой температурной зависимости от тока, через переход, необходимо поддерживать на нём постоянное напряжение для этого используется параметрический стабилизатор, формирующий опорное напряжение, приложенное к базе и коллектору измерительного транзистора. Эмиттер этого транзистора находится под потенциалом инвертирующего входа операционного усилителя. В результате, ток эмиттера транзистора зависит только от температуры, поскольку напряжение «база – эмиттер» поддерживается постоянным. С помощью микросхемы, содержащей 4 операционных усилителя в одном корпусе можно получить четыре канала для измерения температуры в четырёх точках.

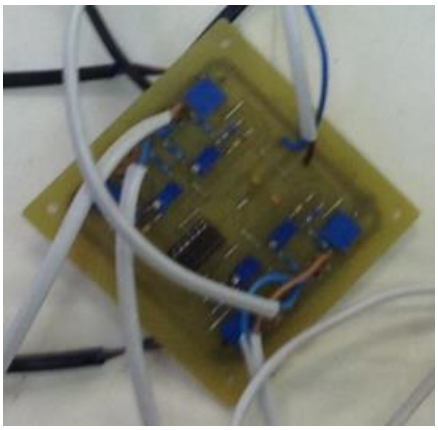
Конструкция температурного датчика учитывает возможность крепления термочувствительного элемента на различных поверхностях элементов гидропривода СДМ. В соответствие с этим предложена и изготовлена конструкция термодатчика (рис. 2), обеспечивающая тепловой контакт минимального термического сопротивления.

Рис. 2- Термодатчик

Датчик соединяется с преобразовательной приставкой с соблюдением полярности. Каждый канал соединялся с мультиметром, включенным в режиме измерения напряжения. Данная разработка обеспечивает также герметичность, механическую прочность и электрическую изоляцию термодатчика.

Для практического применения и устранения указанных недостатков стандартный мультиметр дополнен внешним преобразователем температуры в напряжение, меняющейся на 10 мВ на каждый градус прироста температуры и равное нулю при 0 ^{0}С. Погрешность измерения температуры, без учёта ошибки, свойственной её датчику не превысит ± 0,6 ^{0}С. Преобразователь на ОУ (операционном усилителе) и его блок питания представлен на рис. 3.

Разработанная приставка к цифровому мультиметру, позволяет измерять температуру элементов гидропривода от -60 ^{0}С до + 150 ^{0}С.



а)

б)

Рис. 3- Преобразователь: а) плата ОУ; б) блок питания

Таким образом, подобранное и изготовленное измерительное оборудование позволяет в допустимых пределах погрешностей проводить экспериментальные исследования тепловой подготовки гидропривода [6, 8].

Список литературы

1. *Каверзин, С.В.* Дроссельный разогрев рабочей жидкости в гидроприводе самоходных машин / С.В. Каверзин, В.П. Лебедев, Е.А. Сорокин // Строительные и дорожные машины. - 1995. - № 10. - С. 20-22.

2. *Карнаухов Н.Н., Конев В.В., Разуваев А.А* Система предпусковой тепловой подготовки ДВС и гидропривода: пат. 2258153 Рос. Федерация: МПК7 F02N 17/06. / Карнаухов Н.Н., Конев В.В., Разуваев А.А., Юринов Ю.В.; заявитель и патентообладатель ТюмГНГУ. - № 2004104477/06; заявл. 16.02.2004; опубл. 10.08.2005, Бюл. № 22.

3. *Карнаухов В.Н.* Сбережение топливно-энергетических ресурсов при использовании автомобильного транспорта зимой / В.Н. Карнаухов - Москва: ОАО Издательство «Недра», 1998. - 180 с.

4. *Васильченко В.А.* Особенности эксплуатации горных машин с гидроприводом при низких температурах / В.А. Васильченко //Горная Промышленность, №2 2006 URL: www.mining-media.ru/ru/article/newtech/1151-osobennosti.

5. *Карнаухов Н.Н.* Приспособление строительных машин к условиям Российского Севера и Сибири / Н.Н. Карнаухов. - Москва: Недра, 1994. - 351 с.

6. *Бородин Д.М.* Экспериментальные исследования прогрева гидропривода строительно-дорожных машин выхлопными газами ДВС / Д.М. Бородин // Инженерный вестник Дона. 2015 г. № 4, URL: http://www.ivdon.ru/ru/ magazine/archive/n4y2015/3287.

7. *Конев В.В.* Датчики для исследования теплового состояния машин, эксплуатируемых в условиях Крайнего Севера и Арктики / В.В. Конев, С.В. Созонов, Д.М. Бородин, Половников Е.В. // «Инженерный вестник Дона» 2015. – № 1; URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2791.

8. *V. Konev, Sh. Merdanov, M. Karnaukhov & D. Borodin* Thermal preparation of the trailbuilder fluid drive / Energy Production and Management in the 21st Century - The Quest for Sustainable Energy, 2014, Vol. 1 - Southampton. WIT Press, 2014. - pp. 697-706.

05.02.00

В.В. Конев, Г.Г. Закирзаков, Ш.М. Мерданов, Д.М. Бородин

Тюменский индустриальный университет, институт транспорта,
кафедра транспортных и технологических систем,
Тюмень, konev@tsogu.ru, merdanovsm@tyuiu.ru, zakirzakovgg@tsogu.ru, mitronhi@mail.ru

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ТЕПЛОВОЙ ПОДГОТОВКЕ ГИДРОДВИГАТЕЛЯ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

В статье представлено планирование эксперимента для исследований тепловой подготовки гидродвигателей строительно-дорожных машин. В рамках этого определены основные факторы влияния и их уровни варьирования на исследуемый процесс. Это позволило определить общее количество опытов для полного факторного эксперимента и построить матрицу планирования.

Ключевые слова: *строительно-дорожная машина, гидропривод, локальный прогрев, тепловая подготовка, планирование эксперимента*.

При эксплуатации строительно-дорожных машин (СДМ) в условиях Российского Севера снижается их наработка до отказа. Особенно это очевидно для гидропривода, имеющего разветвленную систему и большую протяженность (элементы гидропривода размещены по всей машине СДМ). Несмотря на то, что ведущие фирмы, производящие СДМ, осуществляют модернизацию гидросистемы, тепловая подготовка имеет большую продолжительность, а гидропривод начинает работать на холодной рабочей жидкости и не прогретых элементах гидропривода [1, 2]. Поэтому предлагается экспериментальное исследование локальной тепловой подготовки гидропривода [3, 4], в рамках которого проведено планирование.

Общее число опытов (N) в эксперименте зависит от количества факторов и уровней их варьирования, определяется по формуле:

$$N=m^k, \quad (1)$$

где, m – количество уровней фактора (в рассматриваем случае m=3);

k – количество факторов влияния (k=4).

Из формулы (1) следует, что с целью снижения трудоемкости, времени, затрат на проведение экспериментальных исследований необходимо уменьшать количество факторов влияния. При этом необходимо обеспечить полноту учета факторов [5].

Работа с большим массивом данных затруднительна. С целью повышения качества проведения исследований для обработки результатов экспериментальных данных, анализа факторов влияния, оценки качества экспериментов используются программы. Анализ программ показал, что они имеют преимущества и недостатки. Программы обработки данных приведены в таблице 1.

Основными требованиями к выбору факторов являются:

– измеримость фактора (возможность его измерения имеющимися средствами измерительной техники с необходимой степенью точности);

– управляемость (возможность поддерживать данный фактор на нескольких заранее заданных уровнях);

– независимость фактора (отсутствие зависимости от других факторов);

– совместимость факторов (возможность совместного учета нескольких факторов);

– некоррелированность факторов, так как существует положение о том, что наличие линейной корреляции между выбранными факторами не допускает планирования эксперимента.

Таблица 1 - Программы обработки данных

Параметр \ Программа	StatBase	STADIA	Minitab	SPSS	Statistica	Matlab	Matcad	Stata
Совместимость с системами	+*	-*	-	+	+	+	-	+
Объемов данных, (до 32000 наблюдений)	-	+	+	+	+	+	+	+
Построение графиков	+	+	+	+	+	+	+	+
Импорт данных	-	+	+	+	+	+	+	-
Экспорт данных	-	+	-	+	+	+	+	+
Русскоязычная версия	+	+	-	+	+	+	+	-
Демо-версии	-	+	-	+	-	+	+	-
Страна производитель	Россия		США					Канада
Бесплатное распространение	+	-	-	-	-	-	-	-
Цена использования (тыс. руб./год)**	-	6	151	179	2,7	107	159	138

Примечание: * «+», «-» - соответственно присутствие и отсутствие параметра; **-цены на 2016 год.

Для исследования прогрева гидроцилиндров различными средствами (электропрогрев, рабочей жидкостью, охлаждающей жидкостью ДВС) в соответствие с требованиями все факторы были разделены на управляемые, контролируемые и неконтролируемые (возмущающие). Определены следующие факторы, влияющие на тепловую подготовку гидродвигателя и гидробака:

X_1-температура воздуха, $t_{воз}$ (^{0}C);

X_2-сила тока, подаваемая на нагревательный элемент, I (А); расход жидкости (рабочей, охлаждающей ДВС), Q (л/мин);

X_3-толщина теплоизоляционного материала, δ (м);

X_4- масса гидроцилиндра (гидробака), m (кг).

Пределы варьирования выбраны так, что перекрывают рабочий диапазон конструкций гидроцилиндров (гидробаков). В таблице 2 представлены уровни факторов.

Таблица 2 - Матрица эксперимента электропрогрева гидроцилиндра

Характеристики плана	X_1, $t_{воз}$ ^{0}C	X_2, I(A)	X_3, δ(м)	X_4, m(кг)
Нулевой базовый уровень	-20	37	0,04	40
Интервал варьирования	20	10	0,02	20
Верхний уровень	0	47	0,06	60
Нижний уровень	-40	27	0,02	20

Аналогичным способом строилась матрица эксперимента прогрева гидроцилиндра рабочей жидкостью (охлаждающей жидкостью ДВС). В этом случае в исследование включался фактор влияния - расход жидкости (рабочей, охлаждающей ДВС), Q, который варьировался: 30, 20, 10 (л/мин).

Планирование эксперимента проводилось для сокращения времени исследований при сохранении достоверности полученных результатов. Поэтому опыты проводились только в ключевых точках факторного пространства. Эти точки определяются матрицей планирования. Для этого уровни факторов (таблица 2) кодируют. Знак «+» в таблице означает максимальный уровень фактора в выбранном интервале варьирования, знак «-» - его наименьший уровень, а знак «0» - базовый уровень фактора. Чередование знаков факторов на трех уровнях осуществляется соответственно в первом столбце поочередно, втором через 3, третьем столбце через 9 и т.д. [5].

Для перехода от натуральных значений к значениям «±1» проводится кодирование факторов, которое осуществляется по формуле:

$$X_i=(x_i-x_{j0})/J_j, \quad (2)$$

где, X_i - кодированное текущее значение фактора (±1); x_i - натуральное текущее значение фактора; x_{j0} - натуральное значение нулевого уровня.

$$J_j=(x_b+x_h)/2; \quad (3)$$

где, x_b и x_h - натуральные значения верхнего и нижнего уровней фактора; J_j - натуральное значение интервала варьирования.

Приведенная формула представляет собой линейное преобразование факторного пространства, т.е. перенос канала координат в точку, соответствующую x_{j0} и выбор масштабов по осям в единицах интервалов варьирования.

В исследованиях тепловых процессов в гидроприводе проводились пассивные и активные эксперименты. Независимая переменная - время, зависимая - температура гидроцилиндра (гидробака). Также для решения поставленных задач использовалась концепция последовательного эксперимента. Из формулы (1) следует, что для эксперимента количество опытов составит 81. При использовании активного многофакторного эксперимента для сведения к минимуму влияния систематических погрешностей проводилась рандомизация плана.

В соответствие с проведенным планированием экспериментальных исследований и подбором измерительного оборудования для экспериментальной установки, разрабатывается ход проведения эксперимента.

Список литературы

1. *Чмиль В.П.* Гидропневмопривод / Чмиль В.П. - СПб.: СПбГАСУ, 2010. – 176 с.

2. *Экснер Х., Фрейтаг Р., Д-р Гайс Х., Ланг Р., Оппольцер Й., Шваб П., Зумпф Е., Остендорфф У., Райк М.* // Учебный курс по гидравлике. Том 1. Rexroth Bosch Group: Бош Рексрот АГ Сервис Автоматизация Дидактика г. Эрбах Германия, 2003. - 323 с.

3. *V. Konev, Sh. Merdanov, M. Karnaukhov & D. Borodin* Thermal preparation of the trailbuilder fluid drive / Energy Production and Management in the 21st Century - The Quest for Sustainable Energy, 2014, Vol. 1 - Southampton. WIT Press, 2014. - pp. 697-706.

4. *Конев В.В.* Математическое моделирование тепловых процессов локального прогрева гидродвигателя [Электронный ресурс] / В.В. Конев, Н.Н. Карнаухов, Б.А. Гуляев, Д.М. Бородин, Е.В. Половников // «Современные проблемы науки и образования», 2014, №5. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/119-15076 (дата обращения: 11.04.2016).

5. *Конев В. В.* Методы моделирования и исследования машин: методические указания к практическим занятиям для аспирантов / Конев В. В., Райшев Д. В. Часть 1. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 18 с.

05.02.00

Ш.М. Мерданов, В.В. Конев, Г.Г. Закирзаков, Д.М. Бородин

Тюменский индустриальный университет, институт транспорта,
кафедра транспортных и технологических систем,
Тюмень, merdanovsm@tyuiu.ru, konev@tsogu.ru, zakirzakovgg@tsogu.ru, mitronhi@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОГРЕВУ ГИДРОБАКА СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

В статье представлено описание экспериментального исследования по тепловой подготовке гидропривода строительно-дорожных машин. Предлагается вариант прогрева гидропривода, в который дополнительно встроен малый гидробак. Это позволяет снизить время на тепловую подготовку гидропривода машин.

Ключевые слова: *строительно-дорожная машина, гидропривод, гидробак, тепловая подготовка, экспериментальные исследования*.

Основной из задач по эксплуатации строительно-дорожных машин (СДМ) в условиях низких отрицательных температур является подготовка их к работе. При этом в условиях автономного функционирования СДМ – вдали от баз и отсутствия внешних источников тепловой энергии возникают проблемы с тепловой подготовкой гидропривода. Поэтому исследования в данном направлении являются актуальными [1, 2, 3, 4, 5].

Исследуется гидросистема с применением малого гидробака, который дополнительно устанавливается в систему гидропривода СДМ. Это позволяет исключить изменения конструкции штатного гидробака [6].

С целью изучения динамики разогрева рабочей жидкости выхлопными газами проведены исследования. Эксперименты проводились при температуре ниже -10 ^{0}С. Для исследований была разработана и изготовлена установка. Было подобрано измерительное оборудование [7]. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

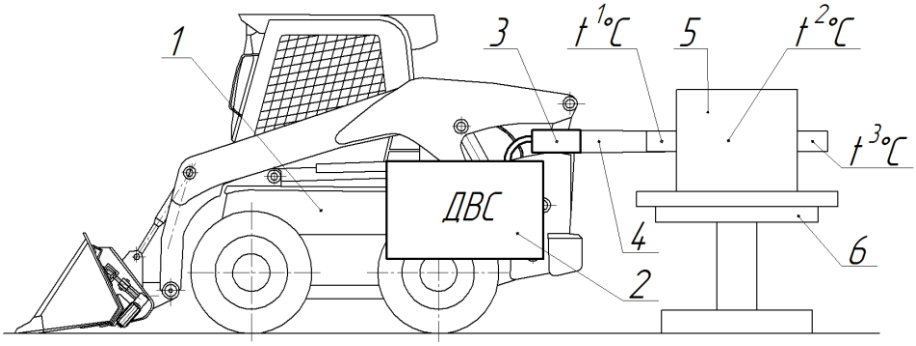


Рис. 1- Схема экспериментальной установки: 1 - базовая машина, 2 – ДВС, 3 – выхлопная труба, 4-соединительный гибкий газопровод, 5 – гидробак, 6 - стойка, t^1 ^{0}С - место расположения термопары измерения температуры газов , входящих в теплообменник; t^2 ^{0}С- место расположения датчика измерения температуры рабочей жидкости; t^3 ^{0}С - место расположения термопары измерения температуры газов , выходящих из теплообменника

Для прогрева рабочей жидкости выхлопными газами двигателя внутреннего сгорания (ДВС) на боковой стенке бака в области теплообменника расположены патрубки из стальной трубы. Центральные оси патрубков смещены относительно оси симметрии бака в противоположные стороны. Это сделано с целью увеличения пути прохождения горячих отработавших газов ДВС через теплообменник и, соответственно, повышением, передаваемого количества тепла рабочей гидравлической жидкости. Экспериментальная установка малого гидробака с теплообменником представлен на рис. 2.

В качестве гибкого патрубка для подвода выхлопных газов к баку экспериментальной установки использован алюминиевый гофрированный рукав. В экспериментальной установке использовалось гидравлическое масло ВМГЗ. Эксперименты проводились на базе погрузчика «Мустанг 3300» с дизельным двигателем YANMAR 4TNV 98T. Данная машина имеет гидрофицированный привод рабочих органов и движителя.

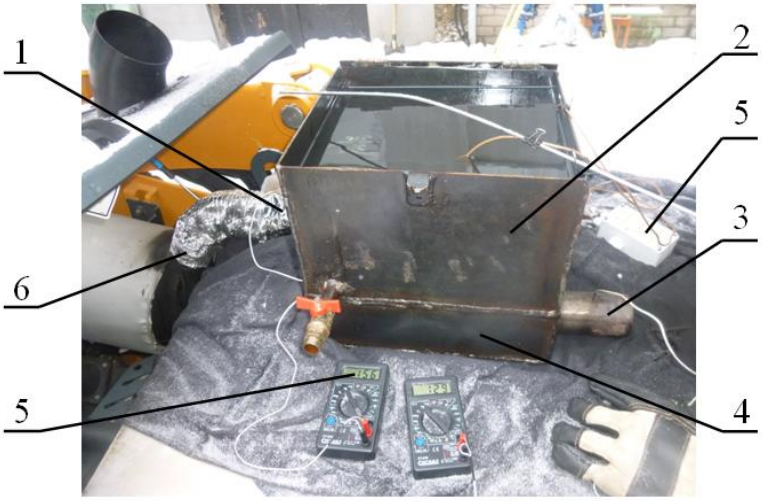


Рис. 2- Малый гидробак с теплообменником:
1 - входной патрубок; 2 – малый гидробак; 3 - выходной патрубок;
4 – теплообменник; 5 – измерительное оборудование;
6 – выхлопная труба СДМ (Mustang 3300)

Первым этапом эксперимента являлось выравнивание начальной температуры гидробака с температурой окружающей среды. Для этого гидробак на длительное время находился под воздействием температуры внешнего окружающего воздуха.

В процессе проведения эксперимента измерялась температура выхлопных газов на входе в гидробак и на выходе из него. Измерения проводились с помощью термопар, подключенных к мультиметрам серии DT-838. Данные датчики имеют погрешности ± 1,5 ^{0}C при измерении температуры (до + 500 ^{0}C). Термопары размещались во входном и выходном патрубке теплобменника бака в специально просверленных для этого отверстиях. Изоляция контактов термопары от стенок труб, обеспечивалась термоусадочными трубками.

Температура рабочей жидкости измерялась в двух точках: первая это температура днища бака с рабочей жидкостью в точке близкой к середине днища; вторая ближе к верхней границе слоя жидкости, так как горячие слои жидкости поднимаются вверх и осуществляется конвективный теплообмен. Измерения проводились с помощью электронного регистратора температуры E-Clerk, имеющего два независимых канала измерения температуры. При этом использовались термодатчики PT 1000.

Фиксация датчика канала 1 на металлическом днище бака обеспечивалась встроенным магнитом. Второй датчик подвешивался в геометрическом центре бака с рабочей жидкостью.

Схема компоновки малого гидробака на Mustang 3300V представлена на рис. 3.

Эксперимент состоял из двух серий опытов: первый на холостых оборотах ДВС (800-900 об/мин); второй на средних оборотах ДВС (1300-1500 об/мин).

При проведении эксперимента значения текущей температуры с интервалом в 1 сек. заносились в память измерительного устройства. В результате обработки данных были сформированы графики зависимости температуры нагрева рабочей жидкости от времени прогрева для обоих каналов.

В процессе эксперимента также были получены графики изменения температуры выхлопных газов на входе и на выходе теплообменника.

Анализ полученных результатов показывает, что на прогрев днища бака влияет начальная температура окружающего воздуха. При этом, чем она ниже, тем до меньших значений прогревается стенка бака, отделяющая теплообменник от рабочей жидкости. Также определено, что нагрев рабочей жидкости в меньшей степени зависит от начальной температуры окружающего воздуха, чем нагрев нижней стенки бака. Это объясняется тем, что, теплопроводность рабочей жидкости ниже теплопроводности металла.

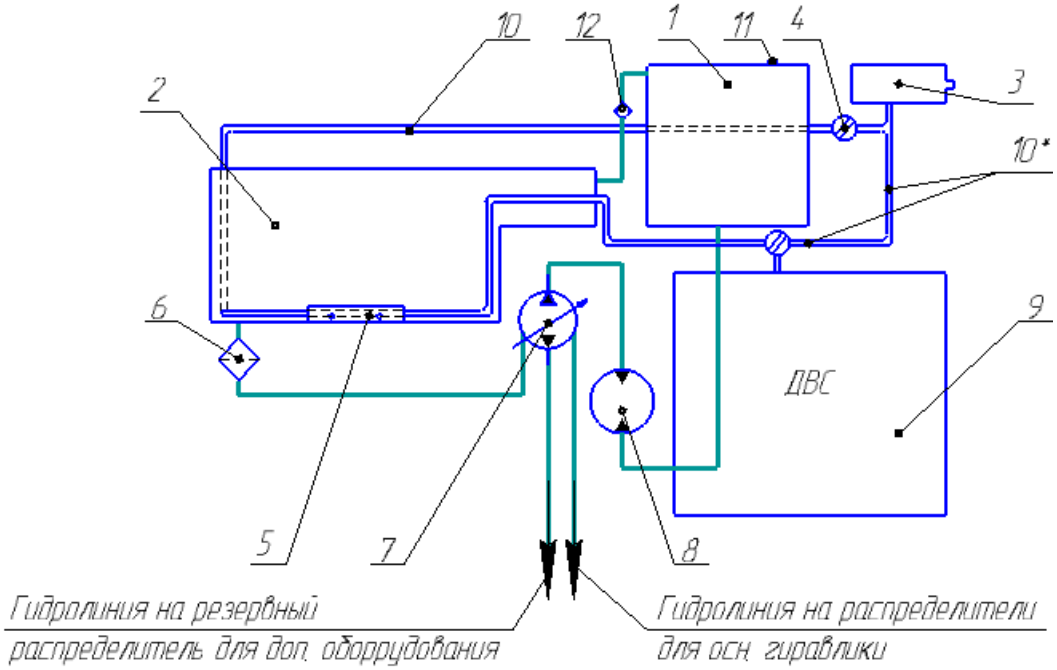


Рис. 3- Схема компоновки малого гидробака на Mustang 3300V:
1-основной гидробак; 2-дополнительный гидробак; 3-выхлопная труба;
4-заслонка; 5-крепление для гидравлики; 6-фильтр; 7-насос;
8-гидромотор; 9-ДВС; 10-трубопровод отработавших газов ДВС;
11-горловина залива масла; 12-клапан обратный; *-участки трубопровода, обмотанные асбестом

Прогрев днища бака начинается практически сразу, и темп прогрева в первые 3-4 минуты составляет 5 ^{0}С/мин. Затем рост температуры несколько замедляется и становится равным 1 ^{0}С/мин. Изменение температуры днища гидробака отличается значительными колебаниями температуры. Это объясняется неравномерным поступлением газов из ДВС в теплообменник малого гидробака.

Температура прогрева рабочей жидкости имеют равномерный рост без резких скачков параметра, так как рабочая жидкость обладает теплоаккумулирующими свойствами, следовательно, сглаживает резкие изменения температуры. При этом, в первые 3-4 минуты прогрева рабочей жидкости в середине бака не наблюдается повышения температуры. Она начинает расти равномерно с темпом 0,7- 0,9 ^{0}С. Зависимость нагрева от начальной температуры влияет в меньшей степени.

При прогреве малого гидробака выхлопными газами на повышенных до среднего уровня оборотах (1300-1800 об/мин.), наблюдался в первые 3 минуты более быстрый прогрев дна гидробака, затем рост температуры замедлялся и составил 2-3 ^{0}С/мин.

Анализ зависимостей по изменению температуры газов на входе и выходе из теплообменника (на холостых оборотах ДВС) показывает, что после первых 5-8 минут наблюдается снижение температуры входящих газов на 5-10 ^{0}С. После 4-5 минут прогрева температура выходящих из теплообменника газов также начинает снижаться. Через 20-25 минут температура выходящих из теплообменника газов составляет (+ 90 ^{0}С), что связано со стабилизацией процесса нагрева гидробака и тепловым излучением в окружающую среду.

Таким образом, модернизация гидропривода системой утилизации тепла ДВС позволяет уменьшить время тепловой подготовки гидропривода СДМ. При этом прогрев рабочей жидкости в гидробаке целесообразно осуществлять до температуры (-8 ÷ -10 ^{0}C) на средних оборотах ДВС.

Список литературы

1. *Башта Т.М.* Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта – Москва: Машиностроение, 1982. - 423 с.
2. *Васильченко В.А.* Особенности эксплуатации горных машин с гидроприводом при низких температурах / В.А. Васильченко //Горная Промышленность, №2 2006 URL: www.mining-media.ru/ru/article/newtech/1151-osobennosti.
3. *Чооду, О.А.* Разработка методики оценки влияния климатических условий на эксплуатацию дорожно-строительных машин: автореф. дисс. … канд. техн. наук /О.А. Чооду. – СПб., 2009. – 128 с.
4. *Лахов Р.* Эксплуатация тяжелой техники при низких температурах / Р. Лахов //Основные Средства, №11, 2009 г. URL: http://www.os1.ru/article/4346-opyt-ekspluatatsii-tehniki-caterpillar-v-jestochayshih-usloviyah-kraynego-severa-ekspluatatsiya-tyajeloy-tehniki-pri-nizkih-temperaturah.
5. *V. Konev, Sh. Merdanov, M. Karnaukhov & D. Borodin* Thermal preparation of the trailbuilder fluid drive / Energy Production and Management in the 21st Century - The Quest for Sustainable Energy, 2014, Vol. 1 - Southampton. WIT Press, 2014. - pp. 697-706.
6. *Конев В.В., Мерданов Ш.М., Карнаухов Н.Н., Половников Е.В., Созонов С.В.* Система прогрева гидропривода СДМ с использованием малого гидробака. Патент на изобретение № 2559227 Дата поступления 11.07.2014 Регистрационный № 2014128725.
7. *Конев В.В.* Датчики для исследования теплового состояния машин, эксплуатируемых в условиях Крайнего Севера и Арктики / В.В. Конев, С.В. Созонов, Д.М. Бородин, Половников Е.В. // «Инженерный вестник Дона» 2015. – № 1; URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2791.

05.02.00

И.Н. Сидоров, П.А. Хилов

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
кафедра теоретической и прикладной механики и математики,
Казань, Sidorovin@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАНСФЕРНОГО ФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПЕРЕМЕННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ НАПОЛНИТЕЛЯ

В работе предложена математическая модель процесса двумерной фильтрации связующего при инжекции через анизотропный наполнитель, ограниченный жесткими непроницаемыми формующими стенками. Рассмотрен метод решения задачи двумерной фильтрации связующего через двунаправленную ткань, «усиленную» однонаправленными лентами виде системы правильных многоугольников.

Ключевые слова: *двумерная фильтрация, тензор проницаемости, коэффициент динамической вязкости, фронт фильтрации.*

Цикл изготовления изделия методом инжекции/вакуумной инфузии включает в себя следующие основные стадии (рисунок 1)[1], [2]: 1). Укладка армирующего наполнителя в жесткую форму; 2). Установка жестких непроницаемых формующих стенок и системы пропитки; 3). Пропитка армирующего наполнителя смолой за счет нагнетания связующего под давлением на входе и понижения давления связующего на выходе формы.

В данной работе рассматривается моделирование процесса пропитки армирующего наполнителя смолой, соответствующего стадии 3.

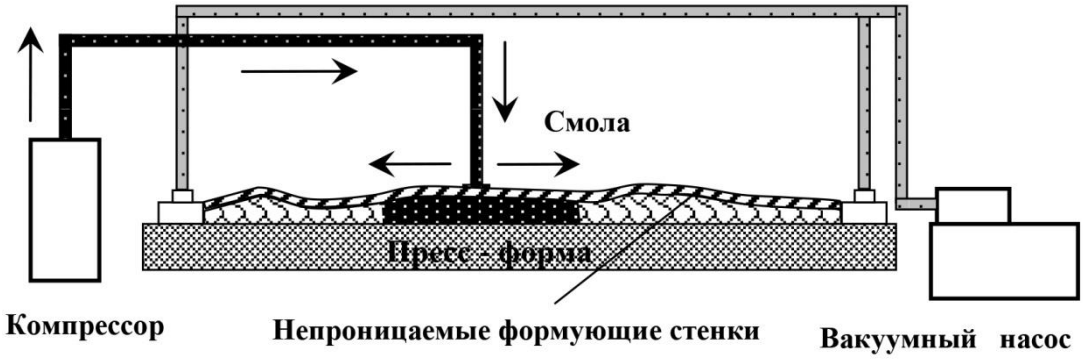


Рис. 1- Схема получения изделия методом инжекции/вакуумной инфузии

Целью работы является построение математической модели процесса двумерной фильтрации связующего при инжекции через анизотропный наполнитель, с помощью которой представляется возможным проводить верификацию имеющихся программных комплексов вычисления параметров двумерной фильтрации связующего через двунаправленную плоскую ткань, а также устанавливать количественную связь между геометрическими и физико – механическими характеристиками связующего и армирующего наполнителя для обеспечения надлежащей пропитки последнего.

Рассмотрим элемент, состоящий из армирующего наполнителя между непроницаемыми жесткими формующими стенками, через который протекает связующее (смола) (рисунок 2). Течение связующего через армирующий наполнитель будем моделировать законом Дарси [3], который устанавливает линейное отношение между скоростью потока и градиентом прикладываемого давления. Закон Дарси и уравнение неразрывности связующего через армирующий наполнитель в трехмерной постановке в нормально связанной с базовой поверхностью σ системе координат $x_1 x_2 x_3$ (рисунок 2) записываются следующим образом (здесь и далее по повторяющимся индексам проводится суммирование, нижний индекс после

запятой означает производную по соответствующей координате):

$$v_i = -\mu^{-1} K_{ij} p_{,x_j}, \quad \left(-\mu^{-1} K_{ij} p_{,x_j}\right)_{,x_i} \quad , i, j = \overline{1,3} \quad , \qquad (1)$$

где v_i - компоненты скорости потока, K_{ij} - компоненты тензора проницаемости, μ – коэффициент динамической вязкости связующего, p - давление в связующем.

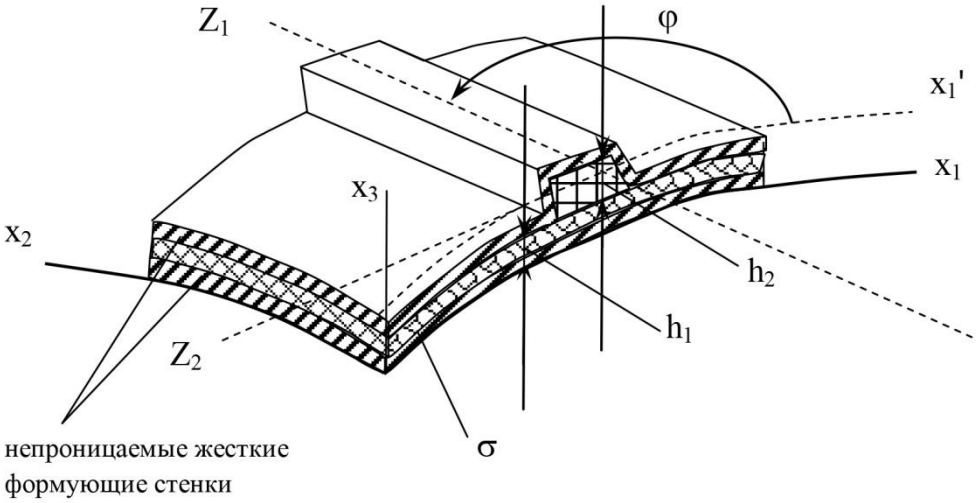


Рис. 2- Двунаправленная ткань толщиной h_1, однонаправленная лента толщиной h_2, угол φ между главной осью тензора проницаемости ленты Z_1 и главной осью тензора проницаемости ткани x_1

Уравнение (1) получено при следующих предположениях: 1). Процесс пропитки ткани и ленты изотермический и коэффициент динамической вязкости связующего на протяжении всего процесса имеет постоянное значение; 2). Гравитационные силы, из-за небольших габаритов получаемых изделий, не учитываются; 3). Решение задачи нестационарной фильтрации связующего через наполнитель осуществляется с помощью «метода последовательной смены стационарных состояний» [3] с подвижным фронтом фильтрации. Также предположим, что в силу малости толщин ткани и ленты поле давления по координате x_3 постоянно. При этом компонента скорости v_3 удовлетворяет неравенствам $v_3 << v_1, v_2$, и уравнение (1) после интегрирования по координате x_3 преобразуется к виду

$$\left(-\mu^{-1} H \hat{K}_{\alpha\beta} p_{,x_\beta}\right)_{,x_\alpha} = 0, \quad \hat{K}_{\alpha\beta} = H^{-1} \int_0^{H(x_1,x_2)} K_{\alpha\beta} dx_3, \quad \alpha, \beta = 1,2, \qquad (2)$$

где $H(x_1, x_2)$ - толщина пакета (ткань+лента), отсчитываемая от базовой поверхности σ (рисунок 2) до верхней непроницаемой формующей поверхности. Функция $H(x_1, x_2)$ является кусочно – постоянной.

В дальнейшем при решении задач инжекции/вакуумной инфузии связующего через наполнитель будем отбрасывать непроницаемые жесткие формующие стенки и рассматривать фильтрацию связующего в плоскости $0x_1x_2$, решая задачу с использованием уравнения (2).

Рассмотрим задачу направленной фильтрации связующего через двунаправленную плоскую ткань, имеющую главные оси тензора проницаемости x_1, x_2, и «усиленную» системой замкнутых контуров из однонаправленной ленты в виде правильного шестиугольника (рисунок 3).

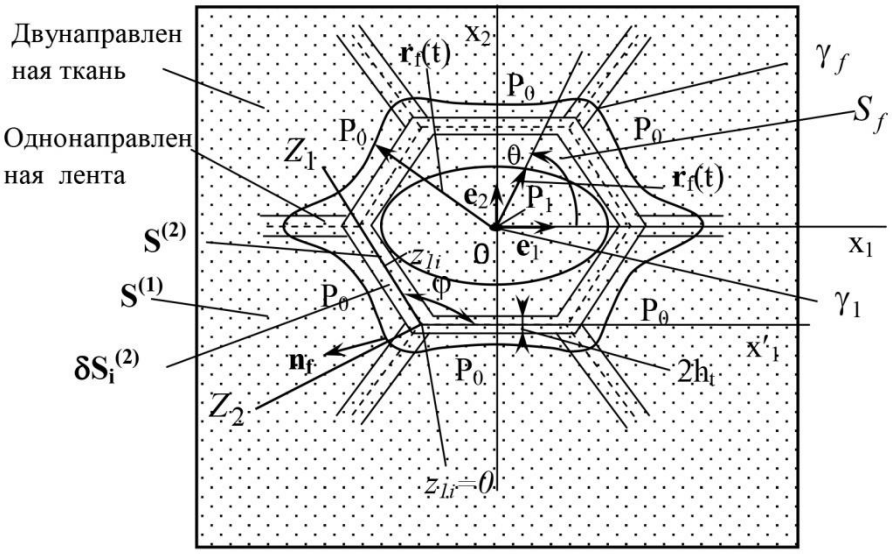


Рис. 3 - Фильтрация связующего через анизотропный наполнитель

В начале координат через эллиптическое отверстие нагнетается связующее под давлением P_1, а на внешней границе поддерживается пониженное давление $P_0 < P_1$.

Уравнение (2) представим в векторно – матричном виде как

$$\operatorname{div}\left(-\mu^{-1}\boldsymbol{K}^{(1)}\nabla p\right)=\delta F\ ,\ \delta F=\operatorname{div}\left(\mu^{-1}\beta_2\left(\tilde{\boldsymbol{K}}^{(2)}-\boldsymbol{K}^{(1)}\right)\nabla p\right),$$
$$\beta_2=\begin{cases}0\ , & (x_1,x_2)\in S^{(1)}\ ,\\ h_2/(h_1+h_2)\ , & (x_1,x_2)\in S^{(2)}\ ,\end{cases} \tag{3}$$

где

$$\boldsymbol{K}^{(\alpha)}=\begin{bmatrix}K_{11}^{(\alpha)} & 0\\ 0 & K_{22}^{(\alpha)}\end{bmatrix},\ \alpha=1,2,\ \tilde{\boldsymbol{K}}^{(2)}=\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{K}^{(2)}\boldsymbol{B}\ ,\ \boldsymbol{B}(\varphi)=\begin{bmatrix}\cos\varphi & \sin\varphi\\ -\sin\varphi & \cos\varphi\end{bmatrix},$$

$\boldsymbol{K}^{(1)},\boldsymbol{K}^{(2)}$ - матрицы проницаемости соответственно двунаправленной ткани в системе координат $0x_1x_2$ и однонаправленной ленты в системе координат $0Z_1Z_2$, $\boldsymbol{B}(\varphi)$ - матрица перехода, ∇ - оператор градиента, $S^{(1)},S^{(2)}$ - области, занятые соответственно двунаправленной тканью и однонаправленной лентой, T - символ транспонирования.

Фундаментальное решение оператора левой части уравнения (3) в системе координат $0x_1x_2$, для области $S_f=S^{(1)}\cup S^{(2)}$ представляется как [4]

$$P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})=-\mu\Big/\left(2\pi\sqrt{\det\boldsymbol{K}^{(1)}}\right)\ln\sqrt{\left(\left(\boldsymbol{K}^{(1)}\right)^{-1}(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{\eta})\cdot(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{\eta})\right)} \tag{4}$$

и удовлетворяет уравнению

$$\operatorname{div}_x\left(-\mu^{-1}\boldsymbol{K}^{(1)}\nabla_x P\right)=\delta(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{\eta}), \tag{5}$$

где $\left(\left(\boldsymbol{K}^{(1)}\right)^{-1}\boldsymbol{x}\cdot\boldsymbol{x}\right)$ - скалярное произведение, $\boldsymbol{x}=[x_1\quad x_2]^T$, $\boldsymbol{\eta}=[\eta_1\quad \eta_2]^T$, $\delta(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{\eta})$ - дельта – функция Дирака, ∇_x - оператор градиента в системе координат $0x_1x_2$. Для области S_f, ограниченной контурами γ_f (линии фронта фильтрации), γ_1 (граница области нагнетания), интегральное представление неизвестного поля давления на основании второй формулы Грина имеет вид [4]

$$\beta(\boldsymbol{\eta})p(\boldsymbol{\eta}) = \oint_{\gamma_1}\left(V_n^{(1)}P_1 - v_{n1}P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\right)d\gamma + \oint_{\gamma_f}\left(V_n^{(f)}P_0 - v_{nf}P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\right)d\gamma +$$
$$+ \int_{S^{(2)}} P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\mathrm{div}_x\left(\mu^{-1}\beta_2\left(\tilde{\boldsymbol{K}}^{(2)} - \boldsymbol{K}^{(1)}\right)\nabla_x p\right)d\sigma,\ \boldsymbol{\eta} \in S_f \cup \gamma_1 \cup \gamma_f\ , \qquad (6)$$

где $\boldsymbol{n}_f$, $\boldsymbol{n}_1$ - внешние нормали к контурам γ_f, γ_1 соответственно (нормаль $\boldsymbol{n}_1$ направлена внутрь области нагнетания), $\boldsymbol{v}_f = \dfrac{d\boldsymbol{r}_f}{dt}$ - вектор скорости распространения фронта фильтрации (рисунок 3), $\beta(\boldsymbol{\eta}) = \begin{cases} 1/2, & \boldsymbol{\eta} \in \gamma_{1(f)} \\ 1, & \boldsymbol{\eta} \in S_f \end{cases}$ - параметр, определяющий расположение точки с радиус – вектором $\boldsymbol{\eta}$ [4],

$$V_n^{(1)}(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta}) = \left(-\mu^{-1}\boldsymbol{K}^{(1)}\nabla_x P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\cdot\boldsymbol{n}_1\right)\Big|_{\boldsymbol{x}\in\gamma_1},\ v_{n1} = \left(-\mu^{-1}\boldsymbol{K}^{(1)}\nabla_x p\cdot\boldsymbol{n}_1\right)\Big|_{\boldsymbol{x}\in\gamma_1},$$
$$V_n^{(f)} = \left(-\mu^{-1}\boldsymbol{K}^{(1)}\nabla_x P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\cdot\boldsymbol{n}_f\right)\Big|_{\boldsymbol{x}\in\gamma_f},\ v_{nf} = \left(-\mu^{-1}\boldsymbol{K}^{(1)}\nabla_x p(\boldsymbol{x})\cdot\boldsymbol{n}_f\right)\Big|_{\boldsymbol{x}\in\gamma_f}.$$

Для области $S^{(2)} = \bigcup_i \delta S_i^{(2)}$, занятой элементами однонаправленной ленты с подобластями $\delta S_i^{(2)}$ (рисунок 3) поверхностный интеграл в (6) представим в виде

$$\int_{\bigcup_i \delta S_i^{(2)}} P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\mathrm{div}_x\left(\mu^{-1}\beta_2\tilde{\boldsymbol{K}}\nabla_x p\right)d\sigma = \sum_i \int_{\delta S_i^{(2)}} P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\mathrm{div}_x\left(\mu^{-1}\beta_2\tilde{\boldsymbol{K}}\nabla_x p\right)d\sigma = \qquad (8)$$
$$= \sum_i \int_0^{L_i(\tilde{L}_i)} dz_{1i}\int_{-h_t}^{+h_t}\mu^{-1}\beta_2 P(\boldsymbol{z},\boldsymbol{\eta})\mathrm{div}_{zi}\left(\mu^{-1}\beta_2\hat{\boldsymbol{K}}\nabla_{zi}p\right)dz_{2i}\ ,$$
$$\hat{\boldsymbol{K}} = \boldsymbol{K}^{(2)} - \boldsymbol{B}(\varphi_i)\boldsymbol{K}^{(1)}\boldsymbol{B}^T(\varphi_i),\ \nabla_{zi}p = \begin{bmatrix}\dfrac{\partial p}{\partial z_{1i}} & \dfrac{\partial p}{\partial z_{2i}}\end{bmatrix}^T,$$

где $L_i(\tilde{L}_i)$ - длина (часть длины) средней линии однонаправленной ленты элемента $\delta S_i^{(2)}$, h_t - полутолщина ленты (постоянная для каждой подобласти).

После подстановки (8) в (6) получим интегральное уравнение для определения нормальных компонент вектора скорости фронта фильтрации

$$\beta(\boldsymbol{\eta})p(\boldsymbol{\eta}) = \oint_{\gamma_1}\left(V_n^{(1)}P_1 - v_{n1}P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\right)d\gamma + \oint_{\gamma_f}\left(V_n^{(f)}P_0 - v_{nf}P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\right)d\gamma +$$
$$+ \sum_i \int_0^{L_i(\tilde{L}_i)} dz_{1i}\int_{-h_t}^{+h_t}\mu^{-1}\beta_2 P(\boldsymbol{z},\boldsymbol{\eta})\mathrm{div}_{zi}\left(\mu^{-1}\beta_2\hat{\boldsymbol{K}}\nabla_{zi}p\right)dz_{2i},\ \boldsymbol{\eta} \in \gamma_1 \cup \gamma_f\ . \qquad (9)$$

В отсутствии однонаправленной ленты давление p удовлетворяет однородному уравнению (3) и представляется в виде

$$\tilde{p}(x_1, x_2, t) = -\frac{P_1 - P_0}{\ln\left(k_0^{-1} k_f(t)\right)} \ln\left(k_0^{-1}\sqrt{\left(\left(\boldsymbol{K}^{(1)}\right)^{-1} \boldsymbol{x}\cdot\boldsymbol{x}\right)}\right) + P_1 , \qquad (10)$$

где k_0, $k_f(t)$ - безразмерные константы, определяющие эллиптическое отверстие нагнетания связующего и фронт фильтрации в виде эллипса с соответствующими радиус - векторами

$$\boldsymbol{r}_0(\theta) = k_0\left(\boldsymbol{e}_1\sqrt{K_{11}^{(1)}}\cos\theta + \boldsymbol{e}_2\sqrt{K_{22}^{(1)}}\sin\theta\right),$$

$$\boldsymbol{r}_f(\theta) = k_f(t)\left(\boldsymbol{e}_1\sqrt{K_{11}^{(1)}}\cos\theta + \boldsymbol{e}_2\sqrt{K_{22}^{(1)}}\sin\theta\right),$$

где t - время, θ - угол между радиус – вектором и осью x_1(рисунок 3), а для константы $k_f(t)$ имеется соотношение вида

$$k_f^2(t_f)\left[\ln\left(k_0^{-1}k_f(t_f)\right) - \frac{1}{2}\right] + \frac{k_0^2}{2} = \frac{2(P_1 - P_0)}{\mu} t_f \quad ,$$

в котором t_f - время прохождения фронта фильтрации от отверстия нагнетания до радиус – вектора $\mathbf{r}_f(t)$.

В силу малых размеров отверстия нагнетания и пренебрежения влияния однонаправленных лент на распределение давления около этого отверстия полагаем, что нормальная компонента вектора скорости на контуре γ_1 приближенно определяется с помощью (10) как $\tilde{v}_{n1} = \left(-\mu^{-1}\boldsymbol{K}^{(1)}\nabla_x\tilde{p}\cdot\boldsymbol{n}_1\right)\Big|_{\boldsymbol{x}\in\gamma_1}$. При этом секундный объемный расход связующего вычисляется по формуле

$$Q(t_f) == 2\pi h_1\sqrt{K_{11}^{(1)}K_{22}^{(1)}}\,\frac{P_1 - P_0}{\mu\ln\left(k_0^{-1}k_f(t_f)\right)} .$$

После подстановки $\tilde{v}_{n1}$ в (9) получим окончательное интегральное уравнение для определения нормальных компонент вектора скорости фронта фильтрации в момент времени t_f

$$\frac{1}{2}P_0 = \oint_{\gamma_1}\left(V_n^{(1)}P_1 - \tilde{v}_{n1}P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\right)d\gamma + \oint_{\gamma_f}\left(V_n^{(f)}P_0 - v_{nf}P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\right)d\gamma +$$
$$+\sum_i\int_0^{L_i(\tilde{L}_i)} dz_{1i}\int_{-h_t}^{+h_t}\mu^{-1}\beta_2 P(\boldsymbol{z},\boldsymbol{\eta})\,\mathrm{div}_{zi}\left(\mu^{-1}\beta_2\hat{\boldsymbol{K}}\nabla_{zi}p\right)dz_{2i},\ \boldsymbol{\eta}\in\gamma_f . \qquad (11)$$

Решение задачи определения положения фронта фильтрации в зависимости от времени выполняется с помощью итерационного алгоритма, включающего следующие этапы.

1. На n – й итерации для момента времени $t_f^{(n)}$ с текущим положением фронта γ_f решается интегральное уравнение (11) согласно представлению

$$\frac{1}{2}P_0 = \oint_{\gamma_1}\left(V_n^{(1)}P_1 - \tilde{v}_{n1}P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\right)d\gamma + \oint_{\gamma_f}\left(V_n^{(f)}P_0 - v_{nf}^{(n)}P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\right)d\gamma +$$
$$+\sum_i\int_0^{L_i(\tilde{L}_i)} dz_{1i}\int_{-h_t}^{+h_t}\mu^{-1}\beta_2 P(\boldsymbol{z},\boldsymbol{\eta})\,\mathrm{div}_{zi}\left(\mu^{-1}\beta_2\hat{\boldsymbol{K}}\nabla_{zi}p^{(n-1)}\right)dz_{2i},\ \boldsymbol{\eta}\in\gamma_f .$$

2. Выполняется пересчет давления в подобластях $\delta S_i^{(2)}$ с помощью (9) по формуле

$$p^{(n)}(\boldsymbol{\eta}) = \oint_{\gamma_1}\left(V_n^{(1)}P_1 - \tilde{v}_{n1}P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\right)d\gamma + \oint_{\gamma_f}\left(V_n^{(f)}P_0 - v_{nf}^{(n)}P(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\eta})\right)d\gamma +$$

$$+\sum_i \int_0^{L_i(\tilde{L}_i)} dz_{1i}\int_{-h_t}^{+h_t}\mu^{-1}\beta_2 P(\boldsymbol{z},\boldsymbol{\eta})\mathrm{div}_{zi}\left(\mu^{-1}\beta_2\hat{\boldsymbol{K}}\nabla_{zi}p^{(n-1)}\right)dz_{2i},\ \boldsymbol{\eta}\in\delta S_i^{(2)}.$$

3. Проверяется выполнение условия $\max\limits_{\boldsymbol{x}}\dfrac{\left|p^{(n)}(\boldsymbol{x}) - p^{(n-1)}(\boldsymbol{x})\right|}{\left|p^{(n-1)}(\boldsymbol{x})\right|} \le \varepsilon,\ \boldsymbol{x}\in S^{(2)}$, где ε - заданная малая величина. В случае выполнения п. 3 итерационный процесс прекращается и выполняется расчет радиуса – вектора нового положения фронта фильтрации по формуле

$$\boldsymbol{r}_f(t_f^{(n)} + \Delta t) = \boldsymbol{r}_f(t_f^{(n)}) + v_{nf}^{(n)}(\boldsymbol{r}_f(t_f^{(n)}))\boldsymbol{n}_f\Delta t,$$

где Δt - интервал времени, определяемый из численного эксперимента. В противном случае переходят к пункту 1.

В качестве метода решения интегрального уравнения (11) можно использовать метод граничных элементов [4]. Разбив контур γ_f на конечное число плоских элементов, записав аппроксимационную форму интегрального уравнения (11), получим линейную систему уравнения для определения узловых значений нормальных компонент вектора скорости фронта фильтрации для средних точек этих элементов,

Список литературы

1. *Щеглов Б. А., Сафонов А. А.* Теоретические основы и прикладные задачи технологии композитов - М: Изд-во «ЛЕНАНД», - 2015. - 112 с.
2. Прикладные задачи в области математического моделирования технологических процессов изготовления изделий из композиционных материалов //*dubna-cluster.ru/images/data/gallery/45_212_Safonov.pptx.*
3. *Аравин В.И., Нумеров С.Н.* Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. - М.: Государственное издательство технико – теоретической литературы, 1953. - 616 с.
4. *Бенерджи П., Баттерфилд Р.* Методы граничных элементов в прикладных науках. - М.: Мир, 1984. - 494 с.

05.02.00

С.Э. Шаклеина к.т.н., Е.Н. Тимашева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, кафедра Технологии и механизации производств,
Березники, tmp@bf.pstu.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ ВАКУУМ-ФИЛЬТРОВ, ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ РАМЫ

В статье представлены особенности проектирования вакуум-фильтров с применением современных программных продуктов. Проанализированы пути повышения эффективности обезвоживания хлорида калия. Приведены результаты, полученные при расчете рамной конструкции вакуум-фильтра на прочность и жесткость.

Ключевые слова: *вакуум-фильтр, обезвоживание хлорида калия, рамная конструкция, прочность и жесткость.*

Процесс обезвоживания хлорида калия при производстве калийных удобрений проводится на разных аппаратах, таких как ленточные вакуум-фильтры и центрифуги. Вакуум-фильтры используются для разделения неоднородных систем, содержащих жидкую и твердую фазы. На ленточных фильтрах достигается четкое разделение осадка и фильтрата и возможно разделение медленно фильтрующихся и малоконцентрированных суспензий. Кроме того, ленточный вакуум-фильтр позволяет работать с тонким слоем осадка, при этом осаждение крупных частиц происходит под действием сил тяжести.

Основной параметр, обеспечивающий обезвоживание зернистого материала до необходимой влажности, является перепад давления, создаваемый вакуумной установкой. Этот перепад зависит от сопротивлений воздушного тракта, ловушки, ресивера, сетки, ленты и слоя материала. Помимо последнего, сопротивления других участков можно считать неизменными, имеющих определенные значения. Таким образом, повышение степени обезвоживания хлорида калия определенной дисперсности можно достичь оптимальным сочетанием значений вакуумметрического давления, толщины осадка, времени пребывания материала на ленте, вязкости раствора на поверхности частиц. Задачу можно решить за счет повышения вакуума под лентой, уменьшения толщины осадка, увеличения времени нахождения материала на ленте, снижения вязкости поверхностного раствора солей на частицах. [1]

Однако уменьшение толщины осадка и увеличение длительности нахождения материала на фильтре связано со скоростью движения ленты. При сохранении производительности первое условие требует увеличения скорости движения ленты, второе условие, наоборот – снижения с более высоким слоем. Что противоречит поставленной задаче.

Снижение вязкости поверхностного раствора солей обеспечивается прогревом осадка паровой камерой. За счет этого облегчается фильтрация раствора через слой. Однако, в виду значительного количества мелких частиц менее 0,1 мм (до 10%), верхние слои осадка быстро прогреваются, частично растворяются, образуя на поверхности частиц насыщенный раствор хлорида калия. Попадая в поток холодного воздуха (за пределами паровой камеры) из-за перенасыщения раствора и последующей кристаллизации образуется плотный слой обезвоженного продукта. Пористость слоя снижается и уменьшается просос раствора соли с частиц. Нижний слой более рыхлый имеет на поверхности больше свободной влаги, чем верхний слой. Готовый продукт получается с влажностью 9-10%, что больше регламентной величины 6-7%.

Чтобы обеспечить движение свободной влаги с поверхности частиц, необходим поток воздуха через нижний слой, а это возможно, когда уменьшится сопротивление верхнего слоя. Для этого нужно взрыхлить верхний просушенный слой и обеспечить доступ воздуха для прохождения нижнего слоя. Для этой цели можно предусмотреть установку рыхлителя. Это

устройство состоит из пластины с закрепленными на ней лопатками в 2 ряда. Такое сопряжение в резьбовом соединении позволяет поворачивать лопатки под определенный угол к направлению движения ленты. Основываясь на опытных данных, можно утверждать, что использование рыхлителя с лопатками, расположенными под углом 57° к направлению движения ленты, позволяет повысить эффективность обезвоживания на 0,5%. [2].

Рама фильтра изготавливается из гнутого листа и профиля из нержавеющей стали. Рама спроектирована так, чтобы обеспечить натяжение ленты и прочность конструкции в загруженном (рабочем) состоянии, а также для устойчивости к вибрационным нагрузкам, возникающим при работе фильтра рядом расположенных подвижных механизмов. Основные соединения стальных конструкций выполняются на болтах, второстепенные соединения – сваркой. Рама выполняет несущую функцию для приводного и натяжного барабанов, системы опоры дренажной ленты, вакуум-камеры, механизмов центрирования и натяжения фильтроткани, роликов поддержки фильтроткани и ленты, систем регенерации фильтроткани и ленты.

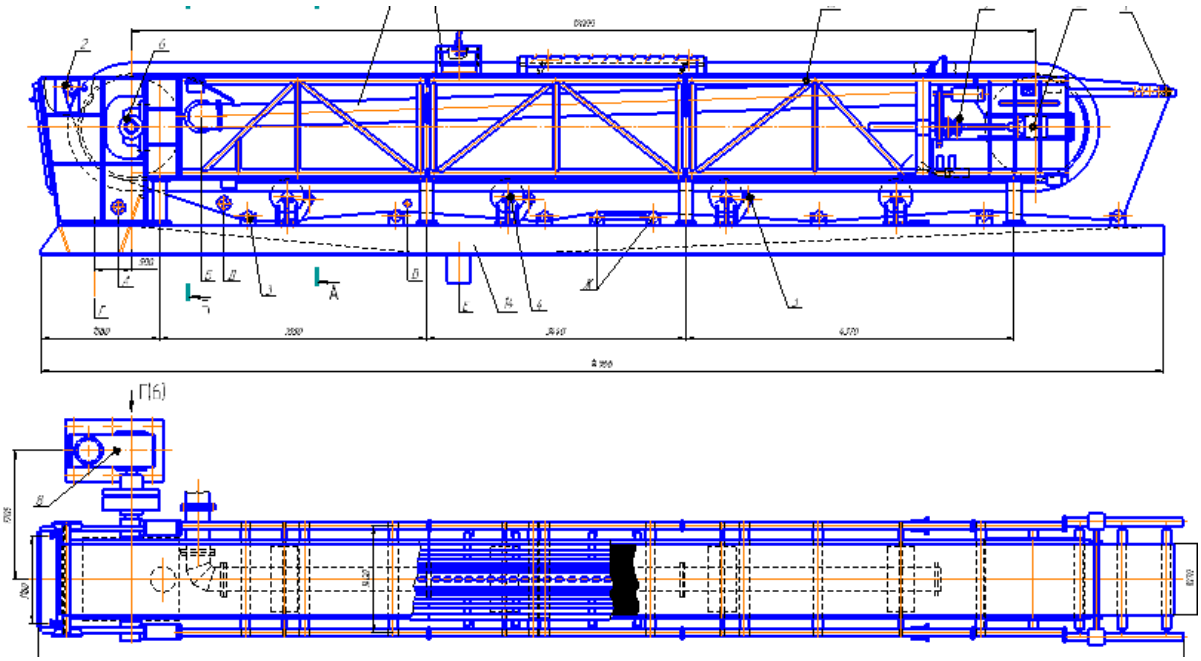


Рис. 1. – Общий вид вакуум-фильтра.

Особенностью проектирования рамной конструкции является четкое создание пространственной модели, учет и распределение нагрузки.

Расчет нагрузки на раму был выполнен с учетом высоты слоя и площади ленты:

$$F = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g$$

$$V = S_{ленты} \cdot h_{слоя} = l \cdot b \cdot h_{слоя}$$

Далее была определена равномерно-распределенная нагрузка, приходящаяся на единицу длины каждого стержня – 0,4 Н/мм

Рама состоит из трех пролетов. Стержни выполнены из трубы 108х5,5 ГОСТ 10704-91, вертикальные стержни консольной части из трубы 20х2 ГОСТ 10704-91. Сечение стержням выбиралось таким образом, чтобы обеспечить прочность и жесткость конструкции.

Расчет рамы ленточного вакуум-фильтра на прочность был выполнен в программе APM Structure 3D. Для расчета рам используется метод конечных элементов, поэтому программа может рассчитывать рамы любой сложности, даже выполнить расчет статически неопределимых рам или расчет ферм.

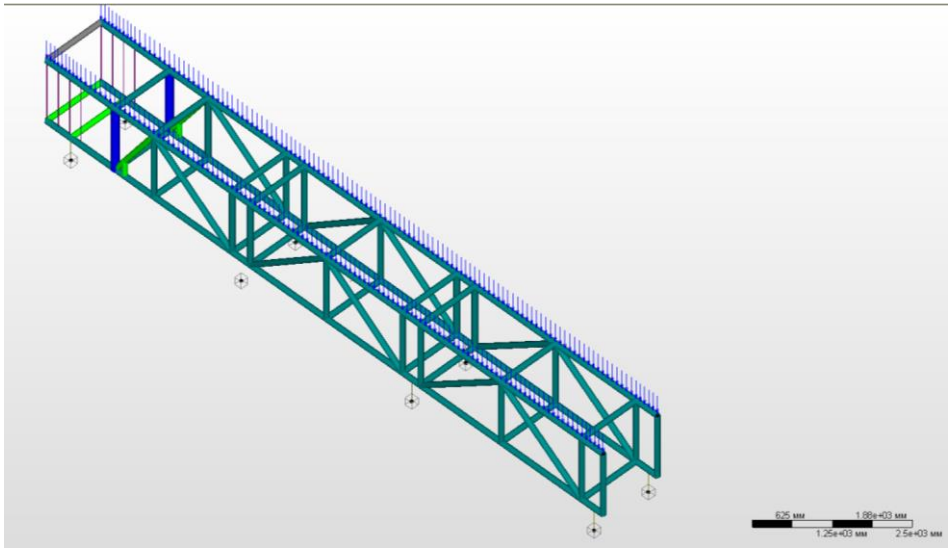


Рис. 2. – Пространственная модель рамы вакуум-фильтра в программе APM Structure 3D

Согласно карты напряжений (рис. 3), максимальные напряжения в стержнях рамы составляют 64 МПа, что не превышает допускаемое значение для материала 180 МПА, соответственно, прочность рамы обеспечена.

Согласно карты перемещений (рис. 4), максимальный прогиб конструкции составляет 0.19 мм, что не превышает допустимое назначение прогиба.

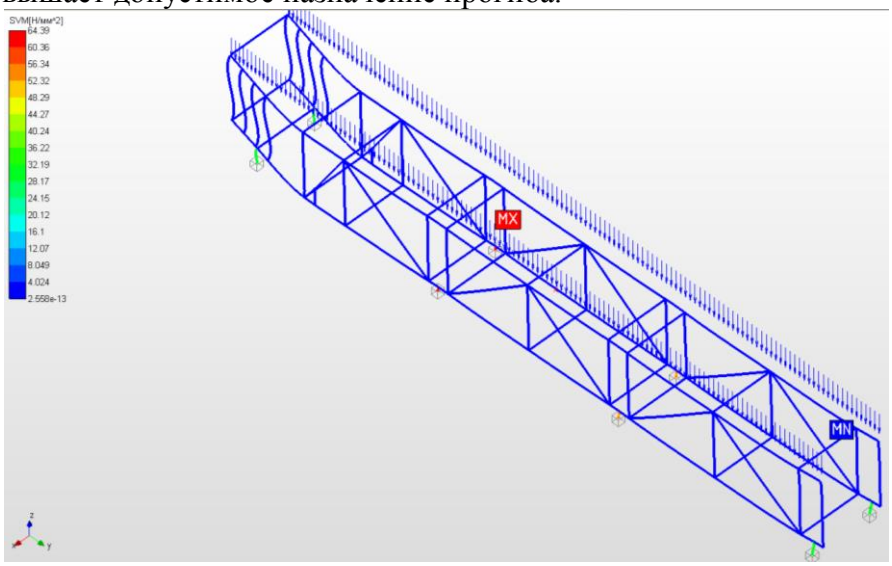


Рис. 3. – Карта напряжений

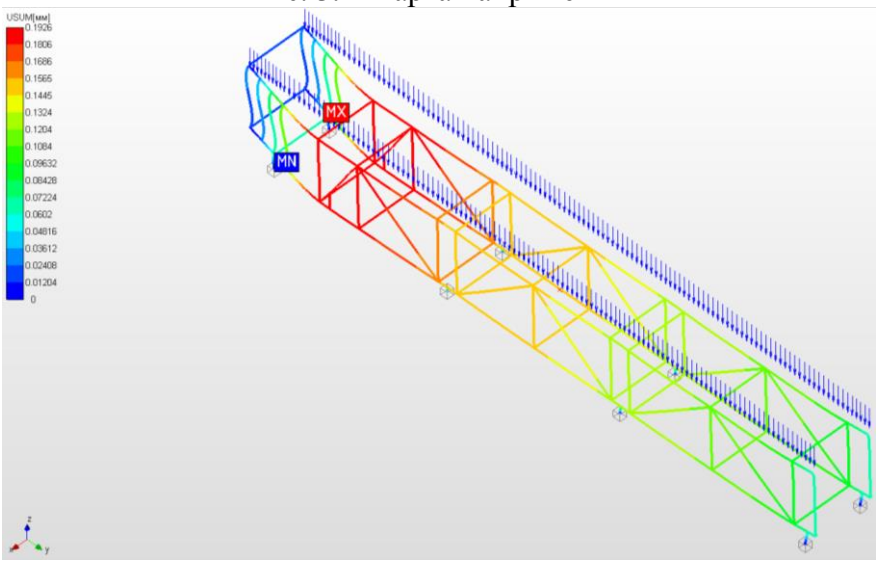


Рис. 4. – Карта перемещений

Минимальный коэффициент запаса прочности по пределу текучести составляет n=3,044, что больше допустимого $n > [n] = 1{,}3..2$

Расчет рамы на прочность в программе APM Structure 3D позволяет выбирать оптимальное сечение стержней, удовлетворяющую условиям прочности, жесткости, устойчивости и металлоемкости [3].

Список литературы

1. *Вишняк Б.А. Поздеев А.А.* О технологии обогащения и автоматизации современной калийной флотационной фабрики. // ГИАБ, 2012. №9 – С.138-150.
2. *Лимонов Е.Н., Тимофеев И.Е., Тимашева Е.Н.* Повышение эффективности обезвоживания хлорида калия на ленточных вакуум-фильтрах // Молодежная наука в развитии регионов, 2016. – С.89-93.
3. *Шелофаст В.В.* Основы проектирования машин. – М.: изд-во АПМ., 2004 – 272 с.

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

05.11.00

[1]А.А. Алейников, [2]К.З. Билятдинов, [2]Е.А. Кривчун

[1]военнослужащий, Министерство обороны Российской Федерации,
Москва, w10wq@mail.ru
[2]Горный университет, кафедра метрологии и управления качеством
Санкт-Петербург, k01b@mail.ru, kkrivchun@yandex.ru

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ: МЕТОДОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Кратко представлены декомпозиция информационных процессов контроля качества технического обеспечения, основы математического и логического аппарата, проблемы и задачи. В представленной методологии контроль рассматривается как инструмент повышения качества технического обеспечения в условиях ограничения времени и ресурсов системы.

Ключевые слова: *качество, контроль, решение, методология, энтропия, управление.*

Качество технического обеспечения в любой сложной системе будет напрямую зависит от качества управления. В современном мире контроль – важнейшая часть управления. Методология контроля качества может служить инструментом решения частных задач оптимизации информационных процессов как внутри системы, так и за ее пределами, что позволит достигать целей технического обеспечения с наименьшим расходом ресурсов и времени.

Итак, мы представим контроль в первую очередь как обмен информацией. Таким образом в данной статье контроль будет рассматриваться как совокупность процессов обмена информацией. Исходя из целей формирования методологии процесс контроля можно описать, как комплекс взаимосвязанных и целенаправленных циклов управления. В упрощенном виде цикл управления (контроля) можно рассматривать по следующей схеме: «Запрос – Ответ».

Качество цикла управления целесообразно оценивать через достижение частной цели каждого конкретного цикла управления: цель цикла управления достигнута или цель цикла управления не достигнута. При таком подходе одним из основных направлением оптимизации процесса контроля можно считать получение достаточной информации для достижения целей технического обеспечения системы при минимальном количестве циклов управления. Вследствие чего уменьшается расход времени и ресурсов на контроль.

На основе вышеизложенного можно провести декомпозицию информационных процессов и путей (схем) обмена информацией на каждом уровне и установить их количественные, качественные характеристики и логические взаимосвязи.

Управление, а, следовательно, и организация контроля, осуществляется на основе управленческих решений. Так или иначе принятию управленческих решений предшествует сравнительный анализ.

По мнению В.И. Абдукаримова: «Успешное решение задач сравнительного анализа предполагает наряду с обработкой количественной информации оперировать логической информацией, позволяющей интеллектуализировать процесс обработки информации, что, естественно, сказывается на качестве принимаемых управленческих решений».

В этих условиях важное значение приобретает разработка методов, позволяющих выявить полезную информацию. [4, С.33]

По нашему мнению, достоверно определив полезную информацию: ее содержание и достаточное количество, для каждого из информационных процессов, составляющих контроль качества в системе можно обоснованно разрабатывать технические задания (требования) к созданию (приобретению) программно-аппаратных средств, систем связи и автоматизации, а так же создавать и вести актуальные базы данных. Это сформирует информационные резервы системы.

По мнению Б.И. Герасимова: «Информационные резервы – включают в себя возможность получать и пользоваться точной, объективной, достоверной, надежной, доступной, защищенной, релевантной, своевременной, полной, интерпретируемой информацией.» [4, С.7]

В.С. Анфилатов делает следующие выводы: «Из аксиом управления следует, что управление заключается в ограничении разнообразия состояний управляемого объекта. Это означает, что энтропия объекта управления должна быть равна нулю $H(Y)=0$. [1, С.205]

Если управляемый объект характеризуется одним показателем качества y_i^l и может находиться в *n* состояниях y_1^l, y_2^l, . . ., y_i^l с вероятностью $p(y_1^l)$, $p(y_2^l)$, . . ., $p(y_i^l)$, то сообщение Y о том, в каком из состояний находится объект в системе с полной информацией, будет содержать количество информации, равное его энтропии:

$$H(Y)=-\sum_{i=1}^{n} p(y_i^l)\log_2 p(y_i^l) \qquad (1)$$

Для оценки состояний объекта, характеризуемого *m* показателями качества y^j, требуется провести суммирование и по *j*, *j*= 1,2,..., *m*. [1, С.205].

Процесс принятия решений при таком представлении состоит в порождении информационного объекта и сопоставлении ему требуемого информационного объекта путем последовательного снятия неопределенности со структуры и получения значений соответствующих характеристик. Каждый этап этого процесса сопровождается переходом от общих представлений к конкретным данным, снимающим неопределенность.

При этом *H* зависит от допустимого времени принятия решения, ограниченного требованиями по оперативности, что отражает естественную связь процесса принятия решения с его продолжительностью.

Приведенные соображения позволяют сформулировать принцип минимума эвристик: чем меньше эвристических процедур в функциях принятия решения, тем качество решения выше. [1, с. 206]

Критерием, отражающим принцип минимума эвристик для оценки качества решения, служит правило, в соответствии с которым лучшим считается решение, имеющее минимально возможную неопределенность.

Контроль качества будет зависит от получаемой конечной информации.

По мнению Ю.Ю. Громова: «Информация имеет множество сторон проявления, и в плане задач управления ее нецелесообразно рассматривать в отрыве от источников ее получения и целей, достижению которых она служит. Отсюда информацию нельзя характеризовать каким-то одним показателем – это должен быть целый набор показателей…» [4, С.44].

Для большинства практических задач контроля можно предложить нижеперечисленные показатели.

Количество единиц (элементов) информации (*I*), качество (ценность) единицы информации с точки зрения достижения определенных целей (λ) и себестоимость единицы информации (С). В зависимости от того, что является целью, распознавание каких-то объектов и явлений или принятие решения в отношении воздействий на систему, результатом которых должны быть заданные изменения объектов и явлений, ценность информации соответственно будет семантической (λс) или прагматической (λп). Производными от этого минимального набора показателей являются: количество

взвешенной по полезности (ценности) информации ($'I$) и затраты на получение информации (З). В общем случае $'I$ будет некоторой функцией от I и λ и может быть представлена выражением

$$'I = \mu_{\tilde{I}}(I) \otimes \mu_{\tilde{\lambda}}(\lambda) \qquad (2)$$

где λ – соответствующая функция принадлежности; ⊗ – операция композиция. Затраты на получение информации дифференцируются на постоянные, эксплуатационные и т.д. [3, С.45].

Пренебрежение к организации информационного обмена в процессе управления техническим обеспечением приведет к следующим взаимосвязанным проблемам:

1) дублирование функций и избыточность циклов управления;

2) неоправданное увеличение времени на составление отчетов и ведение делопроизводства в ущерб выполнения основных функций системы;

3) необоснованное увеличение числа лиц, имеющих доступ к информации ограниченного распространения;

4) повышение требований в области защиты информации к программно-аппаратным средствам, системам и автоматизации связи;

5) повышение требований к квалификации должностных лиц;

6) не согласованность действий и увеличение затрат ресурсов и времени;

7) не равномерность распределения нагрузки на силы и средства системы.

Частичную апробацию основ методологии контроля качества целесообразно проводить на основе моделирования проблемных ситуаций в различных процессах практической деятельности. При этом проблемы контроля комплексно решается на организационном и техническом уровнях. Организационный уровень предусматривает регламентацию информационного обмена и установление приоритетов с целью повышения эффективности контроля. На техническом уровне происходит применение технических устройств с той же целью.

В заключении следует отметить, что, по нашему мнению, с развитием информационного общества, повысится актуальность разработки эффективных методов организации работы должностных лиц и применения технических устройств при организации контроля, как одной из основ управления в сложных системах. В современных условиях методология контроля может послужить основой повышения качества технического обеспечения и будет выступать как внутренний ресурс системы.

Список литературы

1. *Анфилатов В.С. и др.* Системный анализ в управлении /В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; Под ред. А.А. Емельянова. - М.: Финансы и статистика, 2002. - 368 с: ил., ISBN 5-279-02435-X.

2. *Билятдинов, К.З., Кривчун, Е.А.* Оценка качества управления организационно-техническими системами. / Записки Горного института. Санкт-Петербург, 2014, Т. 209, С. 152-155, ISSN 0135-3500.

3. Математические и инструментальные методы экономического анализа: управление качеством: Сб. науч. тр. / Под науч. ред. д-ра экон. наук, проф. Б.И. Герасимова. Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 2004. Вып. 13. 240 с. ISBN 5-8265-0127-8.

05.11.00

И.И. Байнева, к.т.н.

Институт электроники и светотехники, Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СВЕТОДИОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Рассматриваются вопросы внедрения светодиодных осветительных систем для организации освещения в птицеводстве. Проанализированы особенности использования светодиодного освещения, которое открывает дополнительные возможности в ценовой политике предприятия, увеличивая его рентабельность. Исследованы светотехнические характеристики и тепловой режим разработанного светодиодного светильника для клеточного содержания промышленного стада бройлера.

Ключевые слова: *энергосбережение, энергоэффективность, освещение, режим, источник света, светодиод, светодиодный светильник, бройлер.*

Введение. Свет – важнейший фактор, воздействующий на любой живой организм, в том числе и на птиц. Понимание и грамотное управление этим фактором является неотъемлемой и важнейшей частью технологии выращивания всех направлений яичной и мясной птицы. Освещение в птичнике играет важную роль при выращивании кур всех направлений и позволяет управлять процессами физиологического развития птицы, обеспечивать более комфортные условия ее содержания и добиваться существенного роста практически всех показателей продуктивности стаи [1].

В настоящее время светодиодное освещение активно применяется в сельском хозяйстве России, позволяя эффективно снижать затраты на электроэнергию, более эффективно использовать энергетический ресурс предприятий и повышать за счет этого рентабельность производства, в том числе и за счет увеличенного срока службы [2].

1.1 Особенности и эффективность светодиодного освещения

Особенностям освещения с сельском хозяйстве посвящено много работ. Современная система освещения птичника должна соответствовать современным требованиям к энергосбережению, а также соответствовать технологическим требованиям содержания соответствующих кроссов [3-4].

Известно, что экономическая привлекательность любого оборудования определяется в первую очередь его надежностью и продолжительностью работы. В помещениях для клеточного и напольного содержания кур искусственное освещение существенно влияет на технико-экономические показатели производства. Сократить затраты можно благодаря применению таких энергоэффективных источников света, как светодиоды. В настоящее время интерес к светодиодному освещению, как наиболее надежному, безопасному и экономически выгодному стремительно растет [5,6]. Использование пониженного напряжения в цепях питания светодиодных светильников позволяет повысить электро- и пожаробезопасность помещений, что актуально для специфических условий эксплуатации в сельском хозяйстве. Особенности светодиодных светильников и систем освещения на их основе позволяют применять технологии выращивания и содержания птицы и животных, которые обеспечивают существенное повышение производственных показателей, как в птицеводстве, так и в других областях сельского хозяйства. Осветительные установки должны обеспечивать равномерную освещенность и возможность ее изменения в широком диапазоне.

1.2 Требования к освещению содержания птицы

При выращивании и содержании кур немаловажное значение имеет интенсивность освещения. При содержании взрослых кур-несушек рациональной является освещенность 10 лк, а родительского стада - 15 лк. При этом система освещения должна быть спроектирована с некоторым запасом, т.к. яркость ламп со временем снижается, и со временем они запыляются и засоряются.

Исследования показали, что цвет освещения также оказывает влияние на поведение, рост и воспроизводство птицы. Птица воспринимает свет иначе, чем люди. Например, её чувствительность к различным длинам волн светового спектра отличается от чувствительности человеческого глаза. Птица становится намного спокойнее, когда в птичниках используются монохромные светильники, которые не только излучают свет нужного цвета, но и подавляют нежелательные цвета.

1.3 Актуальность светодиодного освещения в промышленном птицеводстве.

Проблема энерго- и ресурсосбережения в промышленном птицеводстве обострилась при высоком уровне потребления электроэнергии для производства кормов и освещения птичников. В условиях жесткой конкуренции владельцы сельхозпредприятий должны серьезно подходить к выбору систем освещения, просчитывать возможные последствия ни на один год вперед. Выбор ламп и вариантов освещения определяют в соответствии с физиологическими особенностями птицы и оптимальным соотношением между затратами на электроэнергию и производительностью.

В настоящее время энергосберегающее освещение для птицефабрик развивается по трем направлениям: применение компактных люминесцентных ламп, линейных люминесцентных ламп и светильников на основе светодиодов. Каждое из направлений имеет определенные преимущества и недостатки, а также различные перспективы на ближайшие годы.

В сельском хозяйстве, как одной из наиболее энергоемких отраслей, применение светодиодных систем наиболее актуально, поскольку позволяет снизить себестоимость продукции. Современные полупроводниковые источники света в ряде случаев могут служить без замены в течение всего жизненного цикла оборудования внутри птичника. Также благодаря безопасному напряжению питания и долговечности такие светильники оказываются вне конкуренции при размещении внутри клеточной батареи. При этом по показателю светоотдачи светодиоды обогнали люминесцентные лампы, а по цене такие системы освещения для птицефабрики уже сопоставимы с ними.

1.4 Конструкция и характеристики светодиодных светильников для птицеводческих ферм

Преимуществом светодиодных светильников в условиях птичника является их миниатюрность, которая позволяет создавать равномерную освещённость в клетках, расположенных на разных ярусах батареи. В помещениях для содержания птицы и животных светильники можно размещать на относительно небольшой высоте от 0,4 м (при клеточном) до 2,5-4 метров (при напольном содержании птиц и животных), что позволяет эффективно использовать в светильниках маломощные сверхъяркие светодиоды, массовое производство которых в настоящее время определяет достаточно низкую стоимость системы светодиодного освещения, которая окупается в течение от одного года до трех лет по сравнению с лампами накаливания или люминесцентными лампами.

Наиболее распространенное исполнение светодиодных светильников для освещения клеток представлено на рис. 1. В качестве источника света используется светодиодная лента типа SMD на основе светодиодов 5050, которая обладает такими преимуществами, как: легкая система креплений, низкое тепловыделение, малые размеры, стабильная яркость во всем температурном диапазоне, продолжительный ресурс работы.

Исходя из требований по выращиванию и содержанию птицы и сельскохозяйственных животных через определенное время помещения подвергаются интенсивной мойке водой аппаратами высокого давления с применением агрессивных моющих и дезинфицирующих средств. В связи с этим степень защиты светильников для птичников должна быть не ниже IP 65, т.к. работать им приходится в достаточно жестких условиях: высокая концентрация пуха, пыли, газация; во время санитарной обработки птичника светильники подвергаются мойке под сильными струями воды.

Применение светильников, в цепи питания которых используется напряжение промышленной сети 220 В (лампы накаливания или люминесцентные лампы) влечет за собой опасность возникновения ситуаций, когда из-за потери герметичности корпуса

светильника или повреждения кабелей питания, возможно поражение электрическим током обслуживающего персонала или возникновение пожара. В светодиодных светильниках может использоваться низкое напряжение питания, которое обеспечивает электро- и пожаробезопасность при обслуживании и эксплуатации системы освещения.

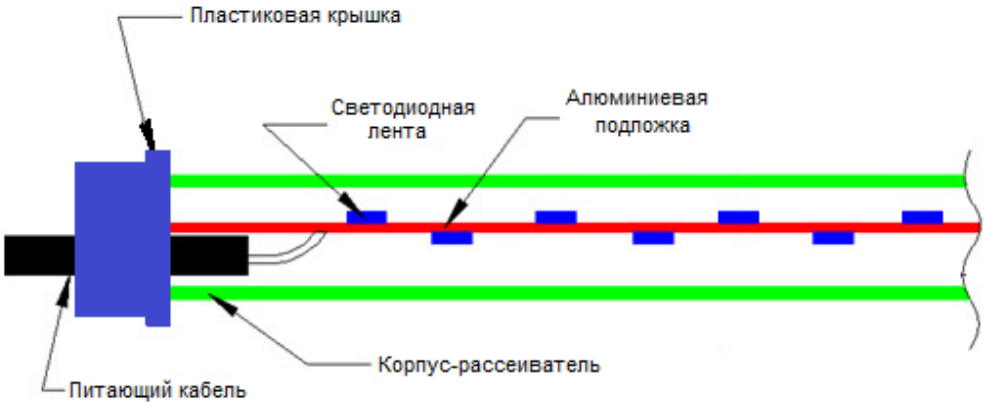


Рис. 1 - Типичная схема конструкции светодиодного светильника

2 Разработка светодиодного светильника

С целью организации энергоэкономичного освещения в птицеводстве был разработан светодиодный светильник, для которого было осуществлено измерение и исследование кривых силы света (КСС), светового потока и температурного режима. Экспериментальные исследования проводились на гониофотометре GO-2000A. Электрические и световые характеристики светильника: световой поток 1557 лм; световая отдача 49 лм/Вт; мощность 32 Вт; максимальная сила света 270 кд. На основе экваториальной КСС светильника был определен такой угол его поворота вокруг вертикальной оси OZ, чтобы он обеспечивал наиболее равномерную освещенность по всем близлежащим кормушкам. Для определения высоты подвеса светильника относительно освещаемых объектов (клеток и кормушек) провели измерения освещенности на разных высотах по отношению к светильнику под углами 90° и 45° к клеткам. Поскольку высота расположения нижней кормушки составляет 0,5 м, средней – 1,0 м, а верхней – 1,5 м, то высота подвеса светильника должна составлять 2 м для обеспечения приблизительного равенства освещенности на кормушках всех ярусов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Были рассмотрены особенности энергосбережения и применения светодиодных осветительных систем для организации освещения в птицеводстве, которые призваны обеспечивать равномерную освещенность и возможность ее изменения в широком диапазоне. Проанализированы особенности и роль освещения на процесс выращивания сельскохозяйственной птицы. Исследованы светотехнические характеристики и тепловой режим разработанного светодиодного светильника для выращивания поголовья кур. Определены параметры его расположения по отношению к кормушкам.

Список литературы

1. *Лямцов А.К., Гришин К.М., Малышев В.В.* Компактные люминесцентные и светодиодные лампы для птичников // Сельский механизатор. 2012. № 5. С. 28-29.
2. *Байнева И.И.* Энергоэффективные светодиодные технологии в птицеводстве : сб. науч. тр. SWorld. Выпуск 3 (40). Том 3. Иваново: Научный мир, 2015. С. 38-43.
3. *Коваленко О.Ю., Пильщикова Ю.А.* Оценка эффективности источников излучения для птицеводства // Мир науки и инноваций. 2015. Т. 3. С. 54-57.
4. *Гладин Д.* Светодиодное освещение: только преимущества // Животноводство России. 2012. № 9. С. 62-64.
5. *Bayneva I.I.* Concerns Of Design Of The Energy-Efficient Fixtures // International Journal of Applied Engineering Research. Vol.10, № 3 (2015), pp. 6479-6487.
6. *Байнева И.И., Байнев В.В.* Аспекты разработки энергоэффективных светотехнических изделий для решения задач повышения энергосбережения // Вестник Мордовского университета. 2014. № 1-2. С. 76-80.

05.11.07

А.П. Буйносов д.т.н., С.Н. Антропов

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

АНАЛИЗ НАРУШЕНИЯ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА БЛОК НА ЛОКОМОТИВАХ В СЕРВИСНОМ ДЕПО СВЕРДЛОВСК

В статье выполнен анализ нарушения работы безопасного локомотивного объединенного комплекса (БЛОК) в сервисном депо. На основе принципа Парето и диаграммы Исикавы определен уровень надежности БЛОК с целью выявления причинно-следственных факторов, получения качественных и количественных характеристик.

Ключевые слова: *локомотив, депо, сервис, БЛОК, комплекс, работа, нарушение, Парето, Исикава, анализ.*

Проблема безопасности движения поездов в локомотивном хозяйстве является наиболее острой среди всех предприятий на железнодорожном транспорте общего пользования. В 2009 г., в соответствии с утвержденными ОАО «РЖД» техническими требованиями, ОАО «НИИАС» совместно с ООО «НПО САУТ», ЗАО «НЕЙРОКОМ» и ПО «СТАРТ» была начата разработка современного единого комплекса, объединившего в себя функции существующих локомотивных приборов и устройств, систем обеспечения безопасности движения: комплексного локомотивного устройства безопасности КЛУБ, системы автоматизированного управления тормозами поезда САУТ-ЦМ/485, телемеханическая система контроля бодрствования машиниста ТСКБМ [1, 2]. Целевая направленность разработки позволила интегрировать в нее лучшие свойства ранее созданных локомотивных систем безопасности, автоматического управления торможением и контроля бодрствования машиниста. В безопасный локомотивный объединенный комплекс (БЛОК) эти системы дополнены новыми интеллектуальными наукоемкими техническими решениями, направленными на достижение поставленного цели. Комплекс БЛОК предназначен для обеспечения безопасности движения при поездной и маневровой работе, автоматизации процесса и представления достоверных результатов расшифровки записи параметров движения поездов [3].

Комплекс БЛОК может использоваться на участках железных дорог оборудованных устройствами: путевыми АЛСН, АЛС-ЕН; точечного канала САУТ; координатного регулирования движения поездов с передачей информации по радиоканалу и дублированием показаний напольных светофоров на перегонах и станциях; полуавтоматической БЛОКировки.

По данным разработчиков БЛОК имеет следующие параметры надежности: средняя наработка до отказа $T_{ср}$ не менее 50000 ч.; средний срок службы до списания ($T_{сл.ср.сп.}$) – не менее 20 лет.

Вероятность безотказной работы ПО $P_0(t)$ не менее 0,999999999 и определяется показателем Н0401 согласно ГОСТ 28195–2008 по формуле:

$$P_0(t) = 1 - Q/N,$$

где Q – число зарегистрированных отказов; N – число экспериментов.

Для проверки заявленных характеристик разработчиками о безотказной работе БЛОКа в сервисном локомотивном депо Свердловск в течение почти 2-х лет была проведена работа по выявлению нарушений в работе безопасного локомотивного объединенного комплекса. За 11 месяцев 2016 г. было выявлено 10 нарушений работы БЛОК против 33 в 2015 г. Количество нарушений было уменьшено в 3,3 раза. Но нарушения остались. Но так как комплекс БЛОК относится к основным приборам безопасности, нарушения в работе требуют тщательного изучения. Выявленные нарушения были систематизированы по группам (см. таблицу).

Таблица. Виды и количество нарушений работы системы БЛОК

Тип нарушения	Кол-во нарушений		% изменения
	2015 г.	2016 г.	
Отказы технических средств 1-ой и 2-ой категорий	0	0	0
Отказы технических средств 3-ей категории	1	2	+50
Взятие приказа ДНЦ на следование с неисправной системой АЛС	1	1	0
Сбой АЛС	23	3	–86
АТ, ЭТ	8	4	–50
Всего	33	10	–70

Нарушения в процентном соотношении распределились (см. рис. 1).

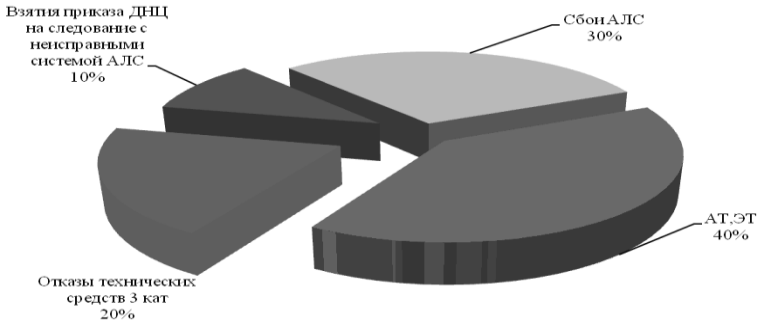


Рис. 1. Круговая диаграмма нарушений работы БЛОК

При установлении причинно-следственных связей между объектом анализа и влияющими на него факторами используется диаграмма Исикавы [4, 5]. Диаграмма Исикавы на рис. 2 построена при использовании дефектов (нарушений), которые оказались в область риска.

В настоящее время для качественной оценки технического состояния узлов и агрегатов локомотивов применяется анализ Парето. Диаграмма Парето – графическое отражение принципа Парето, кумулятивной зависимости распределения дефектов узлов электровозов, инструмент анализа, показывающий в убывающем порядке «вклад» отдельного фактора.

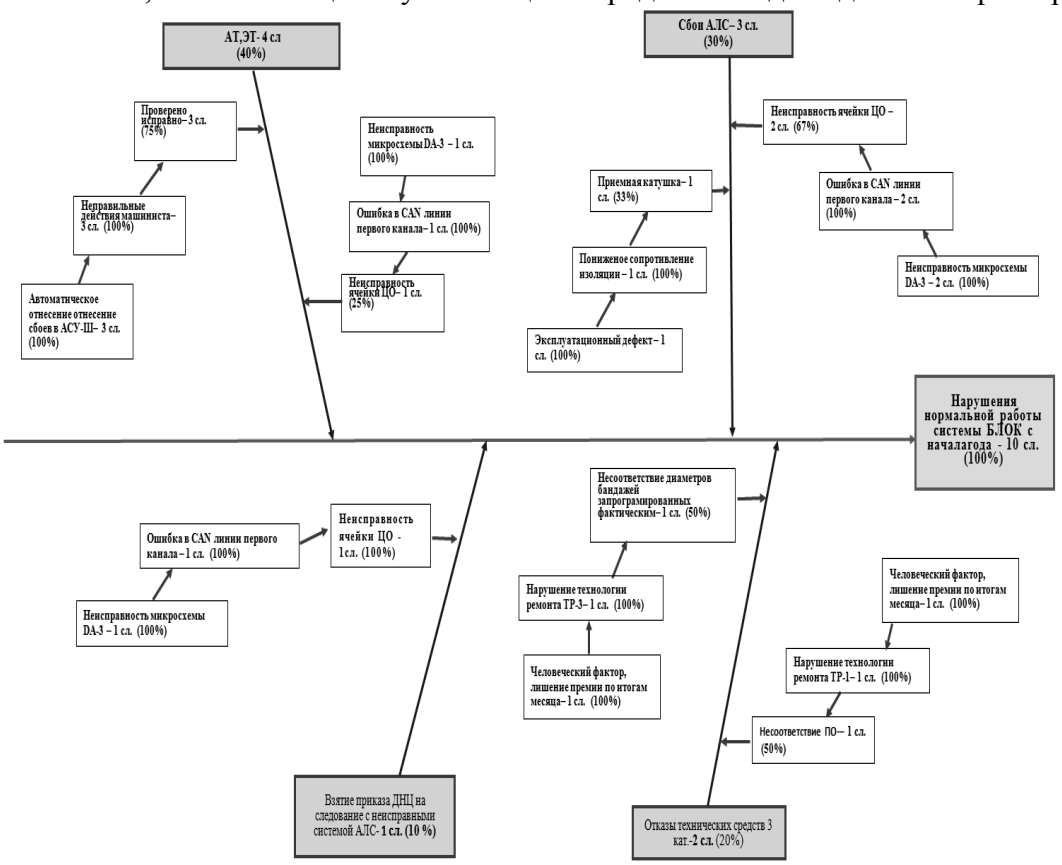


Рис. 2. Диаграмма Исикавы причин нарушений работы БЛОК

Диаграмма Парето позволяет выявить и отобразить первоочередные проблемы и распределить усилия с целью их эффективного решения; установить основные факторы, с которых нужно начинать действовать (см. рис. 3).

Из рис. 2 и 3 видно, что 4 нарушения работы системы БЛОК произошли по причине неисправности ячейки ЦО, из них 2 – сбой АЛС, 1 – взятие приказа ДНЦ на следование с неисправными системами АЛС и 1 – АТ, ЭТ. Эти нарушения произошли с грузовым электровозом 2ЭС6 № 155.

Фактором риска отказов технических средств 3-ей категории системы БЛОК послужила низкая исполнительская дисциплина персонала при проведении текущих ремонтов локомотив в сервисном депо.

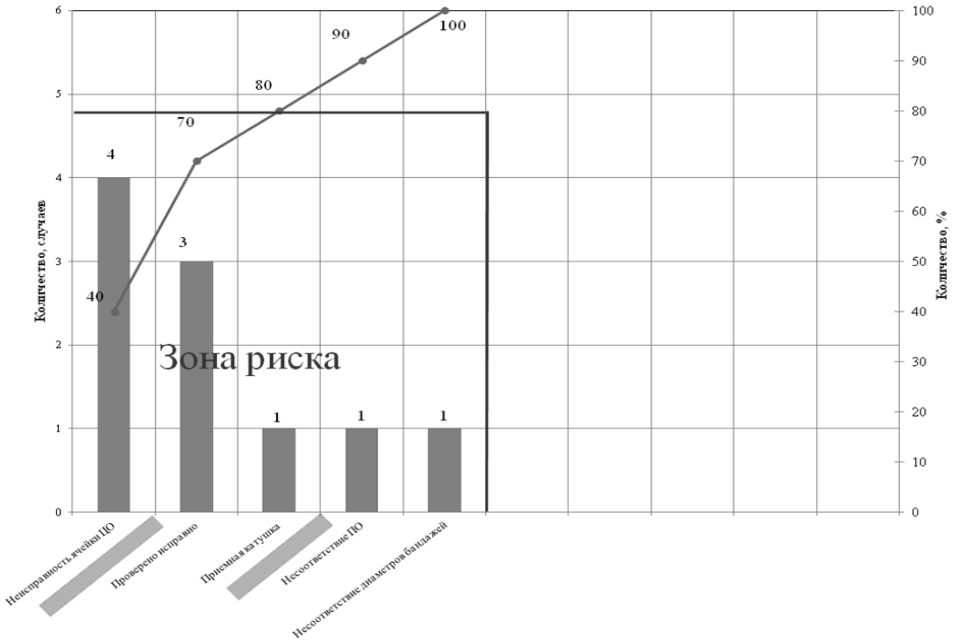


Рис. 3. Диаграмма Парето по видам дефектов БЛОК

Нами были предложены временные мероприятия по обеспечению эксплуатационной надежности устройств безопасности комплекса БЛОК на локомотивах в сервисном депо Свердловск. К ним относятся: 1) при выявлении в программе АСУ НБД или в ТУ-152 сбоев комплекса БЛОК проверять ячейки ЦО на стенде БС КПА БЛОК; 2) разработать памятку с актуальным ПО для электромехаников.

Кроме того, предусмотрено дальнейшее совершенствование комплекса в части большей интеграции с системами управления и диагностики локомотива [6], а так же взаимного резервирования отображения информации, а также организация безопасного канала передачи данных по цифровому радиоканалу, обеспечивающего взаимодействие с существующими внутренними информационными ресурсами безопасного сегмента сети железнодорожного транспорта общего пользования.

В настоящий момент в УрГУПС проводятся работы по оптимизации логической структуры комплекса БЛОК, что подразумевает объединение нескольких модулей системного шкафа в единую конструкцию для снижения межмодульных связей и оптимизации внутрисистемного трафика со снижением стоимости производства, монтажа и эксплуатации.

Также мы рассматриваем вопрос о совершенствовании кассеты регистрации для перехода на бесконтактный интерфейс передачи данных.

Конечной целью использования единого комплекса устройств безопасности (БЛОК) является его внедрение на всех видах тягового подвижного состава, что несомненно приведет к снижению в эксплуатации отказов локомотивов и электропоездов.

Список литературы

1. *Буйносов А.П.* Выбор остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11 // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2013. Т. 6. № 2. С. 221-228.
2. *Наговицын В.С., Буйносов А.П.* Структурная классификация технических средств диагностики тягового подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 326-329.
3. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Анализ надежности узлов электровозов ВЛ11 на основе принципа Парето и диаграммы Исикавы // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 1. С. 317-320.
4. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Анализ причин отказов узлов электровозов на основе закона Парето и диаграммы Исикавы // Вестник транспорта Поволжья. 2013. № 3 (39). С. 35-39.
5. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Анализ надежности узлов электровозов ВЛ10 и ВЛ11 на основе диаграммы Исикавы // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 93-96.
6. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Анализ отказов узлов электровозов постоянного тока на основе закона Парето // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 97-100.

05.11.13

А.А. Мальцев

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, кафедра «Конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств», malcev_@mail.ru

КОНТРОЛЬ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СВЕТОДИОДОВ ПО РАЗБРОСУ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ

В статье рассмотрены особенности контроля качества и надежности светодиодов по разбросу теплового сопротивления переход-корпус и температурного коэффициента напряжения.

Ключевые слова: *контроль надежности и качества светодиода, разброс теплового сопротивления переход-корпус, разброс температурного коэффициента напряжения.*

Высокие темпы внедрения светодиодной продукции, появление новых моделей светодиодов известных фирм, а также появление на рынке новых производителей ставит перед разработчиками вопрос о выборе светодиодов не только с высокими техническими параметрами, но и с оптимальной ценой. В последнее время идет интенсивное увеличение числа производителей светодиодов, особенно китайских, которые стараются занять свое место на рынке путем снижения цен на свою продукцию. Эта ситуация проводит к тому, что на рынке можно найти светодиоды по ценам в 2 - 3 раза меньше, чем у известных производителей. В этих условия вопросы входного контроля приобретают первостепенное значение. Входной контроль позволяет отсечь бракованные компоненты, но при этом увеличивает стоимость конечной продукции – светодиодных светильников. Это приводит к необходимости выработки критериев, которые могли бы дать разработчику ответ на вопрос, качественные ли светодиоды данного типа или нет. Одним из таких критериев может служить разброс параметров светодиодов в партии. Высокий разброс параметров светодиодов в партии дает разработчику светодиодной продукции сигнал, что от данных светодиодов лучше вообще отказаться и не тратить время и средства на отбраковку.

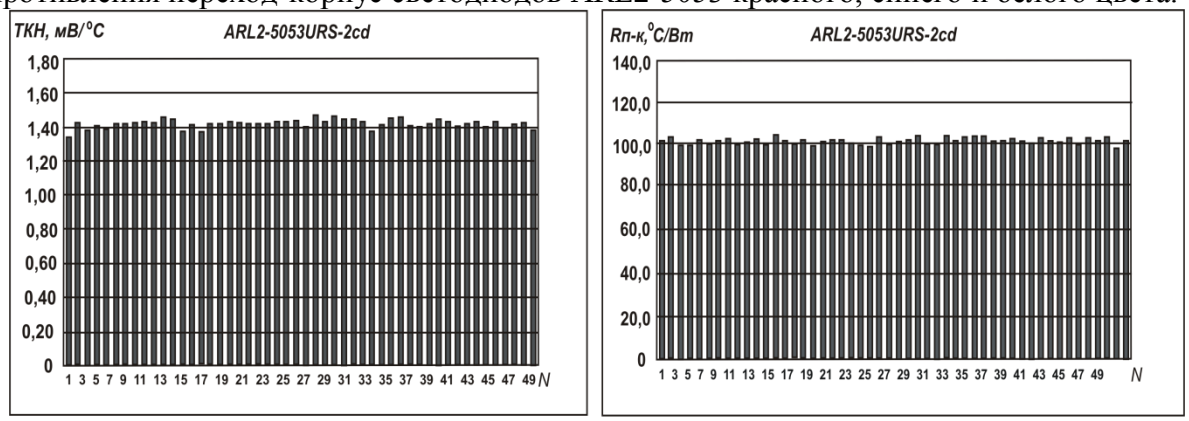
Параметры для контроля надежности и качества светодиодов можно разделить на несколько групп. Светотехнические характеристики, таким как сила света, спектр, угол излучения и т д. Светотехнические характеристики не связаны напрямую с показателем надежности светодиодов. Электрические характеристики, например, в [1] контроль параметров светодиодов ведется по вольтамперной характеристике. Тепловые параметры: перегрев p-n перехода, тепловое сопротивление переход-корпус. Величина перегрева p-n перехода и теплового сопротивления в наибольшей степени влияет на надежность работы светодиода. Перегрев p-n перехода светодиода приводит изменению яркости и спектра излучения, а также различным отказам, например, в результате теплового пробоя. В ряде публикаций показано, что разброс теплового сопротивлении переход-корпус является интегральным показателем надежности и качества светодиодов. В [2] показано, что разброс теплового сопротивления переход-корпус в партии у некачественных светодиодов может иметь значительную величину.

Процесс измерения и расчета теплового сопротивления переход-корпус светодиода состоит из двух этапов: 1. Определения температурного коэффициента напряжения (ТКН); 2. Собственно измерение и расчет теплового сопротивления переход-корпус [3]. Для определение ТКН светодиод помещают с термостат и выдерживают при температуре T1 и измеряют прямое напряжение на p-n переходе Uпр1. После этого устанавливают температуру T2 > T1 и после выдержки измеряют прямое напряжение Uпр2. ТКН светодиода вычисляется по формуле:

$$\text{ТКН} = \frac{U_{\text{пр1}} - U_{\text{пр2}}}{T_2 - T_1}$$

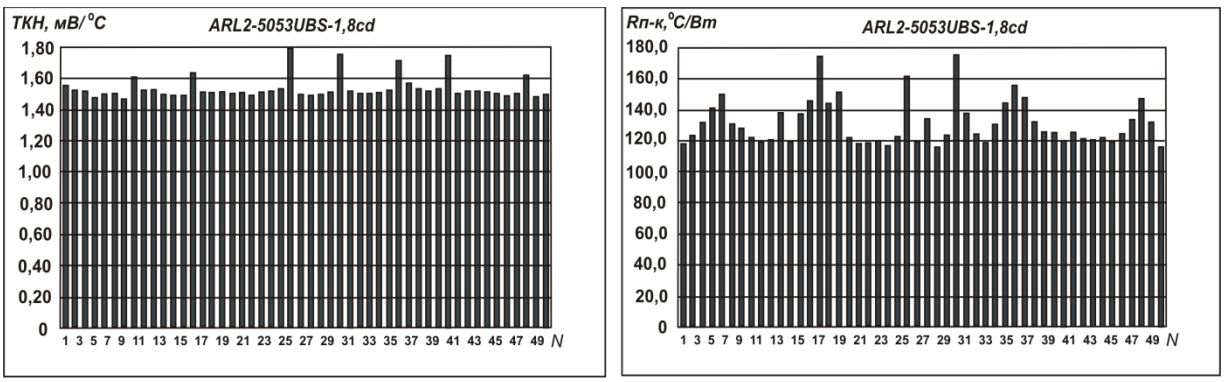
Поскольку расчет теплового сопротивления переход-корпус невозможно без измерения ТКН, в качестве критериев надежности и качества удобно взять два параметра светодиодов, ТКН и тепловое сопротивление переход-корпус. Это дает разработчику больше информации о качестве конкретного типа светодиода. Для полупроводниковых приборов на основе кремния измерения ТКН каждого светодиода не актуально в виды малого разброса. Для светодиодов на основе GaAlN технологически не просто вырастить эпитаксиальные слои заданной толщины, которые формируют гетероструктуру светодиода, поэтому ТКН может иметь большой разброс в партии [4].

Условия измерения ТКН и теплового сопротивления принципиально отличаются. Согласно ГОСТ [3] измерение ТКН проводят в режиме малых токов, чтобы исключить саморазогрев светодиода. Тепловое сопротивление переход-корпус, наоборот измеряют подачей на светодиод импульса тока, достаточного для разогрева. Исходя из этого, можно считать, что разброс величин ТКН и теплового сопротивления переход-корпус, будет определяться разными технологическими факторами. Разброс ТКН определяется качеством изготовления самой гетероструктуры. Разброс теплового сопротивления переход-корпус во многом определяется качеством посадки кристалла полупроводника на корпус светодиода. Для измерения тепловых параметров светодиодов использовался способ, позволяющий измерять ТКН и тепловое сопротивление переход-корпус в одном цикле [5]. В качестве объекта исследования были использованы сверх яркие светодиоды ARL2-5053 (изготовитель фирма Arlight, Китай). На рис. 1,2,3 приведены результаты измерений ТКН и теплового сопротивления переход-корпус светодиодов ARL2-5053 красного, синего и белого цвета.



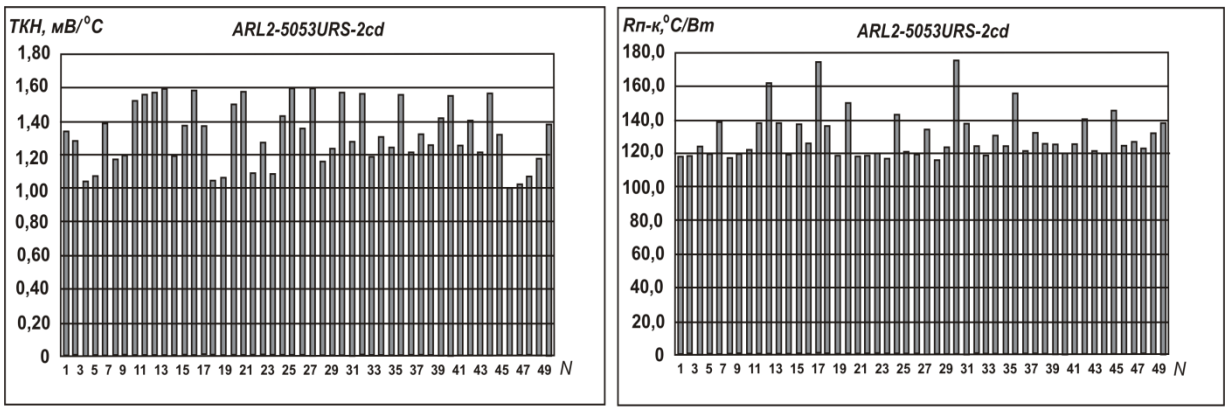
а б

Рис.1 - ТКН и тепловые сопротивления переход - корпус светодиодов ARL2-5053URS-2cd (красные)



а б

Рис.2 - ТКН и тепловые сопротивления переход - корпус светодиодов ARL2-5053 UBS-1,8cd (синие)



а б

Рис.3 - ТКН и тепловые сопротивления переход - корпус светодиодов ARL2-5053 UWC-2cd (белые)

Выводы по исследованиям: Как видно из результатов измерений светодиодов в партии по 50 штук каждого типа, светодиоды ARL2-5053URS-2cd (красные) имеют минимальный разброс ТКН и теплового сопротивления переход-корпус. Светодиоды ARL2-5053 UBS-1,8cd (синие) и светодиоды ARL2-5053 UWC-2cd (белые) имеют повышенный разброс ТКН и теплового сопротивления. Визуальные исследования показали, что светодиоды ARL2-5053 изготовлены по разной технологии. Светодиоды ARL2-5053URS-2cd (красные) имеют открытый кристалл. Светодиоды ARL2-5053 UBS-1,8cd (синие) и светодиоды ARL2-5053 UWC-2cd (белые) переизлучающие, имеют конструкцию с использованием люминофора. Высокий разброс ТКН и теплового сопротивления переход - корпус светодиодов ARL2-5053 UBS-1,8cd и ARL2-5053 UWC-2cd является показателем нестабильного технологического процесса изготовления светодиодов этого типа.

Исследования ТКН и теплового сопротивления показывают, что даже у одного производителя могут быть светодиоды различного качества. Измерение разброса ТКН и теплового сопротивления переход-корпус в партии позволяет принять решение о применении конкретного типа светодиодов на этапе входного контроля и тем самым повысить надежность работы светотехнической продукции в целом. Проведение измерения светодиодов по двум тепловым параметрам, ТКН и тепловому сопротивлению переход-корпус, позволяет повысить надежность и достоверность контроля, дает разработчику дополнительную информацию для принятия решения по использованию конкретного типа светодиодов.

Список литературы

1. *Сушков В., Никифоров С.* Метод контроля потенциальной степени деградации характеристик светодиодов на основе твердых растворов AlGaInN // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 3. – С. 10 – 13.

2. *Мальцев, И.А.* Контроль качества и надежности светодиодов по тепловому сопротивлению p-n-переход корпус / И.А. Мальцев, А.А. Мальцев // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 2. – С. 40 – 41.

3. ГОСТ 19656.15-84. Диоды полупроводниковые СВЧ. Методы измерения теплового сопротивления переход - корпус и импульсного теплового сопротивления.

4. *Мальцев, И.А.* Способ быстрого измерения температурного коэффициента напряжения светодиодов / И.А. Мальцев, А.А. Мальцев // Полупроводниковая светотехника. – 2015. – №2(34). – С. 36 – 38.

5. Патент 2529761 Российская Федерация, МПК G01R 31/00. Способ измерения теплового сопротивления переход-корпус полупроводниковых приборов и устройство для его реализации / И.А. Мальцев, А.А. Мальцев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ» (RU). – № 2013118507/28; заявл. 22.04.2013; опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27.

05.11.00

И.В. Нелин к.т.н., Д.А. Охотников к.т.н.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
факультет Радиовтуз МАИ,
кафедра 44-3 «Аналоговые и цифровые радиоэлектронные системы»,
Москва, kaf-44-3@yandex.ru

НАБЛЮДЕНИЕ ЧАСТОТ ДЫХАНИЯ И СЕРДЦЕБИЕНИЯ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ДАТЧИКОМ

В современном мире находят применение интеллектуальные приборы наблюдения за здоровьем домашних животных. Одним из важнейших показателей их здоровья являются значения частот дыхания и сердцебиения. В качестве реализации устройства наблюдения за животным может быть рассмотрен ошейник со встроенным датчиком, способным регистрировать колебания поверхности тела собаки. В статье приведены результаты эксперимента по измерению частот дыхания и сердцебиения домашней собаки электромагнитным датчиком.

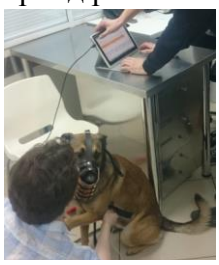
Ключевые слова: *частота дыхания, электромагнитный датчик, здоровье домашних животных.*

Описание эксперимента

В [1] рассмотрено применение радиолокатора для определения параметром дыхания и сердцебиения человека. В представленной работе исследовалась возможность использования этого метода для работы с животными. В качестве испытуемых в эксперименте принимали участие две собаки. Электромагнитный датчик крепился по средствам эластичного жгута на теле собаки. Места крепления датчика: правая и левая сторона шеи, яремная впадина, грудина. Параллельно со снятием информации с электромагнитного датчика, данные о частоте сердцебиения собаки снимались путем записи электрокардиограммы. В ходе проведения эксперимента было записано 25 записей с первой собакой и 7 записей со второй собакой. В связи с большим объемом записанных данных, в статье приведен анализ выборочных записей.

Результаты экспериментов

Во время первого измерения датчик находился на шее собаки (рисунок 1), результаты измерений выводились на экран ПК и записывались в файл для дальнейшего анализа. Также на рисунке 1 приведено изображение сигнала, записанного в относительно спокойном состоянии собаки. Весь наблюдаемый период разбит на 5 интервалов.



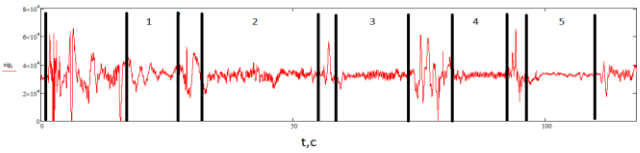


Рис. 1 - Запись сигнала с собаки.

Проанализируем каждый из выделенных интервалов. Укрупненное изображение сигналов на интервалах 1-3 и их спектров приведено на рисунке 2.

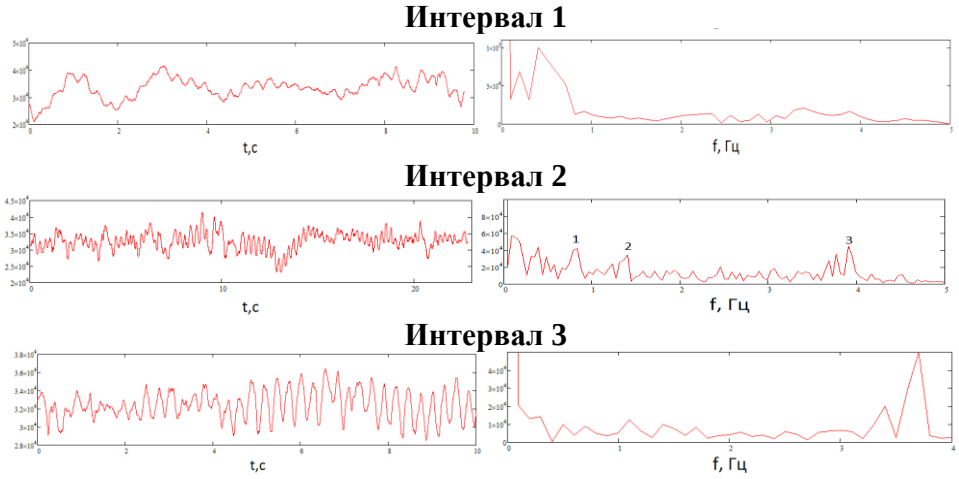


Рис. 2 - Измеренные сигналы и их спектры на интервалах 1-3.

На интервале 1 на графике можно видеть колебания с периодом более 2 секунд и колебания с периодом менее 0.2 секунд. На соответствующем спектре хорошо заметен максимум на частоте 0.4 Гц, а также максимумы на частотах около 3.5 Гц. Первый максимум, судя по всему, соответствует частоте дыхания (24 вдоха в минуту), а второй максимум соответствует 210 ударам в минуту, что может показывать частоту сердцебиения.

На интервале 2 на графике можно наблюдать только высокочастотные колебания с периодом менее 0.2 секунды. На графике спектра видны три максимума на частотах 0.8, 1.4 и 3.9 Гц. Первые две частоты при переводе в раз/мин соответствуют 48 и 84 раза в минуту. Третья частота соответствует 234 раза/мин. Примечательно, что отношение частоты третьего пика к частоте первого близко к 5 (предположительно первая и пятая гармоники дыхания): 3.9/0.8 = 4.9.

На интервале 3 также можно наблюдать высокочастотные колебания. При этом на спектре четко виден максимум на 3.7 Гц, что соответствует 222 раза в минуту.

Результаты измерений на интервалах 4 и 5 приведены на рисунке 3.

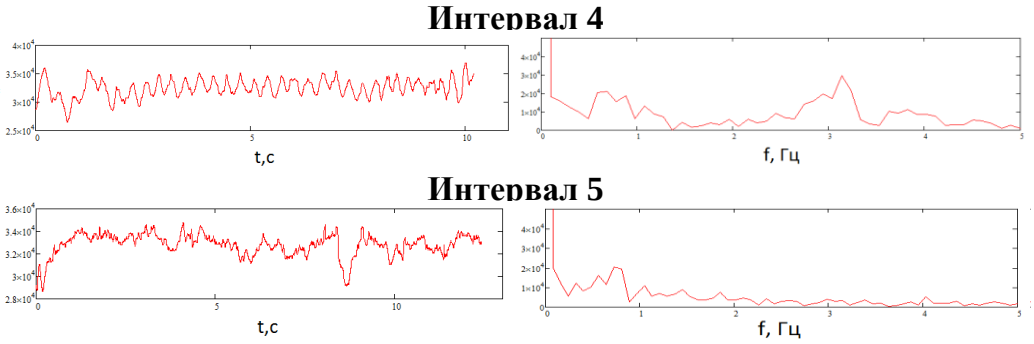


Рис. 3 - Измеренные сигналы и их спектры на интервалах 4-5.

Проанализировав сигналы и спектры на интервале 4 можно видеть максимумы на частотах 0.69 и 3.14 Гц. Отношение частот составляет: 3.14/0.69 = 4.6.

На интервале 5 максимум в спектре соответствует частоте 0.73 Гц.

По результатам измерений можно сделать следующие выводы:

1) На первый взгляд максимумы на частотах близких к 4 Гц соответствуют интенсивному дыханию собаки. Максимумы на частотах менее 1 Гц похожи на частоты дыхания собаки в спокойном состоянии. Примечательно, что в спектре дыхания величина пятой гармоники иногда даже превышает величину первой, а гармоники между ними отсутствуют.

2) Вполне объяснимо отсутствие явно выраженных пиков в районе частоты сердцебиения 1-1.25 Гц (60-70 раз/мин). Это связано с высокой вариабельностью сердечного ритма у собаки, что видно на графике ЭКГ, представленного на рисунке 4.

Из ЭКГ видно, что на отрезке в 5 секунд присутствует вариабельность интервалов между пиками, соответствующими сердцебиению собаки. Можно выделить максимальные

промежутки (1 секунда и более), соответствующие частоте 1 Гц (60 раз/мин) и минимальные (менее 0.6 секунды), соответствующие частоте 1.7 Гц (100 раз/мин), среднее же значение частоты, показываемое кардиографом (72 раз/мин) находится в этом промежутке. Из-за этих изменений в спектре (рисунок 4) вместо явно выделенного пика, соответствующий одному значению частоты, присутствует небольшое возвышение в диапазоне частот сердцебиения.

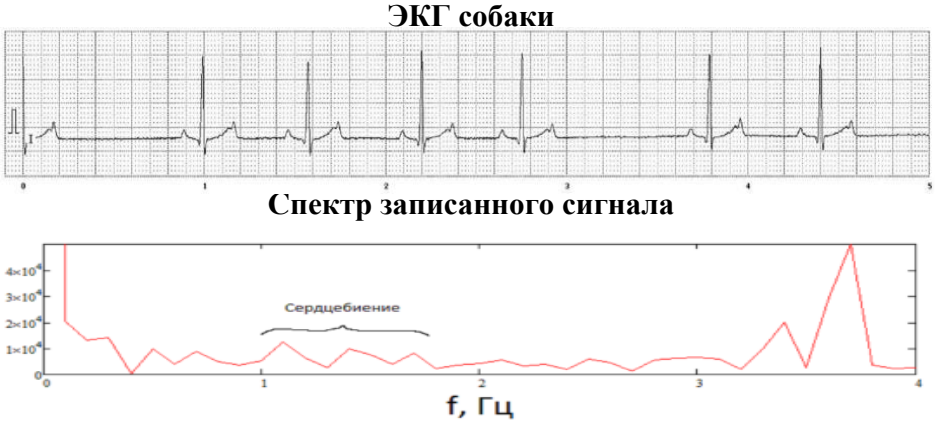


Рис. 4 - ЭКГ собаки на интервал 5 секунд и спектр записанного датчиком сигнала.

Во второй серии экспериментов были проведены аналогичные измерения, но собака находилась в неподвижном состоянии. Так как этим было устранено мешающее влияние движения собаки, то записанные сигналы получились с минимальным числом артефактов. На рассчитанном спектре сигнала отчетливо виден пик, соответствующий частоте дыхания на частоте 0.6 Гц, что соответствует 36 раз/мин.

На полученной во время второго исследования ЭКГ видно, что сердцебиение собаки, так же как и во время первого исследования, имеет высокую вариабельность сердечного ритма (разные расстояния между R-зубцами), что свидетельствует о «размазывании» энергии сигнала вокруг средней частоты. Анализ спектрограммы позволяет выделить два пика на частотах 1.44 Гц и 1.56 Гц, что соответствует 86 и 94 раз/мин. Близкие к этим значения и показывает кардиограф при измерениях.

Измерения на неподвижной собаке позволили сделать следующие выводы:

1) При неподвижном состоянии животного есть возможность измерения частоты его дыхания в частотной области. В таком состоянии у собаки отсутствуют высокие амплитуды на гармониках, в том числе отсутствует высокочастотное дыхание на частоте пятой гармоники.

2) Так же как и при наблюдении сердцебиения первой собаки в данном случае присутствует высокая вариабельность сердечного ритма, что не дает возможности извлечения значений частот сердцебиения в частотной области.

Заключение

В ходе проведения эксперимента установлено:

1) При расположении электромагнитного датчика на шее снятие информации о частоте дыхания и частоте сердцебиения принципиально возможно.

2) Вычисление частоты дыхания из полученных данных желательно с помощью анализа в частотной области, путем обнаружения максимумов основной и пятой гармоник дыхания.

3) Алгоритмы вычисления частоты сердцебиения требуют дополнительного анализа, так как высокая вариабельность сердечного ритма не позволяет сформироваться пику, соответствующему частоте сердцебиения в частотной области.

Благодарим сеть ветеринарных клиник «Белый клык» за консультации и сотрудничество в проведенных экспериментах.

Список литературы

1. *Герасимов П.Н., Корнев Я.И., Нелин И.В., Охотников Д.А.* Обработка радиолокационных сигналов, отраженных от грудной клетки человека. Научно-технический вестник Поволжья №5 за 2012 г., Казань. с. 136-139.

05.11.13

Р.В. Цветков, В.В. Епин, С.В. Лекомцев, А.П. Шестаков

Институт механики сплошных сред УрО РАН,
Пермь, flower@icmm.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В МНОГОСЕГМЕНТНОМ ГИДРОНИВЕЛИРЕ

В работе представлена модель, позволяющая оценивать характер движения жидкости в гидронивелирах с различными параметрами. А также представлены результаты расчетов по исследованию переходных процессов движения жидкости в гидронивелире, состоящем из нескольких сегментов.

Ключевые слова: *гидростатический нивелир, уровень жидкости, математическая модель.*

Метод гидростатического нивелирования находит широкое применение для измерения поля вертикальных перемещений в системах деформационного мониторинга фундаментов зданий [1] и геофизических исследованиях [2]. Гидростатический нивелир состоит из измерительных сосудов, наполненных жидкостью и трубок, которые их связывают. Столбы жидкости в измерительных сосудах (в состоянии равновесия) определяют плоскость равного уровня относительно земной поверхности. Для каждого объекта мониторинга можно обеспечить необходимое пространственное разрешение при измерении поля вертикальных перемещений путем выбора количества измерительных сосудов (датчиков) и места их расположения. Для проектирования систем мониторинга представляет интерес изучение переходных процессов движения жидкости в гидронивелире, состоящему из нескольких сегментов.

В литературе описаны модели движения жидкости в однозвенных нивелирах, состоящих из 2 датчиков: например, в работе [2] предложена модель, описывающая колебания жидкости в длинобазисном нивелире, в работе [3] оценивают оптимальные размеры трубки для нивелиров разной длины. В работе [4] производились оценки параметров колебаний жидкости в нивелире с помощью аналога электрических цепей с предложением обобщения модели на N измерительных сосудов (датчиков), однако результаты расчетов не приводятся. Поэтому построение математических моделей движения жидкости в многозвенных нивелирах, топология и размеры которых соответствует реальным, представляется актуальной.

Рассмотрим несжимаемую жидкость с плотностью ρ и вязкостью μ, которая находится в многосегментном нивелере цилиндрической формы, стенки которого обладают абсолютной жесткостью. Предполагаем, что в нивелире происходят движения жидкости со скоростями соответствующим числам Re < 2300, что относится к ламинарному режиму течения. На рис.1 представлен фрагмент нивелира.

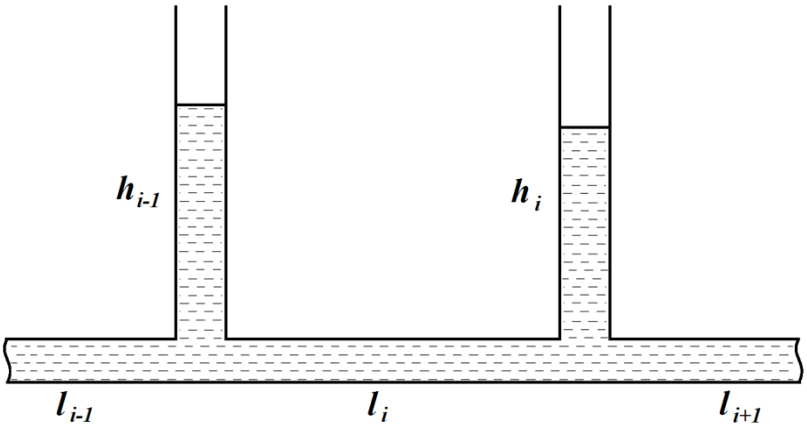


Рис. 1 – Фрагмент гидронивелира

Запишем систему уравнений для нивелира, состоящего из нескольких сегментов: измерительных сосудов (вертикальных) и соединительных трубок (горизонтальных). Вертикальные сегменты имеют переменную высоту уровня жидкости h_i, а горизонтальные сегменты имеют постоянную длину l_i. Система уравнений состоит из уравнений баланса сил (давлений) для каждого сегмента.

$$-\rho h_{i-1}\frac{d\upsilon_{h,i-1}}{dt}+P_{i-1,i}-P_{h,i-1}-\rho g h_{i-1}-\frac{8\mu h_{i-1}\upsilon_{h,i-1}}{R_{h,i}^2}=0 \quad (1)$$

$$-\rho l_i\frac{d\upsilon_{l,i}}{dt}+P_{i-1,i}-P_{i,i+1}-\frac{8\mu l_i\upsilon_{l,i}}{R_{l,i}^2}=0 \quad (2)$$

где $P_{i-1,i}$ – давление в узлах между горизонтальными сегментами i-1 и i;

$P_{h,i}$ – давление воздуха в вертикальном сосуде i;

$\upsilon_{h,i}$ – скорость жидкости в вертикальном сосуде i;

$\upsilon_{l,i}$ – скорость жидкости в горизонтальном сосуде i;

$R_{h,i}$ – радиус вертикального сосуда i;

$R_{l,i}$ – радиус горизонтального сосуда i.

Уравнения связи высоты столба жидкости и скорости движения жидкости в измерительном сосуде имеют вид:

$$\frac{dh_i}{dt}=\upsilon_{h,i} \quad (3)$$

Уравнения неразрывности, соответствующие равенству расходов в каждом узле:

$$-\upsilon_{l,i-1}R^2{}_{l,i-1}-\upsilon_{h,i-1}R^2{}_{h,i-1}+\upsilon_{l,i}R^2{}_{l,i}=0 \quad (4)$$

В качестве начальных условий задаются высоты столбов жидкости и скорости движения жидкости в каждом сегменте. Такая система дифференциальных уравнений составляется для каждой топологии гидронивелира (например, топология "звезда" или "кольцо"), а затем решается при помощи пакета Matlab.

Данная модель была протестирована для односегментного нивелира с 2 датчиками при различных размерах измерительного модуля и соединительной трубки. Сравнение с аналитическими формулами для частоты колебаний и декремента затухания, приведенными в работе [5], показало соответствие модели.

Рассмотрим в качестве примера нивелир, состоящий из 4 измерительных сосудов (с высотами столбов жидкости h_1, h_2 , h_3 и h_4) , связанных между собой трубкой в кольцо. Диаметр трубки составляет 12.5мм, измерительного сосуда – 5 см. Длины сегментов между датчиками №1, 2, 3, 4 составляют соответственно 10, 20, 15, 25 м. В качестве жидкости выбрана вода с плотностью 998кг/м^3 и вязкостью 0.001 Па·с. В качестве начальных условий взяты высоты столбов жидкости в измерительных сосудах №1-4, соответственно, 0.10м, 0.12м, 0.10м и 0.10м, а также нулевые значения скоростей во всех сегментах.

Результаты изменения уровней жидкостей в измерительных сосудах (датчиках) при данных условиях представлены на рис. 2.

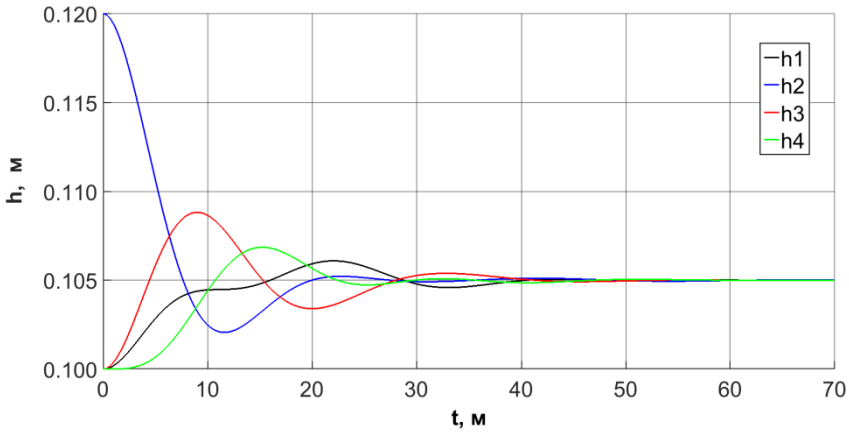


Рис. 2 – Результаты изменения уровня жидкости в датчиках

Представленная модель позволяет состыковывать сегменты с различными геометрическими параметрами (длина и радиус сечения, высота сегмента) и характеристиками жидкости (плотность и вязкость) и тем самым учитывать влияние этих факторов на показания датчиков в гидронивелире. На основе этой модели также можно оценивать влияние топологии системы гидронивелиров на характер движения жидкости.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-48-590025 р_а).

Список литературы

1. *Shardakov I.N.* The hydrostatic level method for continuous monitoring of building foundations // Solid State Phenomena. – 2016. – Vol. 243. – P. 105–111.

2. *Манукин А.Б.* Длиннобазисный гидростатический нивелир // Сейсмические приборы. – 2013. – Т.49. – №4. – С.26 – 34.

3. *Zhang C., Fukami K., Matsui S.* Primary Hydrokinetics Study and Experiment on the Hydrostatic Leveling System, Proc. of 7-th IWAA 2002, P.297–307. URL: http://www.slac.stanford.edu/econf/C0211115/papers/031.PDF.

4. *Singatulin S., Volk J., Shiltsev V.* A High Precision Double Tubed Hydrostatic Leveling System for Accelerator Alignment Applications, Proc. of 9-th IWAA, 2006, 9p. URL: http://lss.fnal.gov/archive/2006/conf/fermilab-conf-06-508-ad.pdf.

5. *Байджанов Д.О.* Свободные колебания вязкой жидкости в сообщающихся сосудах // Фундаментальные исследования. – 2014. – №9. – С. 2157–2163.

05.11.07

Д.В. Чайкин, А.С. Вохминцев, И.А. Вайнштейн

НОЦ НАНОТЕХ, Уральский федеральный университет,
Екатеринбург, d.v.chaikin@urfu.ru

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ТУШЕНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КИСЛОРОД-СВЯЗАННЫХ ЦЕНТРОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Выполнено исследование тушения фотолюминесценции (ФЛ) в объемных монокристаллах AlN в диапазоне температур 7 – 340 К. Температурные зависимости интенсивности и полуширины синей ФЛ описаны в рамках моделей Мотта и линейного электрон-фононного взаимодействия. Получены значения энергий активации 190 и 34 мэВ для безызлучательных каналов температурного тушения ФЛ кислород-связанных центров. Определена энергия фононов 45 мэВ, которые ответственны за процессы уширения уровней излучательных переходов.

Ключевые слова: *AlN, ФЛ, уравнение Мотта-Зейтца, электрон-фононное взаимодействие.*

Синтез объемных номинально чистых монокристаллов нитрида алюминия с совершенной структурой является важнейшей технологической задачей современной микро- и оптоэлектроники [1-3]. Одной из основных тяжело контролируемых примесей в AlN являются атомы кислорода. При этом с их участием формируется большое разнообразие оптически-активных одиночных и комплексных дефектов. В частности, кислород-связанные центры (O_N, V_{Al}-O_N и др.) отвечают за механизмы формирования рекомбинационного свечения в синей области спектра, а также в качестве ловушек носителей заряда влияют на протекание радиационно-стимулированных процессов [4-6]. В настоящей работе проанализировано влияние температуры на особенности спектров фотолюминесценции (ФЛ) объемных монокристаллов AlN, которые могут быть связаны с кислородными и родственными им дефектами.

Измерительная установка реализована на базе гелиевого оптического криостата замкнутого цикла CCS-100/204N (Janis). В качестве источника возбуждения ФЛ применялся импульсный наносекундный Nd:YLF лазер DTL-389QT (НПФ «Лазер-компакт») с длиной волны 263 нм и частотой следования импульсов 100 Гц. В работе исследовался объемный монокристалл AlN («Nitride Crystals» Ltd.) [7], полученный методом сублимации-реконденсации, в виде подложки диаметром 14 мм и толщиной 0.41 мм. Спектры свечения регистрировались в режиме накопления сигнала в диапазоне λ = 200 – 725 нм. Измерения выполнялись в процессе охлаждения образца с последовательным термостатированием при температурах: T = 340, 300, 250, 200, 150, 100, 50 и 7 К.

На рисунке 1 представлены спектры ФЛ монокристалла AlN при исследуемых температурах. Видно, что спектры ФЛ характеризуются широкой полосой свечения, расположенной преимущественно в синей области спектра. При уменьшении T от 340 К до 50 К интенсивность свечения постепенно увеличивается в 4 раза и достигает максимума. Дальнейшее уменьшение T до 7 К приводит к падению интенсивности люминесценции на 13 %. Регистрируемое разгорание при изменении температуры от 7 до 50 К, обусловлено, по всей видимости, участием мелких уровней O_N-центра в процессах ФЛ даже при T < 50 К.

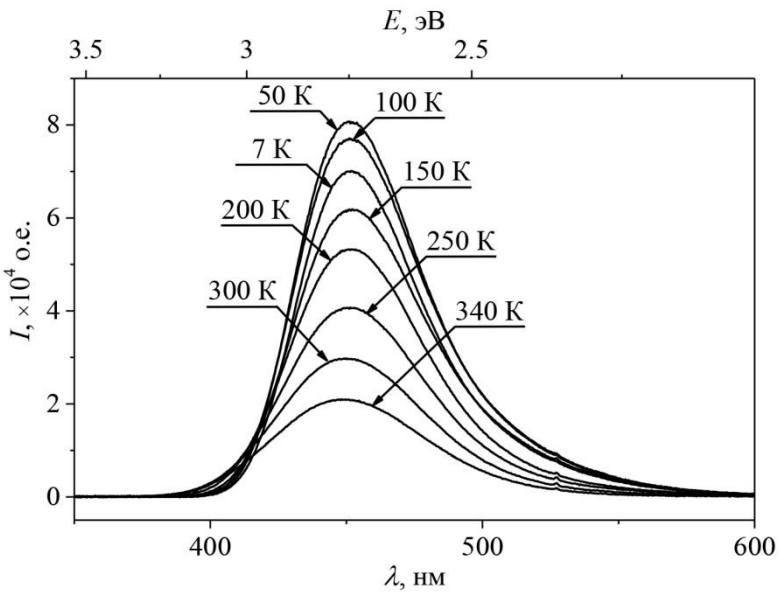


Рис. 1 – Спектры ФЛ для монокристалла AlN при различных температурах

Анализ спектров ФЛ показал, что положение максимума полосы E_{max} = 2.75 эВ (451 нм) практически не меняется при изменении T в исследуемом диапазоне. Ранее данная полоса свечения наблюдалась в спектрах электролюминесценции нановискеров AlN [8,9] и была приписана к излучательным переходам с участием V_{Al}-$2O_N$ комплекса и V_{Al}-центра [10].

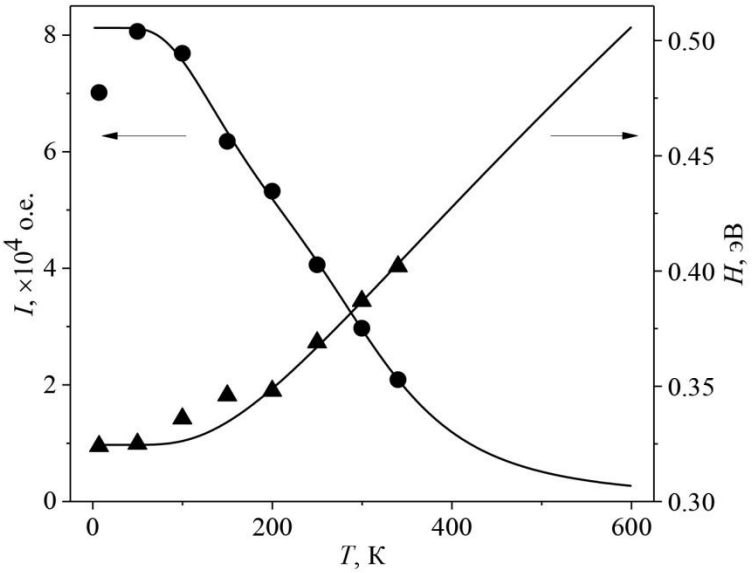


Рис. 2 – Зависимость максимальной интенсивности (●) и полуширины (▲) полосы ФЛ от температуры. Символы – экспериментальные данные; сплошные линии – аппроксимация ур. (1) и (2)

На рисунке 2 представлена зависимость интенсивности свечения в максимуме от температуры $I(T)$. Наблюдаемое поведение $I(T)$ характерно для систем, характеризующихся процессами температурного тушения люминесценции в кристаллах. Зависимость $I(T)$ была аппроксимирована в рамках соотношения Мотта в предположении двух термоактивационных каналов безызлучательной релаксации возбуждения [11]

$$I(T) = I_0\left[1+\sum_{i=1}^{2} S_i \exp\left(-\frac{E_{qi}}{kT}\right)\right]^{-1}, \qquad (1)$$

где I_0 – интенсивность люминесценции в отсутствии тушения, о.е.; S_i – безразмерный предэкспоненциальный множитель для i-го канала; E_{qi} – энергия активации температурного тушения в i-ом канале, эВ; k – постоянная Больцмана, эВ/К.

Видно, что зависимость $I(T)$ удовлетворительно описывается ур. (1) с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.994$. При этом значение интенсивности при 7 К в аппроксимации не учитывалось. Полученные значения параметров показаны в Таблице.

Таблица – Параметры исследуемых температурных зависимостей

		$i = 1$	$i = 2$
$I(T)$	E_q, мэВ	190	34
	S	$2\cdot10^3$	4
	I_0, о.е.	$8.1\cdot10^4$	
$H(T)$	$H(0)$, мэВ	325	
	$\hbar\omega_b$, мэВ	45	

На рисунке 2 представлена также зависимость полуширины полосы ФЛ от температуры $H(T)$. Видно, что H уменьшается от 0.40 до 0.32 эВ при охлаждении образца. Указанная зависимость анализировалась в рамках модели линейного электро-фононного взаимодействия выражением [12]

$$H^2(T) = 2H^2(0)\left[\left(\exp(\hbar\omega_b / kT) - 1\right)^{-1} + 1/2\right], \qquad (2)$$

где $H(0)$ – полуширина при нулевой температуре, К; $\hbar\omega_b$ – энергия фононов, которые отвечают за уширение электронных уровней, эВ.

Необходимо отметить, что ур. (2) удовлетворительно описывает экспериментальную зависимость $H(T)$ в исследуемом температурном диапазоне. Однако, при T = 100 и 150 К экспериментальные точки отклоняются от расчетной кривой. Этот факт требует проведение дополнительного исследования, что выходит за рамки данной работы. Рассчитанные значения параметров представлены в Таблице.

Таким образом, в ходе выполнения настоящей работы проведено исследование фотолюминесценции образцов объемного монокристалла AlN в диапазоне температур 7 – 340 К. Показано, что полоса свечения расположена преимущественно в синей области спектра и положение максимума 2.75 эВ практически не зависит от температуры, а полуширина меняется в диапазоне 0.40 – 0.32 эВ. Экспериментальные зависимости интенсивности свечения и полуширины полосы от температуры описаны в рамках формализма Мотта с двумя безызлучательными каналами и модели линейного электрон-фононного взаимодействия, соответственно. Получены значения энергий активаций температурного тушения ФЛ кислород-связанных центров E_q = 190 и 34 мэВ. Определена энергия фононов $\hbar\omega_b$ = 45 мэВ.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента РФ (СП-3437.2015.1) и при содействии программы 211 Правительства РФ, соглашение № 02.A03.21.0006. А.С.В. благодарит за поддержку грант Президента РФ № МК-5729.2015.2.

Список литературы

1. *Teke A., Morkoc H.* Group III Nitrides // Springer Handbook of Electronic and Photonic materials, edited by S. Kasap and P. Capper. New York: Springer, 2007. Chap. 32.
2. *Вохминцев А.С., Спиридонов Д.М., Чайкин Д.В., Минин М.Г., Вайнштейн И.А.* Дозовые зависимости параметров оптически стимулированной люминесценции в монокристаллах нитрида алюминия // Научно-технический вестник Поволжья, 2012. №6. С. 20-23.
3. *Lu P., Collazo , Dalmau R.F., Durkaya G., Dietz N., Sitar Z.* Different optical absorption edges in AlN bulk crystals grown in m- and c-orientations // Applied Physics Letters, 2008. V. 93. P. 131922-1.
4. *Bickermann M., Epelbaum B.M., Filip O., Heimann P., Nagata S., Winnacker A.* Point defect content and optical transitions in bulk aluminum nitride crystals // Physica Status Solidi B, 2009. V. 246. No. 6. P. 1181-1183.
5. *Maki J.-M., Makkonen I., Tuomisto F., Karjalainen A., Suihkonen S., Raisanen J., Chemekova T. Yu., Makarov Yu. N.* Identification of the V_{Al}-O_N defect complex in AlN single crystals // Physical Review B, 2011. V. 84. P. 081204(R).

6. *Trinkler L., Berzina B.* Luminescence Properties of AlN ceramics and its potential application for solid state dosimetry // Advances in Ceramics – Characterization, Raw Materials, Processing, Properties, Degradation and Healing, edited by C. Sikalidis. InTech, 2011. Chap. 4.
7. *Mokhov E.N., Avdeev O.V., Barash I.S., Chemekova T.Yu., Roenkov A.D., Segal A.S., Wolfson A.A., Makarov Yu.N., Ramm M.G., Helava H.* Sublimation growth of AIN bulk crystals in Ta crucibles // J. Crystal Growth, 2005. V. 281. P. 93-100.
8. *Вохминцев А.С., Вайнштейн И.А., Чайкин Д.В., Федоров М.Д., Афонин Ю.Д.* Синяя электролюминесценция нановискеров AlN // Письма в ЖТФ, 2015. Том 41. Вып. 7. С. 53-61.
9. *Weinstein I.A., Vokhmintsev A.S., Chaikin D.V., Afonin Yu.D.* Spectral features and voltage effects in high-field electroluminescence of AlN filamentary nanocrystals // Optical Materials, 2016. V. 61. P. 111-114.
10. *Koppe T., Hofsäss H., Vetter U.* Overview of band-edge and defect related luminescence in aluminum nitride // J. Luminescence, 2016. V. 178. P. 267-281.
11. *А.М. Гурвич* Введение в физическую химию кристаллофосфоров // Учебное пособие для втузов. М. «Высшая школа», 1971. 336 с.
12. *Evans B.D., Stapelbroek M.* Optical properties of the F+ center in crystalline Al_2O_3 // Physical Review B, 1978. V. 18. No. 12. P. 7089-7098.

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

05.13.00

А.А. Аббакумов, Д.П. Сидоров, А.И. Егунова

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева
Институт электроники и светотехники, кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, abbakumov_aa@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЯЗЫКА VISUAL PROLOG ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ

В статье рассматривается оригинальный алгоритм и его программная реализация для автоматизированного составления расписания занятий в учебном заведении. Программа написана на объектно-ориентированном расширении языка логического программирования Visual Prolog.

Ключевые слова: *расписание занятий, Visual Prolog, аудиторный фонд, учебные занятия, загрузка аудиторий.*

Составление расписания учебных занятий является одной из важнейших составляющих любого учебного заведения, в том числе ВУЗа. То, насколько продуманно было составлено расписание, в конечном результате отражается на качестве учебного процесса. Хорошо разработанное расписание может стать основой для реализации научно-педагогического потенциала учебных курсов и для лучшей усвояемости материала студентами.

Качественно и быстро составить расписание занятий может только хороший диспетчер (методист). Как правило, этот процесс осуществляется вручную с использованием множества бумажных форм, своеобразных инструментов, таких как доска с сеткой времени и аудиторий. При таком подходе работа по составлению расписания и систематизации всех взаимосвязанных элементов требует значительных трудовых и временных затрат, а результат сильно зависит от субъективных качеств составителя. Автоматизация наиболее трудоемких процессов может существенно облегчить ее и более полно реализовать принципы всеобщего управления качеством в образовательных учреждениях [1].

Задача по составлению расписания занятий не так проста, какой может показаться на первый взгляд. Её решению посвящено достаточно большое количество теоретических исследований и практических программных разработок, таких как «Ректор-ВУЗ», «БИТ. ВУЗ. Расписание», «1С: Автоматизированное составление расписаний. Университет», «Расписание Про v2.3». К сожалению, ни одна из этих программ не обладает необходимой универсальностью и не удовлетворяет всех потребностей ВУЗа, и зачастую имеет слишком высокую стоимость [2].

Основной целью данного исследования являлась разработка оригинального алгоритма составления расписания занятий, который бы выдавал решение близкое к оптимальному, а также создание его программной реализации. Под оптимальным решением будем понимать составленное специалистом расписание с учетом таких ограничений как появление окна в расписании студентов, несоответствие аудитории занятию, проведение занятия в неудачное время и так далее.

При попытках автоматизации данного процесса исследователи формулировали данную задачу как оптимизационную, пытаясь решить ее традиционными алгоритмическими методами, что не давало положительного результата. В последнее время все большую популярность набирают различные методы искусственного интеллекта. Эта тенденция не обошла стороной и данную задачу. Применяются различные эвристические методы, например, основанные на генетических алгоритмах [3,4]. По результатам обзора работ в

данной области, было решено реализовать алгоритм, основанный на исчислении предикатов первого порядка, относящемся к формально-логическим моделям представления знаний.

Исходя из специфики предметной области, было принято решение разработать систему на языке Visual Prolog, который наилучшим образом подходит для разработки интеллектуальных систем, систем поддержи принятия решений, планирующих программ и т.д.

В среде Visual Prolog не предусмотрена работа с таблицами, поэтому вся необходимая исходная информация для составления расписания будет храниться в базе фактов *facts*. Предполагается использование следующих объектов в базе фактов:

Groups - информация о группах, для которых необходимо составить расписание занятий;

Places - информация об аудиториях, которые доступны для проведения занятий;

Teachers - список преподавателей, которые проводят занятия и для которых необходимо составить расписание;

Subjects - названия предметов;

Prohibitions - информация о неделях, днях и занятиях, когда аудитория не доступна для проведения пары, когда преподаватель не может проводить занятия, когда для группы или предмета проведения занятия запрещено;

Time Settings - информация о количестве недель, количестве учебных дней в неделю и количестве занятий в день.

Данные объекты базы фактов заполняются в главной форме, изображенной на рисунке 1. Временные установки предназначены для адаптации к конкретному учебному заведению.

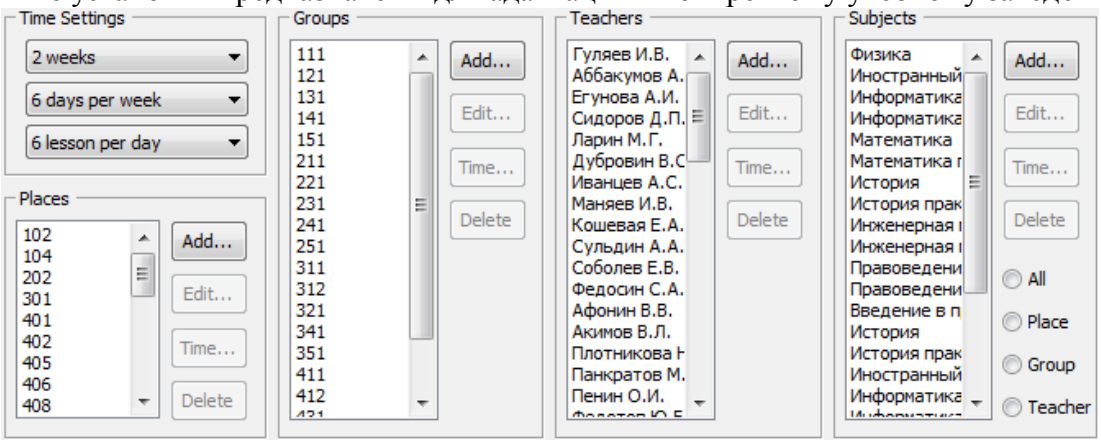


Рис. 1 – Экранная форма для заполнения базы фактов исходными данными

Для учета пожеланий преподавателей и требований руководства подразделения для каждого элемента объектов базы фактов введена опция для ввода ограничений «*Time*», которая позволяет указать подходящее и неподходящее время для распределения занятий. Данные ограничения и пожелания могут быть установлены как для аудиторий, учебных групп, преподавателей так и для самих дисциплин.

Рис. 2 – Экранная форма для заполнения ограничений

После того как внесена вся исходная информация можно запускать алгоритм составления расписания, основные шаги которого приведены в [2]. В результате его работы формируется база фактов *Cells*, которая хранит информацию о составленном расписании. Каждый элемент этой базы содержит такие поля, как время в формате (неделя, день, занятие), аудитория, группа, преподаватель, предмет, час и подгруппа:

Cell (Time, Place, Group, Teacher, Subject, Hour, Subgroup).

Благодаря использованию основных механизмов логического вывода языка Prolog, включая сопоставление с образцом, древовидное представление структур данных и автоматический перебор с возвратами, база фактов *Cells* будет заполнена на основании баз фактов *Groups, Places, Teachers, Subjects, Prohibitions, Time Settings* и в соответствии с введенными временными ограничениями.

Разработанная система предназначена для автоматизации процесса подготовки и составления расписания учебных занятий для ВУЗов с учётом ограничений на основании учебных планов и других документов.

Выходные формы расписания представлены в виде текстового файла, который можно взять за основу при редактировании и доработке. Программа поддерживает составление расписание с учётом четной и нечётной недели (в других вузах также называют «занятия по первой и второй неделе»), учитывает нежелательные пары для преподавателей. Разработанная автоматизированная система позволяет учитывать многочисленные факторы, влияющие на процесс составления расписания, например: соответствие аудиторий проводимым занятиям (вместимость) и т.д.

Анализ тенденций развития информационных систем учебных заведений позволяет сделать заключение о целесообразности дальнейшей реализации данной системы в виде обособленного интернет-ресурса в составе единой информационной системы образовательного учреждения [1,5].

В заключение, стоит отметить, что разработанный алгоритм учитывает основные ограничения и в результате выдает решение, которое может быть использовано в дальнейшем для ручной доработки, чтобы учесть все нюансы работы ВУЗа и в достаточной мере удовлетворить всех участников процесса.

Список литературы

1. *Аббакумов А.А., Панфилов С.А.* Информационная поддержка управления качеством образовательной деятельности // Международный журнал «Образовательные технологии и общество». – 2015. – Том 18, №2 С. 472-477.

2. *Аббакумов А.А., Байнев В. В., Пырякина К.А.* Алгоритм составления расписания занятий для высших учебных заведений // Огарев-online. Раздел "Технические науки". – 2015. – №20. – URL: http://journal.mrsu.ru/ arts/algoritm-sostavleniya-raspisaniya-zanyatij-dlya-vysshix-uchebnyx- zavedenij (дата обращения: 03.05.16)

3. *Семенов С.П., Татаринцев Я.Б.* Сравнительный анализ подходов к автоматизации составления расписаний учебных занятий в образовательных учреждениях // Известия Алтайского государственного унивеситета. – 2010. – №1-1. С. 103 – 105.

4. *Кабальнов Ю.С., Шехтман Л.И., Низамова Г.Ф., Земченкова Н.А.* Композиционный генетический алгоритм составления расписания учебных занятий // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2006. – Т.7, №2.

5. *Аббакумов А.А., Резниченко А.Д., Панфилов С.А.*. Создание информационных систем на базе распределенных сетей сайтов // Научно-технический вестник Поволжья. №3 2015г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2015. С. 205-209.

05.13.05

[1]И.К. Алайцев, [2]О.И. Афонина, [3]Т.В. Данилова, [2]И.Ю. Ермаков, [2]В.Н. Кучмин, [3]А.О. Мантуров, [2]Г.О. Мареев, [2]О.В. Мареев

[1]Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Институт электронной техники и машиностроения, кафедра системотехника, Саратов

[2]Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского, факультет стоматологии, кафедра оториноларингологии, Саратов

[3]Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Институт прикладных информационных технологий, кафедра информационная безопасность автоматизированных систем, Саратов

alaitsev@gmail.com, tvdan521@gmail.com, ermakov1988@inbox.ru, kuchminvn@mail.ru, manturovao@gmail.com, dr-mareev@mail.ru, ovmareew@mail.ru

УСТРОЙСТВО ВВОДА С ТАКТИЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Разработка систем виртуальной реальности является одним из активно развивающихся направлений исследований. Особенно интересны системы с тактильной обратной связью, позволяющие взаимодействовать с виртуальными объектами посредством прикосновения. При разработке таких систем применяются специальные устройства ввода с тактильной обратной связью (гаптик-устройства). В работе представлено описание такого устройства, возможности ввода которого расширены тремя степенями свободы.

Ключевые слова: *гаптик-устройства, тактильная обратная связь, гироскоп, акселерометр, устройство ввода.*

Разработка систем виртуальной реальности является одним из активно развивающихся направлений исследований [1]. Особенно интересны системы с тактильной обратной связью, позволяющие взаимодействовать с виртуальными объектами посредством прикосновения. Разработка подобных систем требует применения специализированных систем управления.

Известны системы управления с тактильной обратной связью, так называемые гаптик-устройства, которые в последнее время все шире используются в различных областях современной науки и техники. Эти устройства позволяют вводить координатную информацию в компьютер, и, таким образом, являются координатными манипуляторами, однако при этом могут являться и устройствами вывода, прилагая к руке оператора усилие, направленное в ту или иную сторону. Подобные устройства используются для создания тактильного образа какого-либо виртуального предмета и встречаются в компьютерных играх, различных системах виртуальной реальности, трехмерной компьютерной графики (лепки и моделирования), медицинских системах, а также для управления различными робототехническими устройствами [2]. Для создания таких устройств используются обычно схемы простых последовательных многорычажных механизмов [3], либо параллельные механизмы, в частности дельта-механизмы [4]. Последние имеют значительное превосходство над последовательными многорычажными механизмами, так как значительно более устойчивы и стабильны в пространстве, а также позволяют прилагать большую силу и создавать более реалистичные тактильные ощущения.

К недостаткам подобного механизма можно отнести небольшое числе степеней свободы (3) в классическом дельта-механизме. Для ряда приложений необходимо большее число степеней свободы - например управление роботизированным инструментом с большим числом степеней свободы или использование для ввода в медицинских симуляторах (например, симуляция работы с бормашиной или другими хирургическими инструментами - требуется знание об ориентации и наклоне инструмента в пространстве [5]). При этом

различные устройства, совмещающиеся с оригинальным, обычно имеют ряд шарнирных связей, с установленными в них датчиками угла поворота, что требует протягивания дополнительных проводов, уменьшает жесткость системы и обычно требует внесения изменений в оригинальный механизм.

Нами впервые предлагается устройство ввода с тактильной обратной связью [6], снабженное дополнительными степенями свободы, которое состоит из оригинального дельта-механизма, к подвижной площадке которого через рычаг жестко закреплен карданный механизм, при этом считывание положения этого механизма производится при помощи помещенного в его центр вращения микроэлектромеханического (МЭМС) гироскопа-акселерометра.

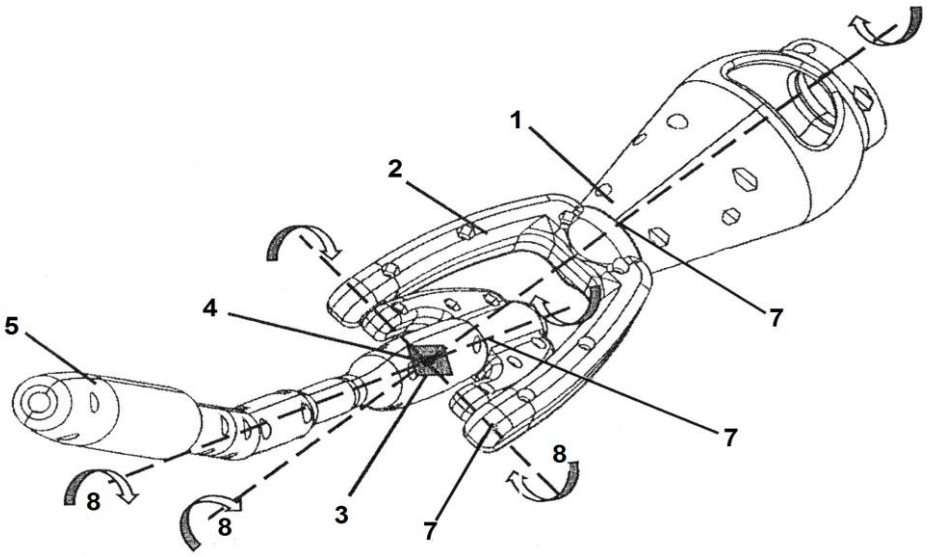


Рисунок 1. Увеличенное изображение насадки для дельта-механизма с дополнительными степенями свободы.
1 – рычаг крепления к площадке дельта механизма; 2 - карданный механизм; 3 - микроэлектромеханический гироскоп-акселерометр; 4 - центр вращения карданного механизма; 5 - рукоятка управления; 6 – кабель; 7 - шарнирное соединение карданного механизма; 8 - ось вращения карданного механизма

На Рисунок показан увеличенный вид разработанной насадки. Устройство жестко закрепляется на подвижной площадке дельта механизма оригинального манипулятора через рычаг крепления 1. Длина данного рычага выбирается исходя из практических требований, предъявляемых к системе и может варьировать. На рычаг крепления 1 закрепляется карданный механизм 2, имеющий шарнирные соединения 7. В зависимости от числа шарнирных соединений 7 карданный механизм 4 может быть различного устройства и иметь различное число осей вращения 8 и допускать до 3 степеней свободы. В центр вращения карданного механизма 6 установлен МЭМС гироскоп-акселерометр 3, жестко связанный с рукояткой 5 для управления оператором. Рукоятка 5 может быть различной формы - имитирующая, например, перо, рукоять хирургического инструмента или бормашину.

Предлагаемое устройство не стесняет движений оператора в пределах заданного числа степеней свободы карданного механизма 4, при этом данные о положении в пространстве рукоятки 5 будут сниматься с МЭМС гироскопа-акселерометра 3. Это обеспечивает высокую точность получаемых данных о положении рукоятки 5 в пространстве, включая ее наклоны и повороты вокруг своей оси. Благодаря жесткой связи карданного механизма 4 с подвижной площадкой точка приложения силы обратной связи переносится с подвижной площадки на центр вращения карданного механизма 4.

Благодаря применению предлагаемого устройства число степеней свободы оригинального дельта-механизма расширяется на число степеней свободы карданного механизма, что значительно увеличивает его возможности, практически не ограничивая движения руки оператора в пространстве, либо задавая ему необходимый объем движений. Микроэлектромеханический гироскоп-акселерометр в качестве единственного датчика устройства приводит к упрощению ее конструкции, а также к повышению ее надежности, так как не содержит в себе движущихся деталей.

Список литературы

1. *Мареев Г.О. et al.* Обзор систем виртуальной реальности для обучения хирургическим навыкам в области лица и шеи: article // Мир науки, культуры, образования. 2015. № 6 (55). P. 92–96.
2. *Coles T.R., Meglan D., John N.W.* The Role of Haptics in Medical Training Simulators: A Survey of the State of the Art: article // IEEE Trans. Haptics. IEEE, 2011. Vol. 4, № 1. P. 51–66.
3. *Massie T.H., Salisbury J.K.* The phantom haptic interface: A device for probing virtual objects: inproceedings // Proceedings of the ASME winter annual meeting, symposium on haptic interfaces for virtual environment and teleoperator systems. 1994. Vol. 55, № 1. P. 295–300.
4. *Martin S., Hillier N.* Characterisation of the Novint Falcon haptic device for application as a robot manipulator: inproceedings // Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA). 2009. P. 291–292.
5. *Алайцев И.К., Мареев Г.О., Мареев О.В.* Технические аспекты реализации хирургического симулятора с тактильной обратной связью: article // Журнал научных статей «Здоровье и образование в XXI веке». 2016. Vol. 18, № 6. P. 25–30.
6. *Мареев Г.О., Мареев О.В., Алайцев И.К.* Устройство ввода с тактильной обратной связью с дополнительными степенями свободы: патент №160034. Россия, 2016.

05.13.00

А.С. Андреев д.ф.-м.н., Д.С. Макаров, О.А. Перегудова д.ф.-м.н.

Ульяновский государственный университет,
факультет математики, информационных и авиационных технологий,
кафедра информационной безопасности и теории управления,
Ульяновск, andreevas@ulsu.ru

ОБ УПРАВЛЕНИИ МАНИПУЛЯТОРАМИ БЕЗ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ

В работе исследуется задача о стабилизации установившихся программных движений двухзвенного манипулятора без измерения скоростей. В качестве модельных выбраны уравнения Лагранжа. Построены законы управления в виде нелинейного интегрального регулятора, обеспечивающие стабилизацию программного положения и стационарного движения. К исследуемой задаче сводятся задачи об управлении манипуляторами с гидро- и пневмоприводами.

Ключевые слова: *математическое моделирование, управление движением, стабилизация, установившееся движение, неполное измерение, манипулятор.*

Рассмотрим модель горизонтального двухзвенного манипулятора [1] (см. рис. 1), состоящего из неподвижного основания и двух абсолютно жестких звеньев G_1, G_2. Элементы конструкции соединены между собой двумя идеальными цилиндрическими шарнирами O_1, и O_2 таким образом, что оба звена могут совершать движения только в горизонтальной плоскости. Центр масс C_1 звена G_1 лежит на луче O_1O_2. Положение центра масс C_2 звена G_2 не совпадает с положением шарнира O_2.

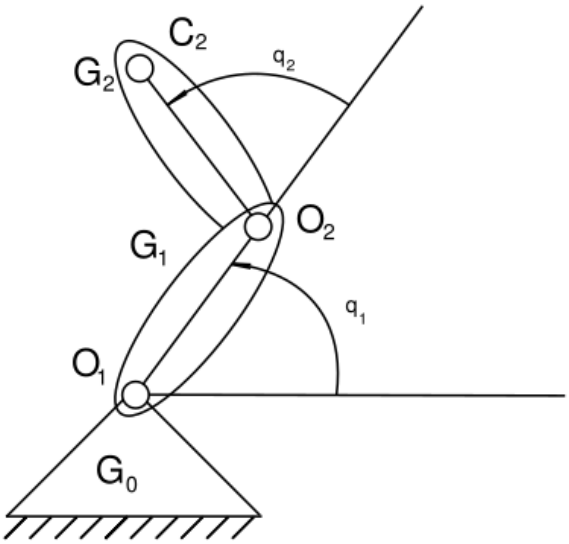


Рис.1: Модель двухзвенного манипулятора

Введем следующие обозначения: $q_i (i = 1,2)$ — соответствующие углы поворотов звеньев манипулятора, l_i — длина отрезка O_iC_i; l — длина отрезка O_1O_2; m_i — масса i-го звена; I_i — момент инерции i-го звена относительно оси шарнира O_i; g — ускорение свободного падения.

Имеем следующее выражение для кинетической энергии рассматриваемой системы:

$$T = \frac{1}{2}((I_1 + I_2 + m_2 l^2 + 2m_2 l l_2 \cos q_2)\dot{q}_1^2 + (I_2 + m_2 l l_2 \cos q_2)\dot{q}_1\dot{q}_2 + I_2\dot{q}_2^2). \quad (1)$$

Из выражения (1), используя уравнения Лагранжа второго рода, получим следующие уравнения движения манипулятора:

$$\begin{aligned} &a_{11}\ddot{q}_1 + a_{12}\ddot{q}_2 - 2m_2 l l_2 \sin q_2 \dot{q}_1 \dot{q}_2 - m_2 l l_2 \sin q_2 \dot{q}_2^2 = U_1, \\ &a_{12}\ddot{q}_1 + a_{22}\ddot{q}_2 + m_2 l l_2 \sin q_2 \dot{q}_1^2 = U_2 \end{aligned} \qquad (2)$$

где $a_{11}(q_2) = m_2 l_1^2 + I_1 + I_2 + 2m_2 l l_2 \cos q_2$, $a_{12}(q_2) = I_2 + m_2 l l_2 \cos q_2, a_{22} = I_2$, U_i – управляющие моменты.

Пусть $q = (q_1, q_2)'$ — вектор обобщенных координат рассматриваемой механической системы и множество

$$X = \{(q^0(t), \dot{q}^0(t)) : [t_0, +\infty) \to R^4, |q^0(t)| \le g_0, |\dot{q}^0(t)| \le g_1, |\ddot{q}^0(t)| \le g_2\}$$

является заданным множеством программных движений манипулятора в виде ограниченных дважды непрерывно дифференцируемых функций $q = q^0(t)$, имеющих ограниченные производные при $t \in [t_0, +\infty)$. Символом $|\bullet|$ обозначена евклидова норма вектора.

Пусть $(q^0(t), \dot{q}^0(t)) \in X$ — какое-либо программное движение, реализуемое программным управлением $U = U^0(t)$. Таким образом, для обеспечения такого движения имеют место следующие тождества

$$U_1^0(t) \equiv a_{11}(q_2^0(t))\ddot{q}_1^0(t) + a_{12}(q_2^0(t))\ddot{q}_2^0(t) - 2m_2 l l_2 \sin q_2^0(t)\dot{q}_1^0(t)\dot{q}_2^0(t) -$$
$$-m_2 l l_2 \sin q_2^0(t), \quad U_2^0(t) \equiv a_{12}^0(t)\ddot{q}_1^0(t) + I_2 \ddot{q}_2^0(t).$$

Введем возмущения $x_k = q_k - q_k^0(t)$, $\dot{x}_k = \dot{q}_k - \dot{q}_k^0(t)$, $k = 1,2$, и составим уравнения возмущенного движения в векторно-матричном виде:

$$A^{(1)}(t,x)\ddot{x} = \dot{x}' C^{(1)}(t,x)\dot{x} + Q^{(1)}(t,x) + Q^{(2)}(t,x,\dot{x}) + U^{(1)}, \qquad (3)$$

$$A^{(1)}(t,x) = \begin{pmatrix} a_{11}(q_2^0(t) + x_2) & a_{12}(q_2^0(t) + x_2) \\ a_{12}(q_2^0(t) + x_2) & I_2 \end{pmatrix},$$

$$C^{(1)}(t,x) = (C_1^{(1)}(t,x), C_2^{(1)}(t,x))',$$

$$Q^{(1)}(t,x) = F(t,x)p(x), \quad Q^{(2)}(t,x,\dot{x}) = D(t,x)\dot{x},$$

$$C_1^{(1)}(t,x) = m_2 l l_2 \sin(q_2^0(t) + x_2)\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$C_2^{(1)}(t,x) = -m_2 l l_2 \sin(q_2^0(t) + x_2)\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$F(t,x) = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{pmatrix}, \qquad p(x) = \begin{pmatrix} \sin(x_1/2) \\ \sin(x_2/2) \end{pmatrix}, \qquad D(t,x) = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} \end{pmatrix},$$

$f_{11}(t,x) = 0$, $f_{21}(t,x) = 0$,

$$f_{12}(t,x) = 4m_2 g l l_2 \ddot{q}_1^0(t)\sin(q_2^0(t) + x_2/2) +$$
$$+2m_2 l l_2 \ddot{q}_2^0(t)\sin(q_2^0(t) + x_2/2) +$$
$$+4m_2 l l_2 \cos(q_2(t) + x_2/2)\dot{q}_1^0(t)\dot{q}_2^0(t) +$$
$$+2m_2 l l_2 \cos(q_2^0(t) + x_2/2)(\dot{q}_2^0)^2,$$

$$f_{22}(t,x) = 2m_2 l l_2 \ddot{q}_2^0(t)\sin(q_2^0(t)+x_2/2)+$$
$$+2m_2 l l_2 \cos(q_2^0(t)+x_2/2)(q_1^0(t))^2,$$
$$d_{11}(t,x) = 2m_2 l l_2 \sin(q_2^0(t+x_1)\dot{q}_2^0(t)),$$
$$d_{12}(t,x) = 2m_2 l l_2 \sin(q_2^0(t+x_1)\dot{q}_1^0(t)) + 2m_2 l l_2 \sin(q_1^0(t)+x_2)\dot{q}_2^0(t),$$
$$d_{21}(t,x) = -2m_2 l l_2 \sin(q_2^0(t)+x_2)\dot{q}_1^0(t),$$
$$d_{22}(t,x) = 0.$$

Задача построения стабилизирующего управления для системы (3) состоит в нахождении закона по обратной связи по состоянию вида

$$U^{(1)} = U^{(1)}(t,x,\dot{x}), \quad U^{(1)}(t,0,0) \equiv 0,$$

при котором достигается равномерная асимптотическая устойчивость невозмущенного движения $\dot{x} = x = 0$ системы (3). Иначе, управление

$$U = U^0(t) + U^{(1)}(t, q - q^0(t), \dot{q} - \dot{q}^0(t))$$

должно обеспечивать стабилизацию программного движения $(q^0(t), \dot{q}^0(t)) \in X$ системы (1). Поставленная задача решалась ранее в работе авторов [2] построением законов управления на основе информации, получаемой только с датчиков скоростей.

Рассмотрим задачу о стабилизации программного положения

$$q_1^0(t) = q_1^0 = const, \quad q_0^2(t) = q_0^2 = const. \tag{4}$$

двухзвенного манипулятора (1) без измерения скоростей.

В соответствии с представленным в [3, 4] общим алгоритмом для голономной механической системы, эта задача решается управлением вида

$$U_1^{(1)}(t, x_{1t}) = -k_1 \sin\frac{x_1(t)}{2} - \int_{t-h}^{t} p_1^0 e^{s_1^0(\tau - t)}(x_1(t) - x_1(\tau))d\tau,$$
$$U_1^{(2)}(t, x_{2t}) = -k_2 \sin\frac{x_2(t)}{2} - \int_{t-h}^{t} p_2^0 e^{s_2^0(\tau - t)}(x_2(t) - x_2(\tau))d\tau, \tag{5}$$

где $k_1, k_2, p_1^0, p_2^0, s_1^0, s_2^0$ — некоторые постоянные, $x_{1t} = x_1(t+s),. x_{2t} = x_2(t+s), -h \le s \le 0$.

При этом согласно теореме из [4] каждое возмущенное движение будет неограниченно приближаться при $t \to \infty$ к положению равновесия, которое определяется равенствами: $\sin(x_1(t)/2) = 0, \quad \sin(x_2(t)/2) = 0.$ Отсюда получаем, что $x_1(t) = 2\pi k, \quad x_2(t) = 2\pi k, \quad k \in Z$.

Таким образом, в переменных q_1 и q_2 для каждого возмущенного движения имеем при $t \to +\infty$

$$q_1(t) \to q_1^0 + 2\pi k, \quad q_2(t) \to q_2^0 + 2\pi k. \tag{6}$$

Так как положения манипулятора в переменных q_1 и q_2 определяются с точности до 2π, то управлением (5) достигается глобальная стабилизация положения (4).

Выражение для кинетической энергии не содержит координату q_1 в явном виде, т.е. она является циклической. Вводим циклический импульс

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_1} = a_{11}\dot{q}_1 + a_{12}\dot{q}_2 = v.$$

Составим функцию Рауса. Для этого находим $\dot{q}_1 = (v - a_1 2\dot{q}_2)/a_{11}$,

$$R = \frac{1}{2}(v - a_{12}\dot{q}_2)^2/a_{11} + a_{22}(v - a_{12}\dot{q}_2)\dot{q}_2/a_{11} + \frac{1}{2}a_{22}\dot{q}_2^2 - v(v - a_{12}\dot{q}_2)/a_{11} =$$
$$= \frac{1}{2}(a_{22} - a_{12}^2/a_{11})\dot{q}_2^2 - \frac{1}{2}v^2/a_{11} + a_{12}v\dot{q}_2/a_{11}.$$

Отсюда имеем следующие уравнения движения в переменных $q_2, \dot{q}_2, v$

$$\frac{d}{dt}((a_{22} - a_{12}^2 / a_{11})\dot{q}_2) - \frac{1}{2}\frac{\partial a_{11}}{\partial q_2}v_0^2 / a_{11}^2 = M_1, \quad v = v_0 = const.$$

Эти уравнения допускают движения вида

$$v = v_0 = const, \quad \dot{q}_2 = 0, \quad q_2 = q_2^0 = const, \tag{7}$$

если

$$U_1^0 = m_2 l l_2 \sin q_2^0 v_0^2/(m_2 l^2 + I_1 + I_2 + 2m_2 l l_2 \cos q_2^0)^2.$$

В соответствии с представленным в [4] общим решением в задаче о стабилизации установившегося движения голономной механической системы с циклическими координатами получаем, что задача о стабилизации движения по q_2 и $\dot{q}_2$ решается управлением

$$U_2 = U_2^0 - k_2 \sin x_2(t) - \int_{t-h}^{t} p_2^0 e^{s_2^0(\tau - t)}(x_2(t) - x_2(\tau))d\tau,$$

$$k_2 = \frac{m_2 l l_2 \cos q_2^0 p_0^2}{(ml^2 + I_1 + I_2 + 2m_2 l l_2 \cos q_2^0)^2}; \quad v_2^0 = const > 0,$$

На рисунке 2 представлены результаты численного моделирования, которые подтверждают полученные теоретические результаты.

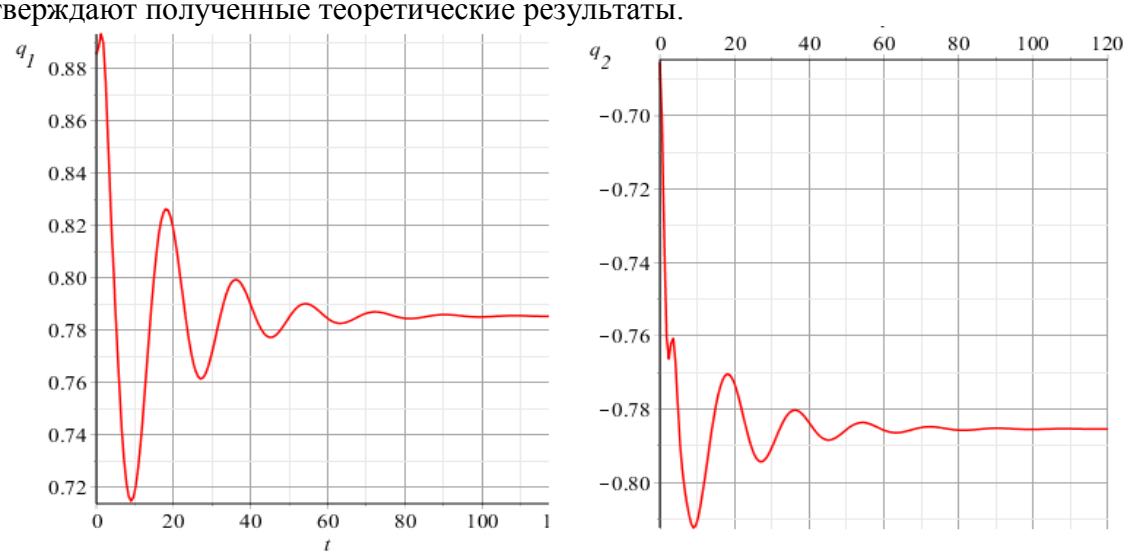


Рис.2: Результаты численного моделирования

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (15-01-08482).

Список литературы

1. *Spong M., Seth H. and Vidyasagar M.* Robot Dynamics and Control. – New York: Wiley, 2004.
2. *Андреев А.С., Раков С.Ю.* Об управлении двухзвенным роботом-манипулятором на основе ПИ-регулятора // Автоматизация процессов управления. 2015. № 3(41). С. 69–72.
3. *Андреев А.С., Благодатнов В.В., Кильметова А.Р.* Уравнения Вольтерра в моделировании ПИ- и ПИД-регуляторов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С. 84–90.
4. *Андреев А.С., Перегудова О.А., Раков С.Ю.* Уравнения Вольтерра в моделировании нелинейного интегрального регулятора // Журнал Средневолжского математического общества. 2016. Т. 18, № 3. С. 8–18.

05.13.00

А.С. Андреев д.ф.-.м.н., Л.С. Тахтенкова

Ульяновский государственный университет,
факультет математики, информационных и авиационных технологий,
кафедра информационной безопасности и теории управления,
Россия, Ульяновск, andreevas@ulsu.ru

О СТАБИЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЙ СПУТНИКА ПО КРУГОВОЙ НЕКЕПЛЕРОВОЙ И НА ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОРБИТАХ

В работе исследуется задача о стабилизации движения спутника как материальной точки по круговой некеплеровой орбите без измерения скоростей и вращательного движения осесимметричного спутника на эллиптической орбите.

Ключевые слова***:*** *спутник, круговая некеплерова орбита, эллиптическая орбита, вращательное движение, стабилизация*.

Задачи о стабилизации движения спутника, несмотря на классический характер, продолжают оставаться актуальными. В настоящей работе представлены новые решения двух известных задач [1-6].

Уравнения Рауса управляемого движения спутника как материальной точки m имеют следующий вид [7]:

$$\ddot{r} = r\dot{\theta}^2 - \frac{\mu}{r^2} + \frac{p^2}{m^2 r^3 \cos^2\theta} + U_r ,$$

$$\ddot{\theta} = -\frac{2\dot{r}\dot{\theta}}{r} - \frac{p^2 \sin\theta}{mr^2 \cos^3\theta} + U_\theta + \frac{p^2 \sin\theta}{mr_0^2 \cos^3\theta},$$

$$\dot{\varphi} = \frac{p}{mr^2 \cos\theta}, \quad \frac{dp}{dt} = U_\varphi \qquad (1)$$

где μ – гравитационный параметр Земли, r, θ, φ - сферические координаты, p - циклический импульс, соответствующий циклической координате φ, U_r, U_θ, U_φ - соответствующие управляющие силы и моменты.

Уравнения движения (1) имеют решения

$$r = r_0 = const, \quad \theta = \theta_0 = const, \; p = p_0 = const$$

$$\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0 = \frac{p_0}{mr_0^2 \cos\theta_0}, r_0 = \frac{p_0}{\mu m^2 \cos^2\theta_0}$$

если

$$U_r^0 = 0, U_\theta^0 = \frac{p_0^2 \sin^2\theta_0}{mr_0^2 \cos^3\theta_0}, U_\varphi^0 = 0.$$

Это решение соответствует движению спутника по круговой некеплеровой орбите, лежащей в плоскости, параллельной экваториальной, с угловой скоростью $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0 = const$.

Задача о стабилизации этого движения посредством дополнительных управляющих воздействий без измерения скоростей решается в виде:

$$\Delta U_r = -k_1 \int_{t-n}^{t} e^{-\alpha_1(t-\tau)} (r(t) - r(\tau)) d\tau ,$$

$$\Delta U_\theta = -\mu_1 \sin(\theta(t) - \theta_0) - k_2 \int_{t-n}^{t} e^{-\alpha_2(t-\tau)} (\theta(t) - \theta(\tau)) d\tau$$

$$\Delta U_r = -\mu_2 \sin(\varphi(t) - \dot{\varphi}_0 t) - k_3 \int_{t-n}^{t} e^{-\alpha_3(t-\tau)} (\sin(\varphi(t) - \dot{\varphi}_0 t) - \sin(\varphi(\tau) - \dot{\varphi}_0 \tau)) d\tau$$

где коэффициенты $k_1, k_2, k_3 > 0$, $\mu_2 > 0$, а коэффициент $\mu_1 > -\dfrac{p_0^2 \cos 2\theta_0}{m r_0^2 \cos^4 \theta_0}$.

Решение задачи достигается на основе теоремы об асимптотической устойчивости из [8] соответствующего построения функционала Ляпунова.

Рассмотрим задачу о стабилизации вращательного движения осесимметричного спутника, центр масс которого движется по эллиптической орбите.

Пусть $O\xi\eta\zeta$ – орбитальная система координат, образованная радиусом-вектором, трансверсалью и бинормалью к орбите [9]. $Oxyz$ – система координат, жестко связанная с телом, оси которой направлены по главным центральным осям инерции тела, Oz – ось симметрии. $A = B, C$ - главные центральные моменты инерции спутника.

Ориентацию $Oxyz$ относительно орбитальной системы $O\xi\eta\zeta$, будем определять при помощи углов Эйлера ψ, θ, φ, вводимых обычным образом [9].

Уравнения движения под действием гравитационных моментов будут иметь следующий вид:

$$\ddot{\psi} sin\theta + 2\dot{\psi} cos\theta + \dot{\omega} cos\psi cos\theta - 2\omega\dot{\theta} cos\psi sin\theta - \frac{C}{A} c_0 \dot{\theta} - \omega^2 sin\psi cos\psi sin\theta - \frac{C}{A} c_0 \omega sin\psi = 0$$

$$\ddot{\theta} + \dot{\omega} sin\psi + 2\omega\dot{\psi} cos\psi sin^2\theta - \dot{\psi}^2 sin\theta cos\theta - \frac{C}{A} c_0 \omega cos\psi cos\theta + \frac{C}{A} c_0 \dot{\psi} sin\theta + \omega^2 cos^2\psi sin\theta cos\theta$$

$$+3\omega^3 \left(1 - \frac{C}{A}\right)\left(1 + e cos\nu\right) sin\theta cos\theta = 0$$

$$\dot{\varphi} = c_0 - \dot{\psi} cos\theta + \omega cos\psi sin\theta, \qquad (2)$$

где $R = \dfrac{\rho}{1 - e cos\nu}$ – расстояние от центра масс спутника до центра притяжения, μ – гравитационная постоянная, ν - истинная аномалия, e -эксцентриситет, ρ – фокальный параметр орбиты, c_0 - циклическая постоянная.

Полагая $\theta = \theta_0 = const$, $\psi = \psi_0 = const$, находим обобщенные стационарные движения

$$\dot{\theta} = 0; \quad \dot{\psi} = 0; \quad \theta = \frac{\pi}{2}; \quad \psi = 0, \pi; \quad \dot{\varphi} = c_0 \pm \omega,$$

при которых спутник вращается вокруг своей оси симметрии, коллинеарной нормали к плоскости орбиты. При $\psi = 0$ ось Oz имеет противоположное направление с $O\eta$, при $\psi = \pi$ направление Oz и нормали $O\eta$ совпадают.

Исследуем задачу о стабилизации нерегулярного вращения перпендикулярного плоскости орбиты $\theta = \dfrac{\pi}{2}$, $\psi = \pi$, $\dot{\varphi} = r - \omega$ при помощи моментов пропорциональных относительной угловой скорости спутника

$$M_\theta = -k_1\dot{\theta}, \quad M_\psi = -k_2\dot{\psi}, \quad M_\varphi = 0. \qquad (3)$$

Согласно (2) имеем следующие уравнения движения в линейном приближении

$$\ddot{\xi} + \dot{\eta}\left(2\omega - \frac{C}{A} c_0\right) - \omega\xi\left(\omega - \frac{C}{A} c_0\right) + \dot{\omega}\eta + k_1\dot{\xi} = 0$$

$$\ddot{\eta} - \dot{\xi}\left(2\omega - \frac{C}{A} c_0\right) - \dot{\omega}\xi - \omega\eta\left(\omega - \frac{C}{A} c_0 + 3\omega\left(1 - \frac{C}{A}\right)\left(1 + e cos\nu\right)\right) + k_2\dot{\eta} = 0$$

Построением функции Ляпунова в виде

$$V = \frac{1}{2}(\dot{\xi} + \alpha\xi)^2 + \frac{1}{2}(\dot{\eta} + \beta\eta)^2 + \frac{1}{2}(a_{11}\xi^2 + 2a_{12}\xi\eta + a_{22}\eta^2),$$

где $a_{11}a_{22} - a_{12}^2 > 0$, из условия $\dot{V} \le 0$ и теоремы из [10] получены следующие условия стабилизируемости:

$$\frac{(\alpha^2+a_{11}+\omega(\omega-\frac{C}{A}c_0)-k_1\alpha)^2}{4(\alpha-k_1)}+\omega\alpha(\omega-\frac{C}{A}c_0)+\frac{(a_{12}+\dot{\omega}-\alpha(2\omega-\frac{C}{A}c_0))^2}{4(\beta-k_2)}\le 0$$

$$\frac{(\beta^2+a_{22}+\omega(\omega-\frac{C}{A}c_0+3\omega(1-\frac{C}{A})(1+ecosv))-\beta k_2))^2}{4(\beta-k_2)}+\beta\omega(\omega-\frac{C}{A}c_0+3\omega(1-\frac{C}{A})(1+ecosv))$$

$$+\frac{(a_{12}-\dot{\omega}+\beta(2\omega-\frac{C}{A}c_0))^2}{4(\alpha-k_1)}\le 0$$

$$\left(\frac{(\alpha^2+a_{11}+\omega(\omega-\frac{C}{A}c_0)-k_1\alpha)^2}{4(\alpha-k_1)}+\omega\alpha(\omega-\frac{C}{A}c_0)+\frac{(a_{12}+\dot{\omega}-\alpha(2\omega-\frac{C}{A}c_0))^2}{4(\beta-k_2)}\right)*$$

$$\left(\frac{(\beta^2+a_{22}+\omega(\omega-\frac{C}{A}c_0+3\omega(1-\frac{C}{A})(1+ecosv))-\beta k_2))^2}{4(\beta-k_2)}+\beta\omega(\omega-\frac{C}{A}c_0+3\omega(1-\frac{C}{A})(1+ecosv))\right.$$

$$\left.+\frac{(a_{12}-\dot{\omega}+\beta(2\omega-\frac{C}{A}c_0))^2}{4(\alpha-k_1)}\right)-$$

$$-\left(\frac{(\beta^2+a_{22}+\omega(\omega-\frac{C}{A}c_0+3\omega(1-\frac{C}{A})(1+ecosv))-\beta k_2)(a_{12}+\dot{\omega}-\alpha(2\omega-\frac{C}{A}c_0))}{4(\beta-k_2)}\right.$$

$$\left.+\frac{(\alpha^2+a_{11}+\omega(\omega-\frac{C}{A}c_0)-k_1\alpha)(a_{12}-\dot{\omega}+\beta(2\omega-\frac{C}{A}c_0))}{4(\alpha-k_1)}+\frac{(\beta-\alpha)\dot{\omega}}{2}\right)^2\ge 0$$

Новизна этого результата состоит в определении коэффициентов стабилизации управляющих моментов (3) вне зависимости от параметров орбиты.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-01-08482).

Список литературы

1. *Нита М.М.* Орбитальная устойчивость стационарного спутника Земли на произвольной широте // Механика. Периодический сб. перев. Ин. статей. 1970. Т. 5. Вып. 123. С. 16-33.
2. *Куницын А.Л., Мырзабеков Т.* Устойчивость относительного равновесия тела на возмущенной круговой орбите // ПММ. 1975. Т. 39, Вып. 4. С. 727-730.
3. *Веретенников В.Г.* Устойчивость и колебания нелинейных систем. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1994. 320 с.
4. *Сарычев В.А.* Асимптотически устойчивые стационарные вращения спутника // Космич. исследования. 1965. Т. 3. № 5. С. 667-673.
5. *Сарычев В.А.* Вопросы ориентации искусственных спутников. Итоги науки и техники. Сер. Исследование космического пространства. Т. 11. М.: ВИНИТИ, 1978. 223 с.
6. *Маркеев А.П.* Линейные гамильтоновы системы и некоторые задачи об устойчивости движения спутника относительно центра масс. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2009. 396 с.

7. *Румянцев В.В.* Об устойчивости стационарных движений спутников. Изд. 2-е. М.- Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2010. 156 с.
8. *Андреев А.С.* Метод функционалов Ляпунова в задаче об устойчивости функционально-дифференциальных уравнений // Автоматика и телемеханика. 2009. № 9. С. 4–55.
9. *Белецкий В.В.* Движение искусственного спутника относительно центра масс. М.: Наука. 1965. 416 с.
10. *Андреев А.С., Перегудова О.А.* К методу сравнения в задачах об асимптотической устойчивости // ПММ. 2006. Т. 70. № 6. С. 965-976.

05.13.00

В.В. Воронин, В.И. Марчук, Е.А. Семенищев, С.В. Маков, Н.В. Гапон

Донской государственный технический университет
факультет «Техника и технологии», кафедра «Радиоэлектронные и электротехнические системы и комплексы»,
Ростов-на-Дону, voronin_sl@mail.ru

АЛГОРИТМ СТАБИЛИЗАЦИИ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗНАЧЕНИЙ ПИКСЕЛЕЙ

В работе предложен метод и алгоритм стабилизации видеопоследовательностей. Предлагаемый подход основан на методе реконструкции отсутствующих значений пикселей для получения полного кадра. Показана эффективность подхода на примерах при восстановлении кадров видеопоследовательностей.

Ключевые слова: *реконструкция изображений, стабилизации видеопоследовательностей, аппроксимация, Евклидова норма.*

Одним из способов улучшения качества видеопоследовательностей является стабилизация, которая представляет собой процесс компенсации движения камеры. При стабилизации видеопоследовательностей после этапа получения траектории перемещения плоскости кадра возникает проблема увеличения кадра до заданных размеров, с целью скрытия изменяющихся границ [1]. При этом возникает проблема появления недостающих пикселей изображений. Эта проблема может быть решена обрезкой кадров по той части, которая присутствует на всех кадрах, или заполнением недостающих фрагментов (рисунок 1). Способ обрезания кадров приводит к значительному уменьшению разрешения видеопоследовательности, если область перекрытия небольшая среди соседних кадров [2].

Рисунок 1. Принцип стабилизации на основе рекостнтуркции пикселей

Общая схема алгоритма стабилизации видеопотока представлена на рисунке 2 [3]. Один из главных этапов в данной схеме – реконструкция отсутствующих значений пикселей для получения полного кадра.

В основе данного подхода используется метод реконструкции видеопоследовательности, предложенный в [4], который позволяет удалять или восстанавливать объекты, используя пространственную и временную информацию соседних сцен. Алгоритм итеративно выполняет следующие операции: предобработка кадра; получение модели сцены; вычисление набора дескрипторов, которые позволяют получить информацию, необходимую для восстановления кадра; реконструкция кадров с использованием пространственно-временной области пикселей - 3D блоков.

На этапе предварительной обработки выполняется сегментация каждого кадра на передний план и фон. Основная идея предлагаемого подхода состоит в том, чтобы интерполировать недостающие пиксели, используя оценку на основе пространственно-временной информации, которая описывается набором дескрипторов.

Кроме того, в основе метода стабилизации так же используется дополнительный этап уменьшения размытости изображений, вызванных движением камеры.

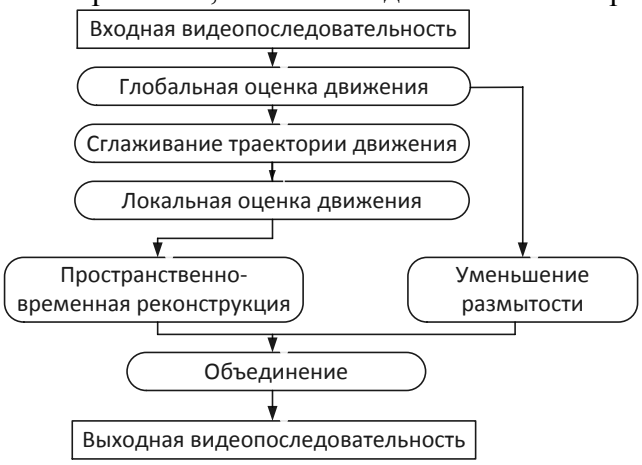


Рисунок 2. Алгоритм стабилизации видеопоследовательности

На этапе глобальной оценки движения вычисляется преобразование между последовательными кадрами для получения траектории движения видеокамеры. На следующем этапе, траектория движения аппроксимируется полиномом третей степени с целью получения сглаженной оценки.

На этапе пространственно-временной реконструкции области с отсутствующими пикселями, появившимися в результате сглаживания траектории и смещения плоскости кадров, происходит заполнение областей предложенным методом реконструкции.

На рисунке 3 и 4 представлены примеры восстановления кадров видеосигналов, разработанным методом пространственно-временной реконструкции с целью получения полного кадра (а, в – примеры кадров после выравнивания траектории перемещения плоскости кадра, б, г – примеры восстановленных кадров).

Стоит отметить, входные изображения содержат значительное количество недостающих участков изображения. Анализ результатов показывает, что граничные значения пикселей объектов изображений правильно восстановлены с помощью предложенного метода. Стоит также отметить, что обработка методом не приводит к размытию текстуры и структуры во время восстановления больших областей недостающих пикселей.

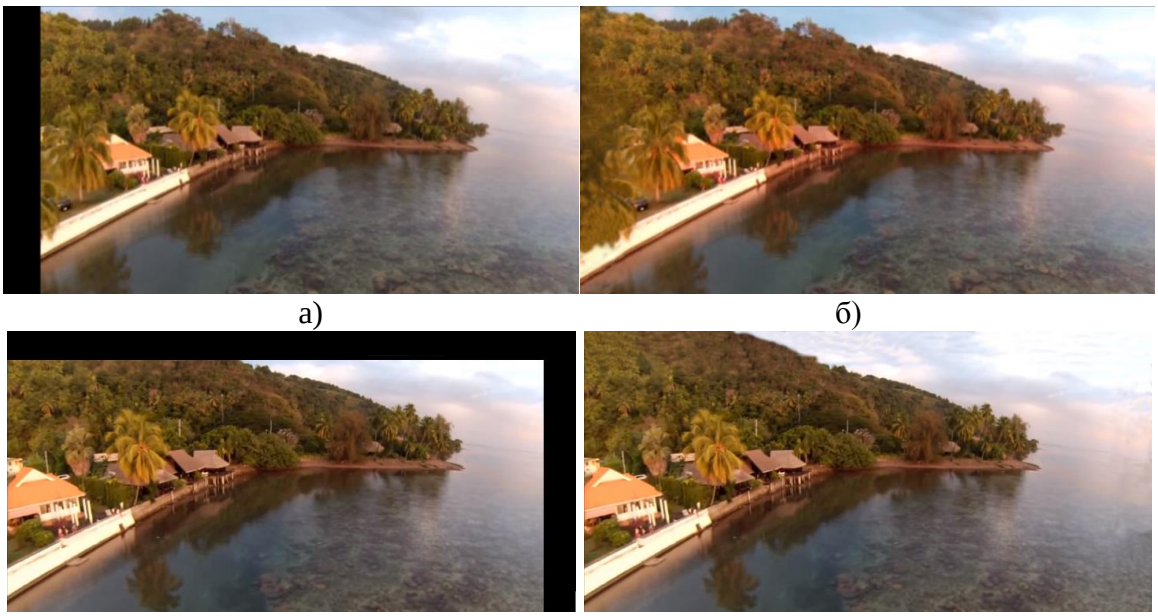
а)

б)

в)

г)

Рисунок 3. Пример реконструкции кадров видеопоследовательностей при стабилизации



а) б)

в) г)

Рисунок 4. Пример реконструкции кадров видеопоследовательностей при стабилизации

На рисунках 5 и 6 представлены примеры восстановления кадров видеосигналов, разработанным методом пространственно-временной реконструкции и методом [5] (а – пример кадра после выравнивания траектории перемещения плоскости кадра, б – пример восстановления кадра методом [5], б – пример восстановления кадра предложенным методом).

а) б) в)

Рисунок 5. Пример реконструкции кадров видеопоследовательностей при стабилизации

а) б) в)

Рисунок 6. Пример реконструкции кадров видеопоследовательностей при стабилизации

В заключении можно сделать следующие выводы. Предложен метод и алгоритм стабилизации видеопоследовательностей. Предлагаемый подход основан на методе реконструкции отсутствующих значений пикселей для получения полного кадра. Показана эффективность подхода на примерах при восстановлении кадров видеопоследовательностей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №15-01-09092 и №15-37-21124.

Список литературы

1. *Воронин В.В., Франц В.А., Марчук В.И., Письменскова М.М.* Исследование метода реконструкции видеопоследовательности на основе построения модели сцены. Успехи современной радиоэлектроники. Радиотехника. М.: 2013, №6. – С. 53-58.
2. *Voronin V.V., Marchuk V.I., Semenishchev E.A., Makov S.,* Creutzburg R. Digital inpainting with applications to forensic image and video processing. IS&T International Symposium on Electronic Imaging, Mobile Devices and Multimedia: Enabling Technologies, Algorithms, and Applications 2016, pp. 1-7(7).
3. *Voronin V., Frantc V., Marchuk V., Shrayfel I., Gapon N., Agaian S.* Video stabilization using space-time video completion, Proc. SPIE 9869, Mobile Multimedia/Image Processing, Security, and Applications 2016.
4. *Voronin V., Frantc V., Marchuk V., Shrayfel I., Gapon N., Agaian S.* Video stabilization using space-time video completion, Proc. SPIE 9869, Mobile Multimedia/Image Processing, Security, and Applications 2016, 986908.
5. *Wexler Y., Shechtman E., and Irani M.* Space-time completion of video. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), pp. 463–476, 2007.

05.13.00

Е.С. Вячкин, В.О. Каледин, С.М. Аульченко, А.С. Бондаренко, Е.А. Вячкина

НФИ КемГУ, Новокузнецк, ViachkinE@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ДЕФОРМИРОВАНИИ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ С ОБЪЕМНО-НЕСЖИМАЕМЫМИ СЛОЯМИ

Рассматривается задача вязкого или упругого деформирования слоистой структуры при условии отсутствия дивергенции перемещений. Уравнения движения или равновесия в цилиндрической системе координат преобразуются к виду, в котором бездивергентное решение точно раскладывается в полиномиальный базис. Приведен контрольный пример, подтверждающий сходимость численного решения к точному.

Ключевые слова: *математическая модель, объемная несжимаемость, поле скоростей, вязкая жидкость.*

При расчёте вязких низкоскоростных течений условие объемной несжимаемости приводит к известным трудностям в формулировке граничных условий, вследствие чего численное решение, как правило, получается либо для среды с высокой, но конечной объемной вязкостью, либо путём введения давления в качестве дополнительных неизвестных [1]. Альтернативный подход [2] предполагает использование дополнительного параметра состояния – равновесного давления, которое задаётся априори, что вносит произвол в получаемое решение. В задаче об упругом равновесии слоистой среды с несжимаемыми слоями получена модель, приводящая к системе уравнений с малым параметром, и построен алгоритм вычисления предела её решения и предела производной по параметру [3], причём предел решения позволяет определить перемещения, а предел производной – напряжения в среде. Этот подход реализован на основе метода конечных элементов в форме метода перемещений, гарантирующего сходимость. Однако построение экономичных численных схем с высоким порядком аппроксимации встречает трудности, обусловленные погрешностью аппроксимации бездивергентного поля полиномами.

Для устранения этой сложности можно явно выделить в численном решении бездивергентную составляющую. Запишем условие бездивергентности поля перемещений или скоростей U:

$$\operatorname{div} \mathrm{U} = 0. \qquad (1)$$

Необходимо определить такой набор базисных функций, который бы обеспечивал точное выполнение условия (1) для конечного элемента. Для этого определим частные решения уравнения (1), записанного в цилиндрической системе координат [4]:

$$\frac{\partial \mathrm{V}}{\partial \mathrm{y}} + \frac{1}{\mathrm{y}} \cdot \mathrm{V} + \frac{\partial \mathrm{U}}{\partial \mathrm{x}} = 0, \qquad (2)$$

где U- перемещения по оси x, V- перемещения по оси y.

Для дальнейших вычислений введем новые функции $\overline{\mathrm{U}}$, $\overline{\mathrm{V}}$, представленные в виде:

$$\overline{\mathrm{U}} = \mathrm{U} \cdot \mathrm{y}, \overline{\mathrm{V}} = \mathrm{V} \cdot \mathrm{y}. \qquad (3)$$

Из уравнений (3) выразим U и V и подставим в формулу (2):

$$\frac{\partial \overline{\mathrm{V}}}{\partial \mathrm{y}} = -\frac{\partial \overline{\mathrm{U}}}{\partial \mathrm{x}}. \qquad (4)$$

Разложим функции $\overline{\mathrm{U}}$, $\overline{\mathrm{V}}$ по базисным функциям, используя полиномиальные функции формы:

$$\overline{\mathrm{U}} = \sum_{\mathrm{i}} \overline{\mathrm{U_i}} \cdot \mathrm{N_i}(\mathrm{x}, \mathrm{y}), \overline{\mathrm{V}} = \sum_{\mathrm{i}} \overline{\mathrm{V_i}} \cdot \mathrm{N_i}(\mathrm{x}, \mathrm{y}), \qquad (5)$$

где $\mathrm{N_i}(\mathrm{x}, \mathrm{y})$ – функции формы, $\overline{\mathrm{U_i}}$ и $\overline{\mathrm{V_i}}$ – числовые коэффициенты.

Вернемся к преобразованному условию отсутствия дивергенции (4). Рассмотрим четырех-, восьми- и двенадцатиузловые плоские конечные элементы.

Для четырехузлового конечного элемента функции формы имеют вид:

$$N_i(x,y) = a_i + b_i x + c_i y + d_i xy, \quad (6)$$

где a_i, b_i, c_i, d_i – коэффициенты.

Продифференцировав $\overline{U}$, $\overline{V}$ по x и y соответственно, получим систему:

$$\begin{cases} \frac{\partial \overline{U}}{\partial x} = \sum_i \overline{U}_i \frac{\partial N_i}{\partial x} = \sum_i (\overline{U}_i b_i + \overline{U}_i d_i y), \\ \frac{\partial \overline{V}}{\partial y} = \sum_i \overline{V}_i \frac{\partial N_i}{\partial y} = \sum_i (\overline{V}_i c_i + \overline{V}_i d_i x). \end{cases} \quad (7)$$

Подставим производные (7) в уравнение (4), найдём общее решение полученной системы линейных уравнений:

$$\begin{bmatrix} \overline{U}_1 \\ \overline{U}_2 \\ \overline{U}_3 \\ \overline{U}_4 \\ \overline{V}_1 \\ \overline{V}_2 \\ \overline{V}_3 \\ \overline{V}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} C_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} C_2 + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} C_3 + \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} C_4 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} C_5. \quad (8)$$

Для четырехузлового конечного элемента получаем, и пять свободных переменных. Ранг локальной матрицы несжимаемости будет равен числу базисных переменных уравнения относительно коэффициентов. Следовательно, матрица несжимаемости будет иметь ранг, равный трем.

Проведем аналогичные вычисления для восьмиузлового конечного элемента, функции формы которого имеют вид:

$$N_i(x,y) = a_i + b_i x + c_i y + d_i xy + e_i x^2 + f_i y^2 + g_i x^2 y + h_i xy^2. \quad (9)$$

Продифференцируем уравнения (5), с учётом (9) по x и y соответственно, получим:

$$\begin{cases} \frac{\partial \overline{U}}{\partial x} = \sum_i \overline{U}_i \frac{\partial N_i}{\partial x} = \sum_i (\overline{U}_i b_i + \overline{U}_i d_i y + 2\overline{U}_i e_i x + 2\overline{U}_i g_i xy + \overline{U}_i h_i y^2) \\ \frac{\partial \overline{V}}{\partial y} = \sum_i \overline{V}_i \frac{\partial N_i}{\partial y} = \sum_i (\overline{V}_i c_i + \overline{V}_i d_i x + 2\overline{V}_i f_i y + \overline{V}_i g_i x^2 + 2\overline{V}_i h_i xy) \end{cases}. \quad (10)$$

Система уравнений (4) после подстановки в неё производных (10) имеет 10 ненулевых частных решений. Из этого следует, что матрица несжимаемости будет иметь ранг шесть.

Аналогичные вычисления проведем и для двенадцатиузлового конечного элемента. Его функции формы имеют вид:

$$N_i(x,y) = a_i + b_i x + c_i y + d_i xy + e_i x^2 + f_i y^2 + g_i x^2 y + h_i xy^2 + k_i x^3 + l_i y^3 + m_i x^3 y + n_i xy^3. \quad (11)$$

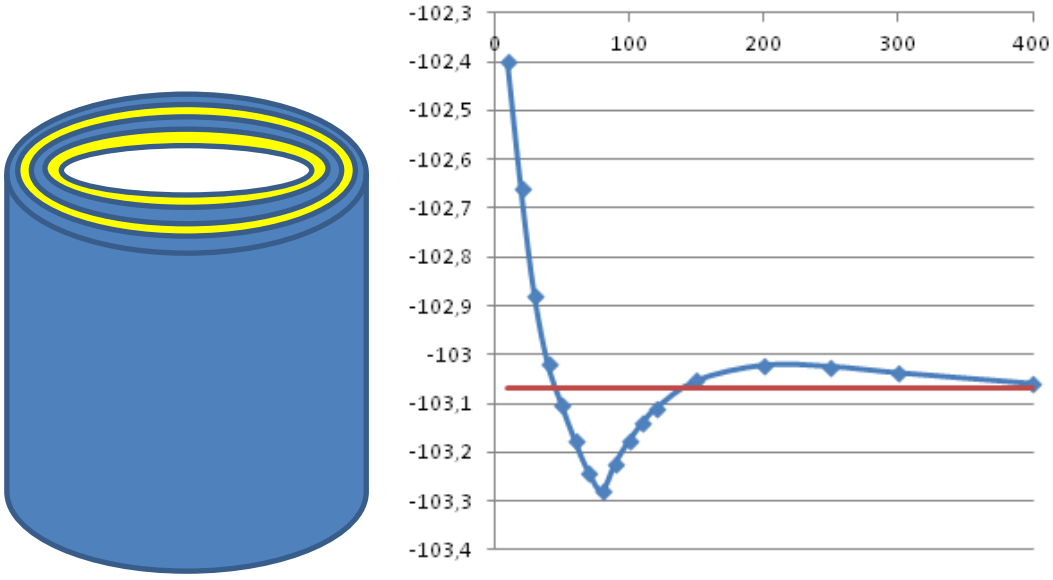
Продифференцировав $\overline{U}$, $\overline{V}$ по x и y соответственно, подставив в уравнение (4) и решая полученную систему, найдём, что для двенадцатиузлового конечного элемента матрица несжимаемости будет иметь ранг десять.

Таким образом, предложенные формулы (3) позволяют точно аппроксимировать полиномами вспомогательные функции $\overline{U}, \overline{V}$, отвечающие условию бездивергентности деформации. Базисные функции для перемещений получаются из полиномов с учётом (3) и оказываются дробно-рациональными.

Проиллюстрируем численное решение на примере задачи о движении слоистой вязкой среды через цилиндрический канал. Числовой пример решён с использованием пакета программ «Композит-НК» [5]. Расчётная область представляет собой пространство между двумя цилиндрами (рис. 1а), длина канала равна 500 мм, радиус внешнего цилиндра 200 мм. В канале движутся 11 чередующихся слоёв толщиной 2мм, различающихся сдвиговой вязкостью: 6 слоёв имеют вязкость 0,01 МПа·С, а 5 слоёв между ними – 6700 МПа·С. Такое соотношение характерно для полимерного связующего и армированных слоёв при формовании композиционных деталей. В рассмотренном примере считалось, что на внешней поверхности слоистого пакета осевая скорость отсутствует, а на внутренней поверхности

задано осевое касательное напряжение. Рассчитывалось поле скоростей и тензора вязких напряжений в слоях.

Результаты расчета представлены на рисунке 1б. По оси абсцисс отложено число итераций алгоритма решения системы уравнений с малым параметром, а по оси ординат – осевая скорость на внутренней поверхности слоистого пакета. Аналитическое решение показано горизонтальной прямой.



а) б)

- вычисленное значение; - теоретическое значение.

Рис. 1. Тестовый пример:
а) расчетная область; б) скорость осевых перемещений

Как видно из рисунка, с увеличением числа итераций значение осевого перемещения приближается к теоретически рассчитанному.

Таким образом, предложенная численная схема может быть применена к расчётам напряженно-деформированного состояния при упругом деформировании и при вязком течении сред, содержащих объемно несжимаемые слои.

Список литературы

1. *Бате К.-Ю.* Методы конечных элементов / Пер. с англ. В.П. Шидловского под ред. Л.И. Турчака. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 1024 с.
2. *Аульченко С.М.* Моделирование ламинарного течения вязкой сжимаемой жидкости при малых скоростях / Аульченко С.М., Васильева Е.И., Каледин В.О. // Вестник Кемеровского государственного университета. 2013. № 2-1 (54). С. 170-173.
3. *Каледин В. О.* Модель деформирования многослойной упругой конструкции, содержащей податливые объемно несжимаемые слои [Текст] / В.О. Каледин, Е.С. Вячкин // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах труды IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2016. С. 132-138.
4. *Корн Г.* Справочник по математике (для научных работников иинженеров). Определения, теоремы, формулы. 6-е изд., стер. / Г. Корн, Т. Корн - СПб.: Издательство «Лань», 2003. – 832с.
5. *Каледин В.О.* Моделирование статики и динамики оболочечных конструкций из композиционных материалов / В.О Каледин., С.М. Аульченко, А.Б. Миткевич, Е.В. Решетникова, Е.А. Седова, Ю.В. Шпакова - М. ФИЗМАТЛИТ, 2014. - 196 с.

05.13.00

Е.С. Вячкин, Е.В. Решетникова, С.М. Аульченко, А.П. Рябков, Е.А. Вячкина

НФИ КемГУ, Новокузнецк, ViachkinE@mail.ru

ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР, СОДЕРЖАЩИХ ОБЪЕМНО-НЕСЖИМАЕМЫЕ СЛОИ

Рассматривается однопараметрическая модель деформирования объектов, содержащих слои со слабой объемной сжимаемостью. Определяется предел решения краевой задачи при условии, что коэффициент Пуассона стремится к 0,5. Приводится доказательство существования и единственности предела решения.

Ключевые слова: *математическая модель, объемная несжимаемость, напряженно-деформированное состояние, коэффициент Пуассона.*

При рассмотрении объектов, содержащих слои со слабой объемной сжимаемостью, на основе двухпараметрической модели необходимо задавать в качестве исходных данных модуль сдвига (в случае расчёта вязкого течения – сдвиговую вязкость) и коэффициент Пуассона (либо объемную вязкость). Между тем, прямое измерение коэффициента Пуассона, близкого к значению 0,5, невозможно с достаточной точностью. Идентификация двухпараметрической модели по данным измерений затруднена тем, что измеряемый отклик зависит от двух параметров, и их влияние невозможно разделить.

Поэтому для расчёта полей деформаций и напряжений представляется более обоснованным использование однопараметрической модели, в которой слабо сжимаемые слои рассматриваются как несжимаемые (коэффициент Пуассона принимается равным 0,5). Краевая задача при этом предположении некорректна по Тихонову, что требует вычисления предела регуляризованной задачи при условии, что коэффициент Пуассона стремится к предельному значению 0,5.

Следуя общепринятому описанию, линейную зависимость между деформациями и напряжениями можно записать в матричном виде [4]:

$$\boldsymbol{\sigma} = D(\lambda, \mu)\boldsymbol{\varepsilon}, \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{\sigma}, \boldsymbol{\varepsilon}$ - матрицы-столбцы напряжений и деформаций соответственно. Это же уравнение может быть использовано при расчете вязкого течения, но вектор $\boldsymbol{\varepsilon}$ имеет смысл скоростей деформаций.

Матрица коэффициентов уравнения (1) D для изотропной среды имеет вид:

$$D(\lambda, \mu) = \begin{bmatrix} \lambda+2\mu & \lambda & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda+2\mu & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda & \lambda+2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu \end{bmatrix}. \qquad (2)$$

Нулевое значение постоянной μ соответствует материалу с нулевой сдвиговой жесткостью (или сдвиговой вязкостью), а значение $\lambda = 0$ – материалу с нулевым коэффициентом Пуассона. В первом случае матрица упругости (2) вырождена. Во втором случае она обратима и положительно определена. При изменении коэффициента Пуассона μ от нуля до 0,5, постоянная λ увеличивается от нуля до бесконечности, причем при любом конечном неотрицательном λ матрица (2) остается положительно определенной [1].

Далее, будем считать сдвиговой модуль μ постоянным, а постоянную λ - варьируемой от начального значения λ_0 до бесконечности. Введем малый параметр α, стремящийся к нулю при бесконечно большом λ. Тогда из (2) имеем:

$$D(\lambda,\mu) = D(\lambda_0,\mu) + \frac{1}{\alpha}H, \tag{3}$$

где

$$H = D(\lambda_0, 0),\ \frac{1}{\alpha} = \lambda - \lambda_0, \tag{4}$$

λ_0 - выбранное фиксированное значение постоянной λ.

Решение регуляризованной задачи отвечает условию стационарности функционала Лагранжа [3]

$$\Pi = \frac{1}{2}\int_V \varepsilon^T \left(D(\lambda,\mu)\right)^T \varepsilon dV - \int_{S_2} (\vec{q}\cdot\vec{u})ds. \tag{5}$$

Применение метода Ритца к минимизации функционала (5) приводит к системе линейных алгебраических уравнений с малым параметром [2]:

$$\left[K + \frac{1}{\alpha}C\right]X(\alpha) = R, \tag{6}$$

где K – матрица коэффициентов разрешающей системы регулярной задачи,

C – матрица несжимаемости,

X – вектор-столбец узловых перемещений (узловых скоростей),

R – заданный вектор-столбец нагрузок,

α - малый параметр.

Требуется определить предел решения $X(\alpha)$ и производной $X(\alpha)$ по параметру α при $\alpha \to 0$. Выясним, корректность поставленной задачи.

Поскольку обе матрицы симметричны, а одна из них положительно определена, то они могут быть одновременно приведены к диагональному виду путем перехода к базису из обобщенных собственных векторов f_i - решений задачи:

$$(K - \lambda C)f = 0, \tag{7}$$

где λ - обобщенное собственное число.

Базисные векторы f_i не ортогональны, но выполняются свойства:

$$f_i^T K f_j = \delta_{ij}\kappa_{jj},\ f_i^T C f_j = \delta_{ij}\chi_{jj}, \tag{8}$$

где δ_{ij} - симметричный символ Кронекера.

Все элементы диагональной матрицы κ_{jj} положительны, а среди элементов матрицы χ_{jj} имеются положительные и нулевые. Линейная оболочка векторов, для которых χ_{jj} равно нулю, является ядром матрицы C; будем обозначать это подпространство как G, а линейную оболочку остальных собственных векторов – H. Представим решение системы с параметром (6) в виде линейной комбинации собственных векторов:

$$X(\alpha) = x_i(\alpha) f_i. \tag{9}$$

Подстановка (9) в уравнение (6) дает:

$$\left[K + \frac{1}{\alpha}C\right]x_i(\alpha) f_i = R. \tag{10}$$

Умножив обе части (10) слева на транспонированный вектор f_j и учитывая (8), получим:

$$\left[\kappa_{ii} + \frac{1}{\alpha}\chi_{ii}\right]x_i(\alpha) = \rho_i, \tag{11}$$

где обозначено: $f_j^T R = \rho_i$.

Из (11) найдём $x_i(\alpha)$:

$$x_i(\alpha) = \frac{\rho_i}{\kappa_{ii} + \frac{1}{\alpha}\chi_{ii}}. \qquad (12)$$

Те из неизвестных $x_i(\alpha)$, для которых χ_{jj} равно нулю, не зависят от параметра α. Для них получаем:

$$x_m(\alpha) = \frac{\rho_m}{\kappa_{mm}}, \qquad (13)$$

Перейдем к пределу при $\alpha \to 0$. Для коэффициентов при векторах из *H* равенство (11) при конечных положительных χ_{jj} дает:

$$\lim_{\alpha\to 0} x_i(\alpha) = \lim_{\alpha\to 0} \frac{\rho_i}{\kappa_{ii} + \frac{1}{\alpha}\chi_{ii}} = 0 \cdot \qquad (14)$$

Предел коэффициентов при векторах из *G* найдем из (13):

$$\lim_{\alpha\to 0} x_m(\alpha) = \frac{\rho_m}{\kappa_{mm}}. \qquad (15)$$

Тогда предел вектора решения системы (6) с учетом разложения (9) является линейной комбинацией собственных векторов из ядра матрицы *C*.

Пусть g_m - собственный вектор из ядра *G*, h_k - собственный вектор из подпространства *H*. Предельным переходом в равенстве (9) с учетом (14) и (15) получим:

$$X^* = \lim_{\alpha\to 0} X(\alpha) = \frac{\rho_m}{\kappa_{mm}} g_m, \qquad (16)$$

Найдем производную вектора $X(\alpha)$ по параметру и её предел. Из равенства (15) видно, что производные коэффициентов при векторах из ядра равны нулю, следовательно, вектор производной находится в *H*. Коэффициенты разложения по векторам h_k найдем дифференцированием равенства (12):

$$\frac{d}{d\alpha} x_i(\alpha) = \frac{\rho_i \cdot \chi_{ii}}{\alpha^2\left(\kappa_{ii} + \frac{1}{\alpha}\chi_{ii}\right)^2}. \qquad (17)$$

В пределе получим:

$$\lim_{\alpha\to 0} \frac{d}{d\alpha} x_i(\alpha) = \lim_{\alpha\to 0} \frac{\rho_i \cdot \chi_{ii}}{(\alpha\kappa_{ii} + \chi_{ii})^2} = \frac{\rho_i}{\chi_{ii}}. \qquad (18)$$

Тогда предел вектора производной равен

$$Z = \lim_{\alpha\to 0} \frac{d}{d\alpha} X(\alpha) = \frac{\rho_k}{\chi_{kk}} h_k. \qquad (19)$$

Поскольку вектор *X** принадлежит ядру *G*, а вектор *Z* – подпространству *H*, эти векторы являются *K*- и *C*-ортогональными. Эти векторы определяются равенствами (17) и (18), т.е. пределы существуют, конечны и единственны.

Таким образом, получена однопараметрическая модель деформирования слоистых структур, содержащих объемно несжимаемые слои. Для такой модели показано существование единственного ненулевого решения.

Список литературы

1. *Работнов Ю.Н.* Механика деформируемого твердого тела [Текст]: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр. / Ю.Н. Работнов – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1988. – 712 с.
2. *Васильев В.В.* Механика конструкций из композиционных материалов [Текст]/ В.В. Васильев – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
3. *Каледин В.О.* Моделирование статики и динамики оболочечных конструкций из композиционных материалов / В.О Каледин., С.М. Аульченко, А.Б. Миткевич, Е.В. Решетникова, Е.А. Седова, Ю.В. Шпакова - М. ФИЗМАТЛИТ, 2014. - 196 с.
4. *Каледин В.О.* Модель деформирования многослойной упругой конструкции, содержащей податливые объемно несжимаемые слои [Текст] / В.О. Каледин, Е.С. Вячкин // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах труды IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2016. С. 132-138.

05.13.18

И.В. Гуляев д.т.н., И.С. Юшков к.т.н., А.Н. Архипов, М.А. Бобров

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ МЕТОДА MTPA (MAXIMUM TORQUE PER AMPERE) В НАДСИНХРОННОЙ ОБЛАСТИ

Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарёва,
институт электроники и светотехники, кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, is-1985@yandex.ru

Статья посвящена математическому моделированию асинхронного двигателя с реализацией метода MTPA (maximum torque per ampere) и ограничением по напряжению. Приводятся основные математические выражения, модель в системе MATLAB и результаты моделирования. Регулирование работы двигателя осуществлялось до двойной синхронной скорости.

Ключевые слова: *асинхронный двигатель, ограничение по напряжению, максимальный крутящий момент на ампер, потокосцепление, векторное управление*.

На современном этапе развития регулируемого электропривода весьма актуальной является задача внедрения энергетически эффективных систем в различных отраслях народного хозяйства. В настоящее время одним из самых распространенных электроприводов (ЭП) является привод на базе асинхронного двигателя (АД). Векторное управление обеспечивает хорошие динамические и моментные характеристики [1], что существенно расширяет область их применения. Данная статья посвящена математическому моделированию режима с максимальным крутящим момент на ампер (MTPA) ЭП на базе АД с использованием комплексного векторного управления потоком с ограничением по напряжению [2]. Данный режим обеспечивает высокую энергоэффективность двигателя.

Математически работа АД в данном режиме описывается следующими выражениями:

$$u_{sd} = i_{sd}R_s + \frac{d\Psi_{sd}}{dt} - \omega_k\Psi_{sq} \quad (1)$$

$$u_{sq} = i_{sq}R_s + \frac{d\Psi_{sq}}{dt} + \omega_k\Psi_{sd} \quad (2)$$

$$0 = i_{rd}R_r + \frac{d\Psi_{rd}}{dt} - (\omega_k - \omega)\Psi_{rq} \quad (3)$$

$$0 = i_{rq}R_r + \frac{d\Psi_{rq}}{dt} + (\omega_k - \omega)\Psi_{rd} \quad (4)$$

$$\Psi_{sd} = L_s i_{sd} + L_m i_{rd} \quad (5)$$

$$\Psi_{sq} = L_s i_{sq} + L_m i_{rq} \quad (6)$$

$$\Psi_{rd} = L_m i_{sd} + L_r i_{rd} \quad (7)$$

$$\Psi_{rd} = L_m i_{sd} + L_r i_{rq} \quad (8)$$

$$M = \frac{3}{2}\frac{P}{2}\frac{{L_m}^2}{L_r} i_{sd} i_{sq}, \quad (9)$$

где u_{sd}, u_{sq} проекции вектора напряжения статора на оси d и q, i_{sd}, i_{sq} - проекции вектора тока статора на оси d и q, i_{rd}, i_{rq} - проекции вектора тока ротора на оси d и q, R_s , R_r - активное сопротивление обмоток статора и ротора, ω_k, угловая скорость координатных осей, Ψ_{sq}, Ψ_{sd} - проекции вектора потока статора на оси d и q, L_m - взаимоиндуктивность, P – число полюсов.

Структурная схема системы управления представлена на рисунке 1.

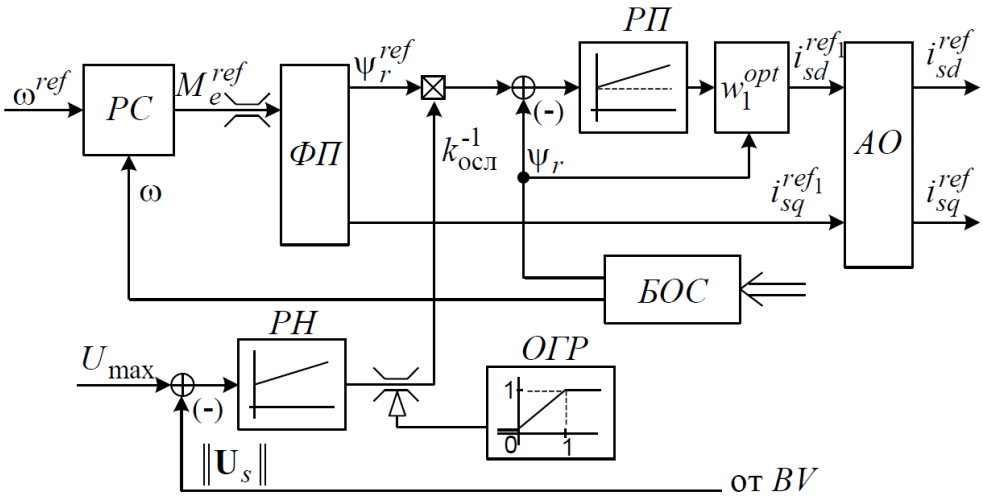


Рис. 1 – Структурная схема системы управления.

Для проведения исследований режима работы на базе структурной схемы (рис. 1) была создана математическая модель с использованием системы MATLAB simulink (Рис. 2).

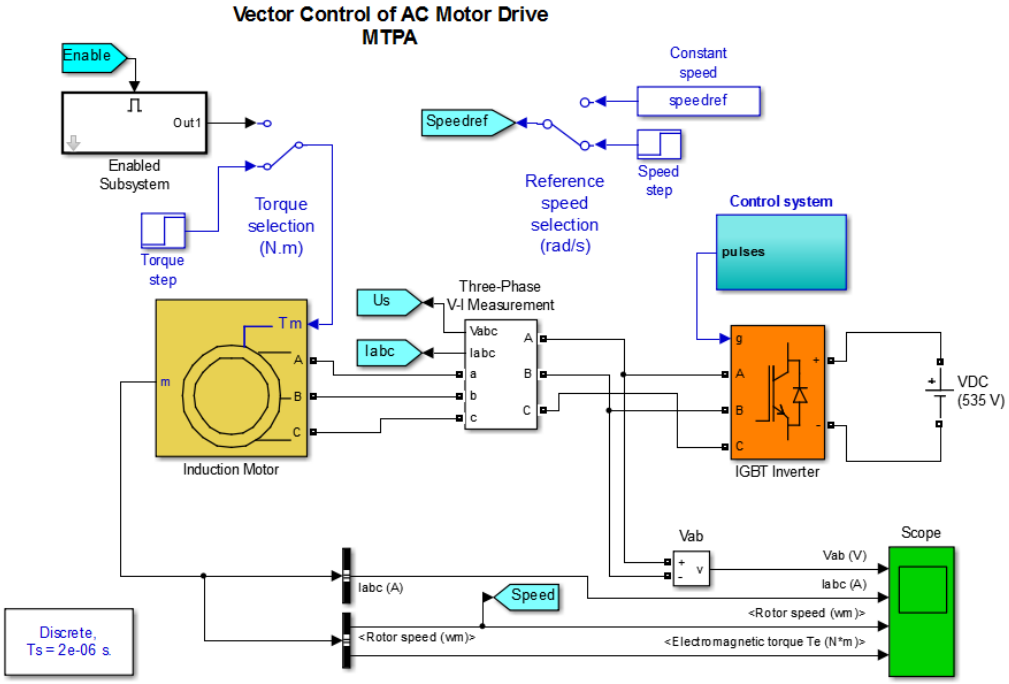


Рис. 2 – модель векторного управления асинхронным двигателем с методом МТРА.

Параметры модели (Рис. 2) соответствуют двигателю фирмы ABB 3GAA102213BSE мощностью 2,2 кВт. Управление двигателем осуществляется с помощью мостового инвертора на IGBT модулях, на вход которого подается напряжение 535 В. В качестве механической нагрузки двигателя задается момент сопротивления на валу. Также в модели присутствует задатчик скорости Speedref.

Система управления (Control system), обеспечивает принцип векторного управления АД и метод МТРА (Рис. 3).

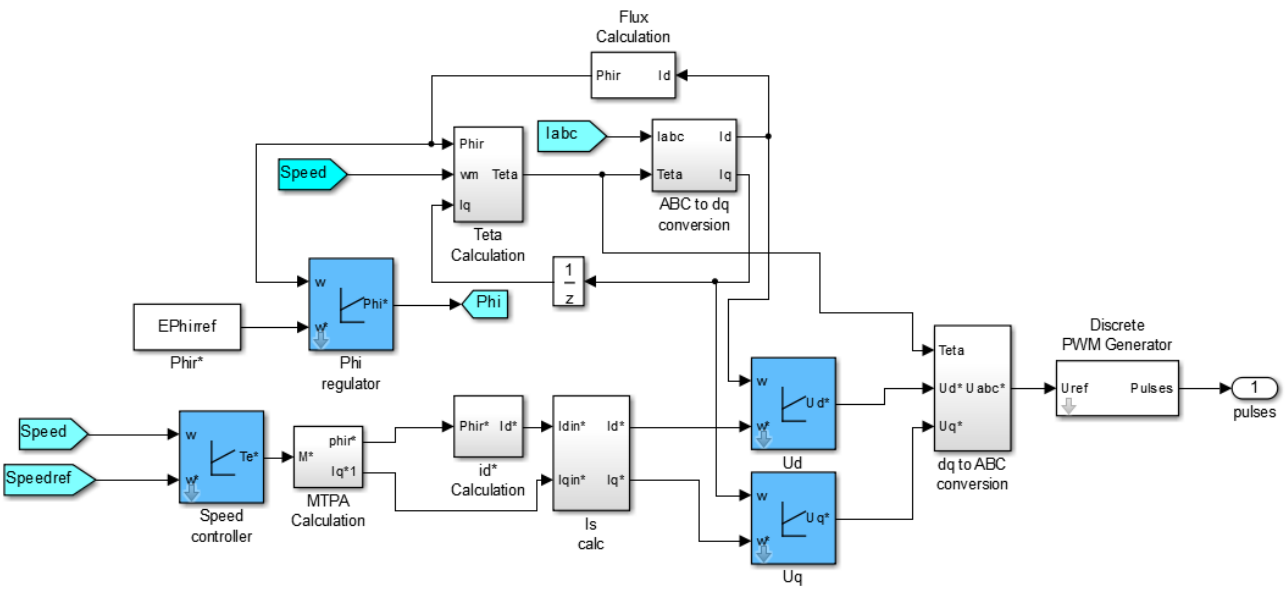


Рис. 3 – Модель системы управления.

При построении системы векторного (Рис. 3) управления используется косвенное ориентирование вектора управляющих воздействий по направлению магнитного поля ротора двигателя [3]. Исходными данными для работы являются параметры машины, а также измеряемые скорость двигателя и статорные токи. Управление потоком машины осуществляется, непосредственно управляемым компонентом напряжения d-оси, в то время как крутящий момент машины управляется через q-ось. Очень важным моментом, при данном способе управления, является постоянное ориентирование оси d по потокосцеплению ротора. [4] Для этого в математической модели создан наблюдатель потока (Flux Calculation). Косвенное ориентирование по полю производится путем вычисления оценки фазы вектора потокосцеплений ротора интегрированием суммы электрической частоты вращения и оценки частоты скольжения

Системы векторного управления, как правило, реализуются с заданием постоянного магнитного потока, что накладывает ограничения на регулирование при сверх синхронных скоростях. При регулировании скорости АД выше основной необходимо учитывать ограничение ресурсов преобразователя как по току, так и по напряжению [5]. Данное регулирование становится возможным при ослаблении потока ротора. Вычисление коэффициента ослабления потока осуществляется при помощи блока MTPA Calculation согласно следующему выражению:

$$k = \frac{\omega_{\text{н}}}{\omega_r + \omega_m} \frac{P}{2}, \tag{10}$$

где $\omega_{\text{н}}$ - номинальная скорость двигателя, ω_m - механическая скорость ротора.

Еще одним очень важным модулем является модуль ограничения токов статора (Is calc), который обеспечивает:

$$i_s = \sqrt{i_d^2 + i_q^2} \tag{11}$$

При выборе коэффициента ограничения токов статора руководствуются прежде всего возможностями преобразователя частоты. Для обеспечения пусковых режимов данный коэффициент был выбран равным 2.

Результаты моделирования показывают, что при данном способе управления можно регулировать скорость вплоть до двух синхронных, сохраняя при этом момент на валу в районе 0.8 от номинального.

На рисунке 4 представлены токи статора, скорость двигателя, электромагнитный момент, отражающие результаты проведенного математического моделирования.

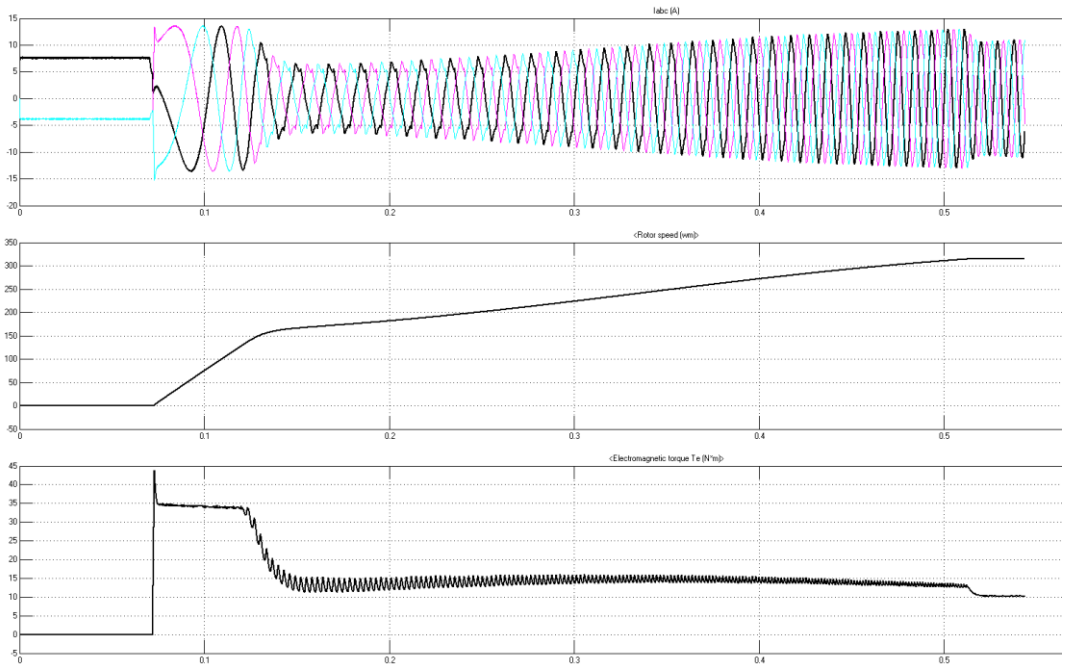


Рис. 4 – результаты моделирования.

Для обеспечения лучших динамических показателей двигатель сначала намагничивается током d составляющей при неподвижной машине и лишь затем подается q составляющая и двигатель начинает разгоняться при номинальном потоке и номинальном моменте сопротивления на валу. При достижении номинальной скорости подключается модуль осуществляющий реализацию стратегии МТРА в надсинхронной скорости, где начинается ослабление потока ротора согласно выражению 12. Динамические показатели при этом падают, однако двигатель разгоняется до двух синхронных скоростей. Это полезно в областях применения при возникновении экстремальных режимов связанных с регулированием скорости выше основной. Однако стоит помнить, что преобразователь частоты и двигатель в работает с двойными номинальными токами.

Обобщая результаты можно сделать следующие выводы:

1. Ослабление потока ротора делает возможным регулирования на сверх синхронных скоростях не нарушая ориентирования по полю.

2. При реализации режима МТРА с ограничением по напряжению становится возможным регулирование вплоть до двух синхронных скоростей при ограничении токов статора на уровне двоекратных от номинальных, формируя при этом момент на валу двигателя в районе 0,8 от номинального.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №15-19-20057).

Список литературы

1. *Усольцев А.А.* Частотное управление асинхронными двигателями/Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006, – 94 с.

2. *O. Wasynczuk, S.D. Sudhoff and K.A. Corzine,* A Maximum Torque per Ampere Control Strategy for Induction Motor Drives, IEEE Transactions on Energy Conversion (Volume: 13, Issue: 2), pp. 163-169, 1998.

3. *Анучин А.С.* Системы управления электроприводов: учебник для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 373. с.: ил.

4. *Панкратов В.В., Зима Е.А.* Энергооптимальное векторное управление асинхронными электроприводами: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 120 с.

5. *Юшков И.С., Бобров М.А., Архипов А.Н.* Математическое моделирование преобразователя частоты с векторным принципом управления выходной частоты и напряжения. / Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Новосибирск. 2016 г. С. 142-145.

05.13.19

А.В. Жолудева, Е.Н. Созинова к.т.н.

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз, Санкт-Петербург, alya-2009@yandex.ru

КОНСАЛТИНГ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В данной статье рассматриваются основные вопросы, касающиеся консалтинга в сфере информационной безопасности. Автор раскрывает задачи, цели и виды консалтинговых услуг. Особое внимание уделяется связи между состоянием безопасности организации, и её бизнес – целями.

Ключевые слова: *информационная безопасность, консалтинг, бизнес – цели.*

Сегодня консалтинг в области ИБ очень востребован на рынке. Это связано с актуальностью задач, решаемых с его помощью.

Организации обращаются в консалтинговую компанию в связи с незнанием состояния безопасности организации, отвечает ли она потребностям бизнеса и внешним требованиям (в области законодательства, актуальности системы защиты, требования заказчиков и т.п.), нет полного понимания, какие меры необходимо предпринимать, и нужны ли они вообще. Обычно в организациях отсутствуют специалисты, способные решить вышеперечисленные вопросы.

Так же не всегда существующая система ИБ функционирует эффективно, и это отражается на текущей деятельности. В такой организации часто возникают инциденты информационной безопасности, приводящие к значительным ущербам, остаются высокие риски реализации угроз ИБ из-за отсутствия или малой результативности отдельных мер по ее обеспечению [1].

При расширении компании или достижении более высокого уровня развития, руководство осознает, что существующий уровень обеспечения ИБ не только не удовлетворяет текущим потребностям, но также является сдерживающим фактором для дальнейшего развития. При этом нужно построить политику управления ИБ, которая тесно связана с существующими бизнес-процессами, что позволит перевести на более высокую ступень развития и управления ИБ в организации. В компании будет прозрачность и ясность вопросов обеспечения информационной безопасности как для высшего руководства организации и существующих акционеров, так и для потенциальных инвесторов. Такой консалтинг заключается в построении системы управления ИБ в соответствии с лучшими мировыми практиками и, при необходимости, в подготовке системы управления к сертификации по международным стандартам в области ИБ.

Инициаторами покупки консалтинговых услуг в сфере информационной безопасности обычно являются руководство организации, служба автоматизации или служба информационной безопасности, когда перед ней ставятся новые бизнес - задачи, выходящие за рамки установленных обязанностей и квалификации [2].

Консалтинг в области информационной безопасности – это комплекс услуг, которые оказывает компания консультант заказчику с целью определения:

1) Реального состояния ИБ компании, в соответствии с нормативно-правовыми актами.
2) Противостояния компании актуальным угрозам ИБ.
3) Направления развития ИБ с учетом специфики организации, ее целей и задач.
4) Четких действий для достижения поставленных целей.

Цели и задачи проведения консалтинга в сфере ИБ должны определяться исходя из требований бизнеса в части руководства и службы безопасности. Если задача поставлена некорректно, или обобщена, то результатов обследования будет недостаточно для целей бизнеса, и деньги компании уйдут «на ветер».

Поэтому, при обращении компании в консалтинговую фирму необходимо четко понимать структуру информационных активов, и определять требования по их защите. Составление требований происходит при взаимосвязи бизнес задач и информационной безопасности. Сегодня для достижения этого разрабатываются стратегии информационной безопасности [3].

Можно выделить основные задачи в области консалтинга ИБ:

- экспертная оценка состояния системы ИБ организации;
- оценка соответствие механизмов системы ИБ организации выбранным критериям обследования;
- обнаружение актуальных проблем, которые связанны с обеспечением ИБ;
- составление рекомендаций построения эффективной системы ИБ, способной противостоять актуальным угрозам безопасности.

Консультанты обычно выделяют 4 вида консалтинга в области ИБ:

- аналитическая деятельность (анализ и оценка деятельности компании по защите информационных резервов, эффективность используемых средств и методов защиты информации, экспертную оценку текущих проектов в сфере ИБ, сопоставляя полученные результаты с показателями по отрасли и т. д.);
- прогнозирование (на основе экспертной оценки и проведенного исследования, консультант строит методику и составляет прогнозы по изученным областям);
- консультации с выдачей рекомендаций по исследуемому спектру проблем, которые относятся к безопасности бизнес-процессов и резервов предприятия, разработки и внедрения мер и систем защиты;
- стратегическое планирование действий компании в сфере информационной безопасности и разрешению области вопросов, касающихся управления ИБ.

Одним из основных направлений консалтинговых услуг, предлагаемых компаниями, является исследование систем защиты персональных данных, для обеспечения соответствия требованиям ФЗ № 152 «О персональных данных» и Стандарт Банка России по обеспечению информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации (СТО БР ИББС-1.0-2010) в области защиты персональных данных [4].

При развертывании системы менеджмента информационной безопасности и началом ее функционирования необходимо соответствовать требованиям стандарта ISO/IEC 27001, который включает в себя набор средств управления рисками ИБ. Сюда относятся внутренние организационно-распорядительные документы, а также планы обработки рисков информационной безопасности компании.

Консультанты предлагают несколько видов услуг по проведению исследования на соответствие организации нормативно-правовым актам и стандартам в области ИБ:

- Документальный анализ, т.е. анализ ключевых документов СМИБ (политики, регламенты, инструкции, положение о применимости контролей, планы обработки рисков и др.).
- Детальный анализ - это тестирование внедренных организационно-технических мероприятий защиты информации экспертная оценка их эффективности.
- Сертификационный анализ, проводиться с целью подтверждения соответствия компании законодательству.

При выборе консалтинговой компании или консультанта необходимо удостовериться в том, что компания-консультант имеет соответствующую методологическую базу и технологии проведения таких видов работ, имеет достаточный опыт, и даст действительно экспертную оценку состояния ИБ компании. Так же компания-консультант должна разбираться в предметной отрасли, в которой работает заказчик услуг, и понимать его бизнес - цели.

Одним из основных факторов, влияющих на выбор компании, оказывающей услуги по консалтингу в области информационной безопасности, является уровень доверия к консультанту. Потому что, заказчик дает доступ к конфиденциальной информации. Такой

уровень доверия может быть обеспечен не только заключением соответствующих договоров о конфиденциальности и неразглашении сведений, которые станут известны консультанту в ходе работ по консалтингу, но и наличием необходимых лицензий государственных и регулирующих органов, предоставляющих на это право.

Список литературы

1. ИТ-ПОРТАЛ КОМПАНИИ "ИНФОСИСТЕМЫ ДЖЕТ"; http://www.jetinfo.ru/stati/konsalting-v-oblasti-informatsionnoj [15.10.2016 г.]
2. *Медведев А.А., Созинова Е.Н.* Подготовительный этап при проведении внутреннего аудита информационной безопасности организаций на основе риск - ориентированного подхода // Научно-технический вестник Поволжья - 2016. - № 3. - С. 126-128
3. Официальный сайт компании «ЛАБОРАТОРИЯ ВС» http://labvs.ru/services/consalt/ [15.10.2016 г.]
4. *Созинова Е.Н., Медведев А.А.* Анализ направлений проведения аудита информационной безопасности организаций // Научно-технический вестник Поволжья - 2015. - № 6. - С. 195-197

05.13.18

В.А. Заговорчев к.т.н., М.Я. Кыласов, В.В. Родченко д.т.н., Э.Р. Садретдинова к.т.н.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра 610 МАИ "Управление эксплуатацией ракетно-космических систем",
Москва, zagovorchev@mai.ru, mkylasov@inbox.ru, Rodchenko47@mail.ru, elnara-5@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ РЕАКТИВНОГО ПЕНЕТРАТОРА С ГРУНТОМ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В данной статье проведено исследование процесса движения реактивного зонда-пенетратора в грунте. Определение основных параметров взаимодействия аппарата с грунтом осуществлено путем описания грунта как среды с шаровым тензором напряжений. Зависимости давления от деформации различны для участков нагрузки и разгрузки. Этот подход позволяет получить формулу для определения силы сопротивления грунта пенетратору. В эту зависимость входят величины, характеризующие отдельно аппарат и среду.

Ключевые слова: *реактивный пенетратор, лунный грунт, деформация, разрушение среды, сила сопротивления грунта*.

Движение проникающего тела в сплошной среде возможно только при нарушении плотности этой среды и вытеснении части среды в стороны и вперед по отношению к проникающему телу. Среда вокруг проникающего аппарата испытывает некоторое возмущение, распространяющееся на значительное расстояние от зоны движения. В процессе проникания происходит неупругое столкновение частиц грунта с проникающим телом, в результате чего частицы, прилегающие к поверхности тела, приобретают скорость, равную нормальной составляющей скорости проникания в точках столкновения. При этом происходит пластическое сжатие частиц [1,2].

В процессе движения в грунте на пенетратор действуют следующие силы: сила тяги двигательной установки, сила тяжести и сила сопротивления среды. Определение первых двух сил производится по обычным зависимостям движения реактивных снарядов. Поэтому особое внимание будет уделено определению силы сопротивления.

Получена следующая зависимость для определения силы сопротивления среды [3]

$$F = F_0 + aS_M V + C_X S_M \left(\frac{\rho_0 V^2}{2} \right) \qquad (1)$$

При решении задач движения пенетраторов в грунте допустимо пренебрегать вязким сопротивлением, полагая *a=0.* Тогда формула (2.6) может быть записана в следующей упрощенной форме

$$F = \frac{\pi D_H^2}{4} \left(F_{0_{\text{уд}}} + C_X \frac{\rho_0 V^2}{2} \right). \qquad (2)$$

Получена следующая зависимость для определения удельного лобового сопротивления (несущей способности грунта) [4]

$$F_{0УД} = \frac{32(1-\mu)E}{3\pi\alpha(1+\mu)(3+4\mu)}, \qquad (3)$$

Параметры взаимодействия аппарата с грунтом могут быть найдены описанием грунта как среды с шаровым тензором напряжений. Грунт может быть описан несколькими моделями, в зависимости от его параметров. Грунты малой и средней влажности могут быть представлены моделью пластического тела с нелинейной, необратимой объемной

деформацией. Для водонасыщенных грунтов целесообразно моделировать их подобно вязкой жидкости. При очень больших давлениях водонасыщенные грунты и грунты воздушной влажности можно рассматривать как сжимаемую жидкость с необратимой или обратимой объемной деформацией. Грунты очень большой связности (скальные породы) могут рассматриваться как упругие или пластические тела. Поскольку подавляющее большинство грунтов — это грунты малой и средней влажности, то интересно рассмотреть более подробно модель пластического тела с нелинейной необратимой объемной деформацией. Эта модель для случая движения с цилиндрической симметрией описывается уравнениями движения, неразрывности предельного состояния, зависимостью между гидростатическим давлением и объемной деформацией, а также соотношением между осевым напряжением и деформацией.[3]

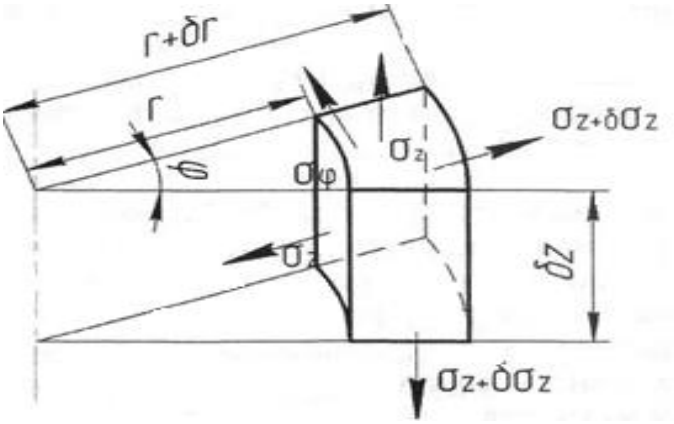


Рис. 1– Деформированное состояние частицы среды

Проецируя силы (рис. 1) в объеме $rd\varphi drdz$ на ось r (массовыми силами пренебрегаем), получаем уравнения движения и неразрывности грунта в переменных Лагранжа в этом случае будут иметь вид [5]

$$\rho_0 r^{\nu} \frac{\partial u}{\partial t^2} = (r+u)^{\nu} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + (\sigma_r - \sigma_\varphi) \frac{\partial}{\partial r}(r+u)^{\nu}; \quad (4)$$

$$\frac{1}{\nu+1} \cdot \frac{\partial}{\partial r}(r+u)^{\nu+1} = \frac{\rho_0}{\rho} r^{\nu}, \quad (5)$$

Условие предельного состояния для грунтов имеет следующий вид

$$|\tau| = -\sigma tg\vartheta + k, \quad (6)$$

В компонентах тензора имеем

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = k\cos\vartheta - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\sin\vartheta, \quad (7)$$

где $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ - главные напряжения.

Обозначив $2k\cos\vartheta = \tau_0$, $\sin\vartheta = \mu$, уравнение (2) можно записать в виде

$$\sigma_r - \sigma_\varphi = -\tau_0 + (\sigma_r + \sigma_\varphi)\mu. \quad (8)$$

Зависимость между объемной деформацией и напряжением записывается в виде

$$\frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = F(\varepsilon), \quad (9)$$

Уравнения (2), (3), (6) и (7) являются замкнутой системой уравнений, описывающей плоское одномерное движение и движение со сферической симметрией. В случае движения с цилиндрической симметрией отсутствие осевой деформации вызывает появление осевого напряжения σ_z

$$\sigma_r + \sigma_\varphi = 2\sigma_z + 2GE, \quad (10)$$

Если условие это присоединить к предыдущим – получим замкнутую систему уравнений для случая движения с цилиндрической симметрией.

В результате решения этой системы уравнений, получено выражение для определения силы сопротивления идеально связного грунта пенетратору [2]

$$F = F_0 + A\frac{dV}{dt} + BV^2, \quad \text{где} \qquad (11)$$

$$F_0 = \pi h^2 tg^2\beta æ\left(a^{\nu/2} - 1\right)\left[P_a + \frac{\tau_0}{\nu(1+\mu)}\right]; \; A = \frac{2}{3}\pi h^3 tg^4\beta æ\frac{\rho_0}{\nu b_1}\left(a^{\nu/2} - 1\right);$$

$$B = \pi h^2 tg^4\beta æ\frac{\rho_0}{(\nu-2)b_1}\left[\frac{\nu-2}{\nu}\left(a^{\nu/2} - 1\right) + b_1(\nu-2)a^{\nu/2} - \left(a^{\nu/2-1} - 1\right)\right];$$

$$\tau_0 = 2k\cos\vartheta\,; æ = \frac{1+\mu_0 ctg\beta}{1-\mu_0 tg\beta}; \quad \nu = \frac{2\mu}{1+\mu}; \; b_1 = \frac{\rho_0}{\rho}; \quad a = \frac{1}{1-b_1}\,; \mu = \sin\vartheta.$$

Следует отметить, что в формулу (11) входят параметры $(k, \vartheta, \rho_0, P_a, h, \beta)$, которые характеризуют пенетратор и грунт раздельно. Единственным параметром, характеризующим взаимное влияние грунта и материала, из которого выполнена головная часть, является коэффициент трения скольжения μ_0.

Это обстоятельство является очень важным, поскольку позволяет выполнять проектировочные расчеты по определению параметров и характеристик панетраторов, не прибегая к экспериментальным исследованиям по определению специальных коэффициентов, учитывающих взаимное влияние проникающего аппарата и среды.

Список литературы

1. *Маслов, Н.Н.* Основы инженерной геологии и механики грунтов. / Н.Н. Маслов М.: Высшая школа, 1982, – С. 511
2. *Садретдинова, Э.Р.* Метод выбора проектных параметров реактивных пенетраторов для движения в лунном грунте // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, МАИ, Москва, 2014, С. 35–45
3. *Сагомонян, А.Я.* Проникание. / А.Я. Сагомонян – М.: МГУ, 1974,
4. *Родченко, В.В.* Основы проектирования реактивных аппаратов для движения в грунте. / В.В. Родченко - М.: МАИ-ПРИНТ, 2007 – С. 39-40
5. *Роза, С.А.* Механика грунтов. / С.А. Роза - М.: Высшая школа, 1962, – С. 229
6. *Галеев А.Г., Захаров Ю.В., Родченко В.В., Садретдинова Э.Р., Заговорчев В.А.* Экспериментальная проверка метода выбора проектных параметров реактивных пенетраторов для движения в лунном грунте. *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE).* 2014;(16):46-60.

05.13.06

В.Г. Зарубский

ФКОУ ВО Пермский институт ФСИН России,
кафедра режима и охраны в уголовно-исполнительной системе,
Пермь, volen3030@rambler.ru

ПУТИ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ АДАПТАЦИИ СТРУКТУРНО-УСТОЙЧИВОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЭВМ К ТЕКУЩЕМУ ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ НА ОСНОВЕ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ АЛГОРИТМА АДАПТАЦИИ

В работе рассматриваются вопросы повышения надежности автоматизированных и автоматических систем управления различными опасными процессами на основе применения структурно-устойчивых управляющих ЭВМ. Предлагается методика оптимизации временных затрат процесса адаптации структурно-устойчивых управляющих ЭВМ, обладающих свойством функциональной избыточности, к текущему функциональному состоянию. Методика оптимизации сформулирована с учетом иерархичности (многоуровневости) современных управляющих ЭВМ за счет распараллеливания процесса адаптации между уровнями её архитектуры.

Ключевые слова: *надежность, система управления, управляющая электронно-вычислительная машина, адаптация, функциональная избыточность, структурная устойчивость.*

Задача разработки автоматизированных и автоматических систем управления обладающих свойствами повышенной надежности весьма актуальна для различных процессов, как в военной отрасли [1, 2], так и в гражданской [3]. Как правило, в основе построения современных систем управления лежит применение вычислительной техники, что соответственно выдвигает требования к повышению надежности данного оборудования.

Решения проблемы повышения надежности управляющих электронно-вычислительных машин (УЭВМ) может быть связано с применением некоторых положений теории живучести функционально-избыточных систем [4]. Согласно данных положений современные УЭВМ обладают свойством функциональной избыточности, то есть свойством присущем функционально полной системе иметь для любого функционального соответствия из существования вычисляющей его композиции другую вычисляющую его композицию. Следовательно, в функционально избыточных системах имеются возможности эквивалентной замены (эмуляции) выбывших функций композициями сохранившихся. Это позволяет говорить о возможности нового класса УЭВМ обладающих свойством структурной устойчивости [5].

Построение структурно-устойчивой (СтУ) УЭВМ связано с решением задач её функционального диагностирования [6], функциональной адаптации [7] и алгоритмической адаптации, заключающейся в корректном определение наилучшего варианта предоставления СтУ УЭВМ пользовательских услуг системе управления, доступного в новых условиях.

Кроме этого необходимо учитывать тот факт, что современные УЭВМ используемые в системах управления отличаются существенной сложностью, которая проявляется в их иерархичности (многоуровневости) (рис.1). В связи с этим в таких УЭВМ отказы могут проявляться на всех функциональных уровнях архитектуры. Проведенные ранее исследования доказывают существование структурной устойчивости на всех этих уровнях и показывают механизмы ее достижения, например разработана методика достижения структурной устойчивости на аппаратном уровне путем введения функционально-полных толерантных (ФПТ) элементов [8, 9].

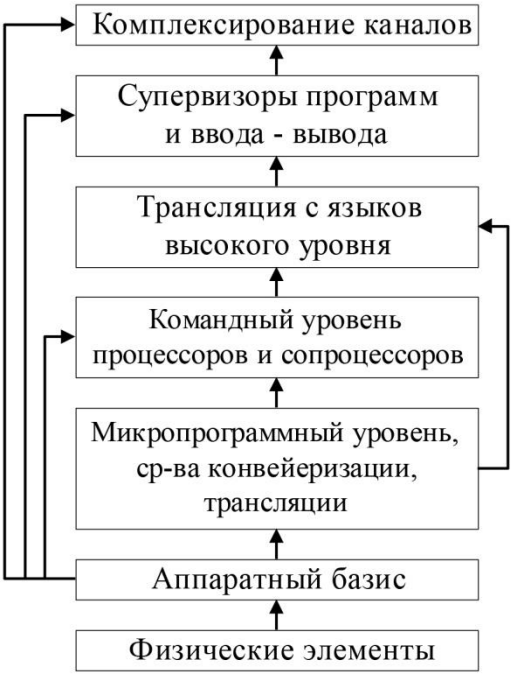


Рис. 1. Обобщенная архитектура перспективных УЭВМ

Из изложенного выше следует, что структура типового алгоритма адаптации СтУ УЭВМ включает в себя участок функционального диагностирования со средней продолжительностью $\hat{t}_{фд}$, функциональной адаптации со средней продолжительностью $\hat{t}_{фа}$ и алгоритмической адаптации со средней продолжительностью $\hat{t}_{Aa}$. Полное среднее время адаптации, в этом случае, определится суммой

$$\hat{t}_A = \hat{t}_{фд} + \hat{t}_{фа} + \hat{t}_{Aa}. \quad (1)$$

В иерархических системах отказы могут проявляться на всех функциональных уровнях F_u архитектуры U. Поэтому полное время адаптации системы к текущему функциональному состоянию по описанной выше схеме составит

$$\hat{t}_A = \sum_{u=1}^{|U|} (\hat{t}^u_{фд} + \hat{t}^u_{фа} + \hat{t}^u_{Aa}). \quad (2)$$

В экстремальных условиях эксплуатации столь большое время адаптации может оказаться недопустимым. Решение задачи сокращения времени адаптации СтУ УЭВМ к текущему функциональному состоянию предлагается осуществлять на основе распараллеливания алгоритмов адаптации. Решение данной задачи требует достаточно строгой формулировки принципа формирования множества «ядер» (набора базовых функций позволяющих в дальнейшем осуществлять диагностирование оставшихся функций компьютера [6]) $\Pi^{Я}_{F_u} \subset \Pi_{F_u}$ для алгоритмов начальной адаптации (поиска работоспособного «ядра»).

Принцип формирования множества «ядер» на u-м уровне архитектуры: для каждого текущего функционального состояния $\rho_1^{F_u} \in \Pi_{F_u}$ в сформированном множестве «ядер» $\Pi^{Я}_{F_u}$ должно найтись хотя бы одно $\rho_2^{F_u} \in \Pi^{Я}_{F_u}$, не имеющее пересечений с дополнением $\overline{\rho}_1^{F_u}$, т.е.

$$(\forall \rho_1^{F_u} \in \Pi_{F_u})(\exists \rho_2^{F_u} \in \Pi^{Я}_{F_u})\, p(\overline{\rho}_1^{F_u} \cap \rho_2^{F_u} = 0) \quad (3)$$

На этой основе сформулируем принципы распараллеливания процесса поиска «ядер» на любых двух соседних уровнях, как условие их совмещения.

Пусть функция f_{u_j} является композицией функций подмножества $\rho_{u_j}^{F_{u-1}}$ предыдущего уровня, т.е. реализуется как слово ℓ_{u_j} в этом алфавите $\ell_{u_j} \in (\rho_{u_j}^{F_{u-1}})^*$.

Принцип 1 совмещения «ядер» по функциональному признаку: совокупность функций «ядра» предыдущего уровня должна быть достаточна для реализации любой функции из состава «ядра» последующего уровня, т.е.

$$(\forall(\rho_1^{F_u} \in \Pi_{F_u}^{Я}, \rho_2^{F_{u-1}} \in \Pi_{F_u}^{Я})p(\bigcup^{\rho_1^{F_u}} \rho_{u_j}^{F_{u-1}} \subseteq \rho_2^{F_{u-1}}) \quad (4)$$

Установим на уровне взаимооднозначное соответствие G_u между множеством «ядер» $\Pi_{F_u}^{Я}$ и множеством проверяющих их работоспособность тестов $L_{F_u}^{Я}$

$$G_u : \Pi_{F_u}^{Я} \leftrightarrow L_{F_u}^{Я} = \left\{ \ell_\nu^u ; \ell_\nu^u \in (\rho^{F_u} \in \pi_{F_u}^{я})^*, \nu = \overline{1, \left|\Pi_{F_u}^{Я}\right|} \right\}. \quad (5)$$

Принцип 2 совмещения «ядер» по тестовому признаку: реализация проверочного теста $\ell_{\nu_1}^u = \ell_{u_j}^1 \| \ldots \| \ell_{u_j}^w \| \ldots \| \ell_{u_j}^{\left|\ell_{\nu_1}^u\right|}$ «ядра» последующего уровня u на предыдущем (u-1)-м уровне должна содержать проверочный тест $\ell_{\nu_2}^{u-1}$ «ядра» (u-1)-го уровня, т.е.

$$(\forall \ell_{\nu_1}^u = \mathop{\|}_{w=1}^{\left|\ell_{\nu_1}^u\right|} \ell_{u_j}^w)(\exists \ell_{\nu_2}^{u-1})p(\ell_{\nu_2}^{u-1} \subseteq \ell_{\nu_1}^u) \quad (6)$$

При совместимости «ядер» всех уровней время первого этапа адаптации составит

$$\hat{t}_я = \max_U (\hat{t}_я^u) \le \sum_{u=1}^{|U|} t_я^u \quad (7)$$

Этот принцип можно модифицировать для каждой итерации второго этапа адаптации $(\rho^{F_u} := \rho^{F_u} \cup f^u, \rho^{F_{u-1}} := \rho^{F_{u-1}} \cup f^{u-1})$

$$\bigcup_j^{\left|\rho^{F_u}\right|} \rho_{u_j}^{F_{u-1}} \subseteq \rho^{F_{u-1}} \quad (8)$$

Тогда

$$\hat{t}_э \le \sum_{u=1}^{|U|} \hat{t}_э^u \quad (9)$$

Поскольку третий этап адаптации решается после завершения переходных процессов на всех уровнях архитектуры, его целесообразно осуществлять на основе времени выполнения контрольных смесей верхним уровнем архитектуры.

Таким образом, время адаптации СтУ УЭВМ к функциональным отказам на основе принципа распараллеливания сокращается, что имеет принципиальное значение в экстремальных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. *Шалдаев С.Е., Легков К.Е., Скоробогатова О.А.* Основные направления развития автоматизированных систем управления специального назначения и требования предъявляемые к ним системой управления // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2013. – Т. 5. № 1. – С. 40-45.
2. *Корепанова С.А., Онуфрей А.Ю., Сугак В.П.* Обеспечение информационной безопасности путем устойчивого решения задач управления в автоматизированных системах управления военного назначения // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. – 2016. – № 652. – С. 49-58.
3. *Аншаков Г.П., Мостовой Я.А.* Безопасное управление сложными техническими системами // Управление большими системами. – 2011. – No 32. – С. 195 – 204.
4. *Харитонов В.А.* Основы теории живучести функционально-избыточных систем. С.-Пб.: СПИИРАН, 1993. – 60 с.
5. *Зарубский В.Г.* Вопросы разработки перспективных интегрированных систем охраны, отвечающих требованиям повышенной живучести, на базе структурно-устойчивых управляющих компьютеров // Вестник Пермского института ФСИН России. – 2012. – № 1 (5). – С 4-9.
6. *Зарубский В.Г.* Особенности организации процесса функционального диагностирования управляющего компьютера повышенной живучести // Надежность. – 2016. – № 3 (58). – С. 35-38.
7. *Зарубский В.Г., Рыбаков А.П.* Математическая модель процесса адаптации управляющего компьютера интегрированной системы охраны к текущему функциональному состоянию // Вестник Воронежского института МВД России. – 2012. – № 1. – С. 170-177.
8. *Тюрин С.Ф., Греков А.В., Набатов А.В.* Парирование отказов комбинационных схем в функционально-полном толерантном базисе. // В мире научных открытий. – 2012. – № 8. – С. 38-64.
9. *Тюрин С.Ф., Греков А.В., Громов О.А.* Функционально-полный толерантный элемент // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2011. – Т. 1, № 115. – С. 24-30.

05.13.10

А.В. Иващенко, Д.В. Купер, О.В. Шорникова

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, anton.ivashenko@gmail.com

АРХИТЕКТУРА ПМП ДЛЯ ПОДВИЖНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

В статье предлагается новый подход к построению распределенной диагностической системы в соответствии с концепцией Интернета вещей, основанный на реализации сетевой архитектуры план-маршрут-паттерн (ПМП).

Ключевые слова: *архитектура, Интернет вещей, сенсорные сети.*

В настоящее время актуальной является научно-техническая задача реализации современной концепции Интернета вещей (the Internet of Things, IoT) [1, 2] в распределенных системах технической диагностики. Такие системы имеют распределенную архитектуру и строятся в виде сетей автономных устройств связи, способных взаимодействовать между собой в режиме реального времени. При этом каждый узел сети может использоваться для сбора, обработки или передачи данных и функционирует под управлением мультиагентного программного обеспечения [3], реализующего автономное поведение и информационное взаимодействие с другими узлами сети.

Учитывая характер возникающих событий и действий по их идентификации, для моделирования процессов взаимодействия диагностических устройств сбора и обработки данных необходимо использовать теорию неэквидистантных временных рядов [4]. Методы и модели данной теории способны обрабатывать потоки данных с неравномерной дискретизацией, и, вместе с тем, устойчивы к незначительным отклонениям (опережениям и опозданиям) при решении конкретных диагностических задач.

Распределенная архитектура диагностической системы с учетом концепции Интернета вещей и требований интероперабельности часто представляется в виде сети или графа, узлами которого являются программные или аппаратно-программные компоненты, способные взаимодействовать между собой путем обмена информацией в виде сообщений и обладающие автономным поведением. В распределенной диагностической сети автономные устройства связи могут вступать друг с другом в попарные отношения различной семантики. Так, устройства разной специализации могут объединяться для выполнения комплексной диагностики, однотипные устройства могут взаимодействовать для уточнения показаний, в рамках выполнения посреднических функций, устройства могут учитывать территориальное расположение друг друга и т.п. В этой связи в распределенной диагностической системе можно выделить реальные и виртуальные подсети, динамические создаваемые для решения определенных тактических задач. Для моделирования такого решения в рамках пирингового взаимодействия предлагается построить так называемую оверлейную сеть.

Оверлей – операция наложения друг на друга двух или более слоев, в результате которой образуется один производный слой, содержащий композицию пространственных объектов исходных слоев, топологию этой композиции и атрибуты, арифметически или логически производные от значений атрибутов исходных объектов. Таким образом, оверлейная сеть, это виртуальная сеть, структура которой отличается от реальной коммуникационной сети, на базе которой эта оверлейная сеть функционирует. Узлы оверлейной сети связаны между собой логическими ребрами, «сложность» прохождения которых может быть отлична от реального времени или стоимости, которые требует перемещение в пространстве.

В работах [5, 6] описываются технические решения, позволяющие реализовать функциональность посреднической деятельности, которая включает возможности балансировки загрузки в соответствии с интенсивностью потока текущих задач устройства. Развитие данных результатов позволило сформулировать новую модель многослойной подвижной сенсорной сети для современной распределенной диагностической системы.

Определим объект исследования как подвижную сенсорную сеть распределенной диагностики – распределенную, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, которые могут изменять свое положение в пространстве и, таким образом, модифицировать топологию сети в зависимости от поставленных задач. В качестве примера такой сети можно привести беспроводную сеть медицинских устройств диагностики пациентов в стационаре или множество устройств диагностики транспортной инфраструктуры железной дороги, объединенных каналами связи.

Архитектура ПМП представляет собой оверлейную виртуальную сеть, которая содержит три слоя: план измерений, маршрут измерений и паттерны, описывающие риски возникновения нештатных ситуаций. Схема архитектуры ПМП представлена на рис. 1.

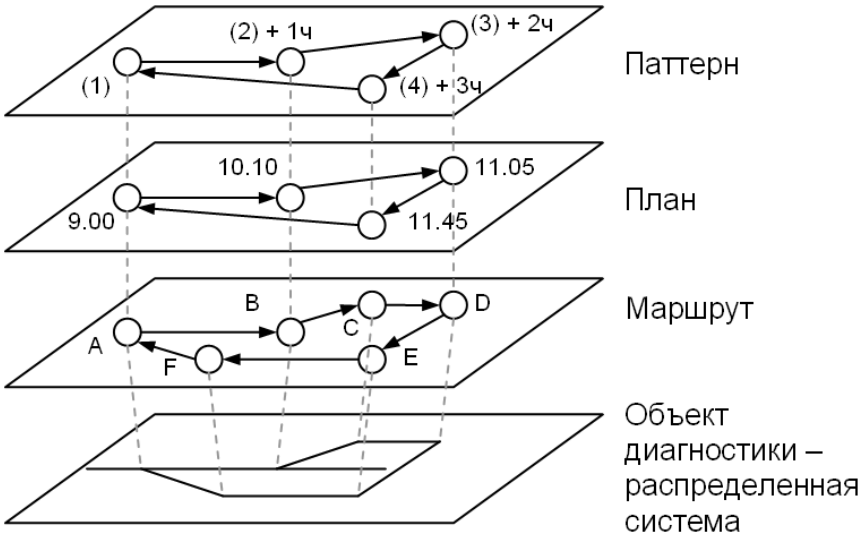


Рис. 1. Архитектура ПМП подвижной сенсорной сети

План измерений определяет порядок измерений во времени, то есть содержит последовательность событий сбора и анализа данных. Маршрут содержит последовательность измерений, производимых в разных локациях, локации в маршруте упорядочены по времени посещения. Таким образом, каждый план или маршрут измерений содержат упорядоченную совокупность событий, которые происходят последовательно в разные моменты времени (или могут планироваться на разные моменты времени в будущем). Паттерн описывает набор определенных значений, которые измеряемая величина принимает в моменты времени соответственно. Этот набор характеризует высокий риск возникновения нештатной ситуации, поэтому может использоваться в задачах диагностики.

Учитывая общий характер группировки событий, совокупность всех планов измерений может быть объединено во временной слой, а перечень всех маршрутов – в пространственный слой подвижной сенсорной сети. Планы и маршруты могут пересекаться по событиям, так как одно событие измерения может входить в несколько паттернов, планов и маршрутов. Однако, учитывая данные определения, временной и пространственный слои являются ортогональными в силу непересекаемости, неперекрываемости содержимого элементов, образующих целостную систему каждого слоя.

В сложной распределенной технической системе в рамках планирования диагностических процедур можно выделить реальные события изменения параметров, соответствующие критическим (нештатным) ситуациям. При наличии в базе знаний диагностической сенсорной сети паттернов, описывающих такие ситуации, базовая задача обеспечения своевременной диагностики состоит в планировании событий измерений таким образом, чтобы в момент возникновения нештатной ситуации в локациях и в моменты времени, специфицированные паттернами, измерения были проведены. Другими словами, для возникающих нештатных ситуаций, описываемых паттернами необходимо обеспечить соответствующие и своевременные события измерения.

При стационарной сенсорной сети данная цель определяет достаточность дискретизации измерений для идентификации известных колебаний измеряемых сигналов. В подвижной сенсорной сети необходимо дополнительно обеспечивать экономию ресурсов (количества устройств сбора и обработки данных и их энергетические затраты). Данная проблема особенно актуальна при высокой автономности устройств сбора и обработки данных.

Для решения данной задачи планирования можно реализовать конструктивный алгоритм, основанный на последовательном построении графа измерений в многослойной подвижной сенсорной сети с архитектурой ПМП для заданного набора паттернов.

Для каждого паттерна определяются локации и отметки времени, необходимые для проведения измерений, в результате чего формируются фрагменты маршрутов.

Далее определяется необходимая периодичность измерений в заданных локациях. Многослойная модель распределенной подвижной диагностической сети позволяет реализовать градиентный алгоритм оптимизации существующего решения методом покоординатного спуска, при этом в качестве координаты будет представлен каждый слой модели.

Для сгенерированных фрагментов маршрутов решается задача маршрутизации с использованиям жадного алгоритма VRPTW. Хорошие результаты показывают метод ветвей и границ и муравьиная колония.

Таким образом, планирование заключается в распределении задач детектирования исключительных ситуаций и определения моментов, в которые необходимо реализовать сбор данных в определенных локациях подвижной сенсорной сети.

Предложенный в статье подход был проверен методом имитационного моделирования. Также весьма перспективным представляется его использования при построении диагностических систем для распределенных объектов технической инфраструктуры (трубопроводов или сетей связи), для которых необходимо реализовать постоянный мониторинг технического состояния ограниченным по количеству или назначению числом датчиков. Представленная модель также может быть полезна в медицинской диагностике и системах анализа больших данных.

Список литературы

1. *Кучерявый А.Е.* Интернет вещей // Электросвязь. – 2013. – № 1. – С. 21 – 24
2. *Сарьян В.К.* Прошлое, настоящее и будущее стандартизации Интернета вещей / В.К. Сарьян, Н.А. Сущенко, И.А. Дубнов, Ю.А. Дубнов, С.В. Сахно, А.С. Лутохин // Труды НИИР. – 2014. – № 1. – С. 2 – 7
3. *Городецкий В.И.* Самоорганизация и многоагентные системы. I. Модели многоагентной самоорганизации // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2012. – № 2. – С. 92 – 120
4. *Прохоров С.А.* Прикладной анализ случайных процессов / под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2007. – 582 с.
5. *Ivaschenko A., Minaev A.* Multi-agent solution for adaptive data analysis in sensor networks at the intelligent hospital ward // Lecture Notes in Computer Science LNCS 8610, Springer International Publishing Switzerland 2014. – P. 453 – 463
6. *Иващенко А.В., Минаев А.А., Сподобаев М.Ю., Диязитдинова А.Р.* Концепция медиаторной сети связи для сбора и обработки данных в реальном времени // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2016. – № 5. – с. 56 – 64

05.13.10

[1]А.В. Иващенко, [1]О.В. Шорникова, [2]П.В. Ситников, [3]О.Л. Сурнин

[1]Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, anton.ivashenko@gmail.com
[2]Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург
[3]ООО «Открытый код», г. Самара

ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ ПРЕДПРИЯТИЯ НА БАЗЕ ОТКРЫТЫХ СЕРВИСОВ

В статье описывается предлагается современная концепция и архитектура OSP (Open Service Provider) для интеграции информационных ресурсов производственного предприятия.

Ключевые слова: *интегрированная информационная среда, автоматизация предприятия, открытые сервисы.*

Одним из важных аспектов практического применения информационных технологий для управления современными промышленными предприятиями является возможность организации взаимодействия лиц, принимающих решения, в едином информационном пространстве [1, 2]. При этом необходимо учитывать гетерогенный характер интеграции информационных ресурсов, когда для решения различных задач используется специализированное программное и аппаратное обеспечение. Особенно это актуально при внедрении технологий интеллектуального планирования производства, автоматизированного проектирования, управления жизненным циклом продукции и т.п.

По каждому направлению развития современных информационных технологий на современном предприятии обычно создается определенный стек программных продуктов и аппаратного обеспечения, поддерживаемый определенным поставщиком в течение длительного периода времени. Консолидация и координация работ по интеграции разнообразных решений и организации обмена информационными потоками в этом случае становится основной задачей службы информационных технологий. Причем, помимо собственно внедрения и адаптации новых решений, приходится решать задачи обучения пользователей, обеспечения безопасности, архивирования, документального сопровождения и т.п.

В рамках этих процессов возникают известные сложности, связанные с заменой существующих решений, при которой приходится реализовывать миграцию информационных массивов, и модернизации существующих в рамках развития предприятия в целом. Сложность выбора нового решения с учетом этих тенденций существенно замедляет процессы модернизации интегрированной информационной среды современного предприятия.

Для решения этой проблемы предлагается реализовать концепцию OSP (Open Service Provider), основанную на реализации базовой функциональности программных продуктов в виде сервисов, предоставляемых пользователем в едином информационном пространстве предприятия. При этом допускается частичное перекрытие возможностей разнообразных программных решений и реализация конкурентной борьбы различных поставщиков программного обеспечения за пользователей в рамках соответствующего стека технологий.

Данная концепция строится по аналогии с сервисами, доступными в сети Интернет [3], к которым обеспечивается унифицированный доступ пользователя через браузер, в рамках которого создается единый профиль пользователя, позволяющий учитывать особенности его индивидуального поведения при пользовании разнообразных сервисов. Такая возможность может быть реализована на основе современных методов управления информационным взаимодействием пользователей интегрированной информационной среды предприятия [4 – 5].

Суть концепции OSP состоит в построении единого информационного пространства предприятия или производственного консорциума как открытой программной платформы для реализации и развития информационных сервисов различной направленности для всех

подразделений предприятия (см. рис. 1). В основе такого решения лежит единая база знаний, которая обеспечивает накопление информации о процессах и продуктах предприятия в семантически связанной и открытой форме. В рамках решения реализуется ряд универсальных сервисов, предоставляющих базовые возможности по планированию и управлению ресурсами предприятия, и специализированных ИТ решений для автоматизации конкретных задач.

Рис. 1. Платформа OSP

Существующие ERP системы для интеграции информационных ресурсов требуют использования единой линейки программных продуктов одного поставщика. Для устранения этой зависимости ИТ подразделения крупных предприятий часто строят «лоскутное» одеяло из разнообразных решений в ходе сложного и трудоемкого процесса проектирования информационной среды. OSP позволяет избежать этих проблем. В основе OSP ядро компании «Открытый код» (см. рис. 2), которое решает интеграционные задачи, и базовые компоненты («Архив», «Каталог» и «База знаний»), позволяющие конфигурировать информационное пространство, встраивать новые информационные сервисы и поддерживать их в течение всего жизненного цикла.

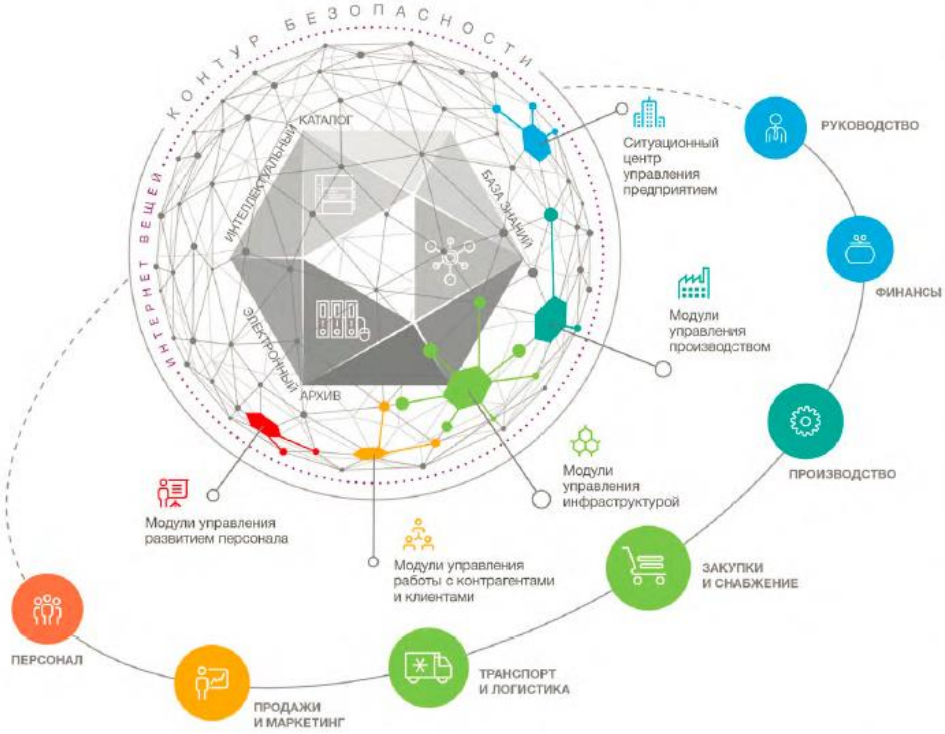


Рис. 2. Реализация архитектуры OSP для промышленных предприятий

Концепция OSP основана на современных научных моделях посреднического оператора, которые позволяют реализовать эффективное взаимодействие различных программных продуктов в интегрированной информационной среде предприятия. Суть подхода состоит в возможности анализа событий, сопутствующих поступление и обработку информации, и формировании условий эффективного взаимодействия. Такой подход с одной стороны, обеспечивает достаточную вариативность, возможность реализации нескольких автономных сервисов, решающих схожие задачи, а с другой стороны, реализует адаптивное управление взаимодействием с учетом актуальных показателей эффективности предприятия.

Реализация архитектуры OSP выполняется на основе технологий ESB (Enterprise Service Bus, корпоративная сервисная шина) и SOA (Service Oriented Architecture, сервисно-ориентированная архитектура), которые обеспечивают централизованный и унифицированный событийно-ориентированный обмен информацией между различными информационными системами, т.е. данный подход позволяет интегрировать между собой абсолютно разные сервисы предприятия, выполняющие разные бизнес-функции и реализованные на разных технологических платформах и фреймворках. В том числе с элементами интеллектуальной аппаратной ИТ-инфраструктуры в рамках концепции «Интернет вещей» (Internet of Things, IoT), при этом в качестве средства идентификации может быть использована одна из самых распространенных на промышленных предприятиях технологий – RFID.

Основным преимуществом предлагаемого решения является возможность построения на его основе ситуационного центра, реализующего унифицированный сбор и обработку данных из разнообразных источников для поддержки принятия управленческих решений на стратегическом уровне в рамках предприятия в целом. Для визуализации этих данных используются современные интерактивные панели и средства виртуальной реальности. Таким образом решается задача мониторинга и контроля деятельности промышленных предприятий, включая анализ бизнес-показателей и мониторинг безопасности эксплуатации инфраструктурных объектов.

Предложенная концепция была апробирована на практике при построении системы управления почтовым сортировочным центром на базе платформы OSP [6]. Это решение позволило существенно повысить эффективность взаимодействия персонала организации в едином информационном пространстве. Особенностью решения является ориентация на автономное выполнение подразделениями предприятия своих функций в конкурентной среде, что позволило обеспечить прозрачность процессов производства и повысить его экономическую эффективность.

Предлагаемая концепция позволяет решить проблему построения единого информационного пространства предприятия или группы предприятий) и развития информационных сервисов для всех подразделений компании с целью повышения экономических показателей деятельности предприятия, как фактора увеличения эффективности предприятия в целом.

Список литературы

1. *Воронин А.А., Губко М.В., Мишин С.П., Новиков Д.А.* Математические модели организаций: Учебное пособие. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.

2. *Колчин А.Ф.* Управление жизненным циклом продукции / А.Ф. Колчин, М.В. Овсянников, А.Ф. Стрекалов, С.В. Сумароков. – М.: Ахарсис, 2002. – 304 с.

3. *Орлов А. Ю., Иващенко А. В.* Организация виртуального сообщества в сети Интернет // Информационные технологии. – 2008. – № 8. с. 15 – 19

4. *Иващенко А.В.* Управление взаимодействием персонала предприятия в многоакторной интегрированной информационной среде // Программные продукты и системы, 2012. – № 3. – с. 18 – 22

5. *Иващенко А.В.* Метод кондициального управления взаимодействием в мультиагентной среде // Системы управления и информационные технологии, 2013. – № 1. – с. 39 – 43

6. *Андреев М.В., Иващенко А.В., Ситников П.В.* Система управления почтовым сортировочным центром на базе платформы OSP // Вестник транспорта Поволжья, 2016. – №4. – с. 74 – 78

05.13.18

В.О. Каледин[1], А.Д. Ульянов[1], Вл.О. Каледин[2]

Новокузнецкий институт (филиал) Кемеровского государственного университета,
факультет информационных технологий,
кафедра информационных систем управления им. Буторина В.К., Новокузнецк,
ОАО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения».

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Рассмотрена математическая модель термоупругого тела вращения из анизотропного материала, физико-механические свойства которого зависят от температуры. Решение задачи термоупругости при силовых и температурных воздействиях получено методом конечных элементов в осесимметричной постановке. Программная реализация выполнена с использованием визуальных средств, упрощающих понимание алгоритма, усложненного введением переменных физико-механических свойств материала. Исследована модель кольца из композиционного материала при низкотемпературных и высокотемпературных воздействиях.

Ключевые слова: *термоупругость, термодеструкция, композиционные материалы, функционально- объектная схема, высокотемпературные воздействия.*

Задачи отыскания термоупругих деформаций тел вращения из композиционных материалов актуальны при проектировании конструкций, работающих при повышенных температурах. Основной особенностью задач данного класса является деградация материала при повышении температуры, приводящая к снижению его прочностных и жесткостных характеристик. Это затрудняет получение адекватных оценок напряжений и несущей способности. В известных работах, например [1], для этой цели используются модели, не учитывающие выгорания материала. Модели, учитывающие изменение физико-механических характеристик при нагреве, разрабатывались либо для конструкций из традиционных материалов [2], либо для тонких пограничных слоёв композиционного материала [3], что делает их трудно применимыми к расчету тонкостенных композитных элементов конструкций сложной формы при их проектировании.

В настоящей работе предложена методика, позволяющая учитывать изменение свойств материала при изменении температуры и вводить произвольную форму поперечного сечения рассматриваемого тела вращения. Задача решается для объектов, обладающих осевой симметрией. Это делает возможным использование двумерной постановки и конечно-элементной модели, составленной из двумерных элементов продольного сечения [4] – [5]. Переход от объемных конечных элементов к двумерным значительно сокращает объем вычислений и погрешность расчета.

С другой стороны, усложнение алгоритма расчета вследствие необходимости учета изменяющихся свойств материала вынуждает разрабатывать средства для программной реализации, допускающие обозримость и наглядность представления алгоритма в графическом виде. Для реализации данной методики был выбран программный комплекс "Композит 2015", так как он предоставляет удобный инструментарий для разработки и отладки алгоритмов посредством функционально-объектных схем [6].

Разрешающее уравнение получено на основе минимизации потенциальной энергии, которая выражается через перемещения и упругие константы материала с любой схемой армирования. При этом материал считаем термоупругим, а деформации и градиенты температуры достаточно малыми, чтобы было возможным использование линейного закона Дюамеля-Неймана (1) для анизотропного материала[7]:

$$\sigma_{ij} = d_{ijkl} \cdot (e_{kl} - \Delta t \cdot \zeta_{kl}), \quad (1)$$

где σ_{ij} – тензор напряжений; e_{kl} – линейный тензор деформаций; d_{ijkl} – компоненты тензора упругости; Δt – разность текущей и начальной температуры; ζ_{kl} – коэффициенты линейного теплового расширения.

Компоненты тензора упругости и коэффициенты теплового расширения являются функциями температуры. По мере прогрева материала эти величины изменяются, причем модули упругости уменьшаются вплоть до нуля при достижении критической температуры, при которой материал выгорает. Отметим, что процесс нагрева может рассматриваться отдельно, поскольку его характерное время существенно превышает характерное время процесса упругой деформации. Тогда в каждый момент времени температура, а значит, и характеристики материала, известны, а деформации успевают измениться так, что выполняются условия равновесия. Равновесную конфигурацию в каждый текущий момент времени можно найти как решение несвязанной задачи термоупругости из вариационного принципа Лагранжа [8].

Геометрия конструкции полностью определяется формой продольного сечения. Для расчетов используются четырехузловые или восьмиузловые конечные элементы. Задача статики решается по обычному алгоритму метода конечных элементов в форме метода перемещений [4] – [5].

Исследуемые объекты представляют собой кольцо с заданным продольным сечением, в котором задано поле температур. Все физико-механические характеристики материала объекта были заданы как функции температуры.

При помощи данной методики были проведены расчеты для напряжений и перемещений при неравномерном распределении температур по сечению кольца при низкотемпературном нагреве (от 20°C до 70°C) и при высокотемпературном нагреве (от 20°C до 300°C). Распределение температур для обоих случаев изображено рисунке (см. Рис. 1а и Рис. 1б). При температурном воздействии свыше 100°C происходит линейное уменьшение модуля упругости до нуля.

При сравнении полей напряжений при низкотемпературном и высокотемпературном воздействии учтём, что приращение температуры увеличивается в 5,6 раза. При этом максимальные сжимающие напряжения увеличиваются только в 3 раза, а максимальные растягивающие напряжения – в 5 раз. Это объясняется тем, что растяжение преобладает в центре сечения, а сжимающие напряжения действуют в зоне более высоких температур, что приводит к уменьшению модулей упругости. Характер распределения касательных напряжений не изменился, но максимальные значения напряжений увеличились в 3-4 раза.

В работе представлена математическая модель термоупругих деформаций тела вращения с физико-механическими характеристиками, изменяющимися с ростом температуры, и программно реализован алгоритм отыскания напряжений в кольцах из композиционных материалов при неравномерном распределении температур. Проведена верификация на контрольном примере, которая подтверждает корректность алгоритма. С помощью разработанной методики возможно вычисление перемещений и напряжений в телах вращения из композиционных материалов с изменяющимися при нагреве свойствами.

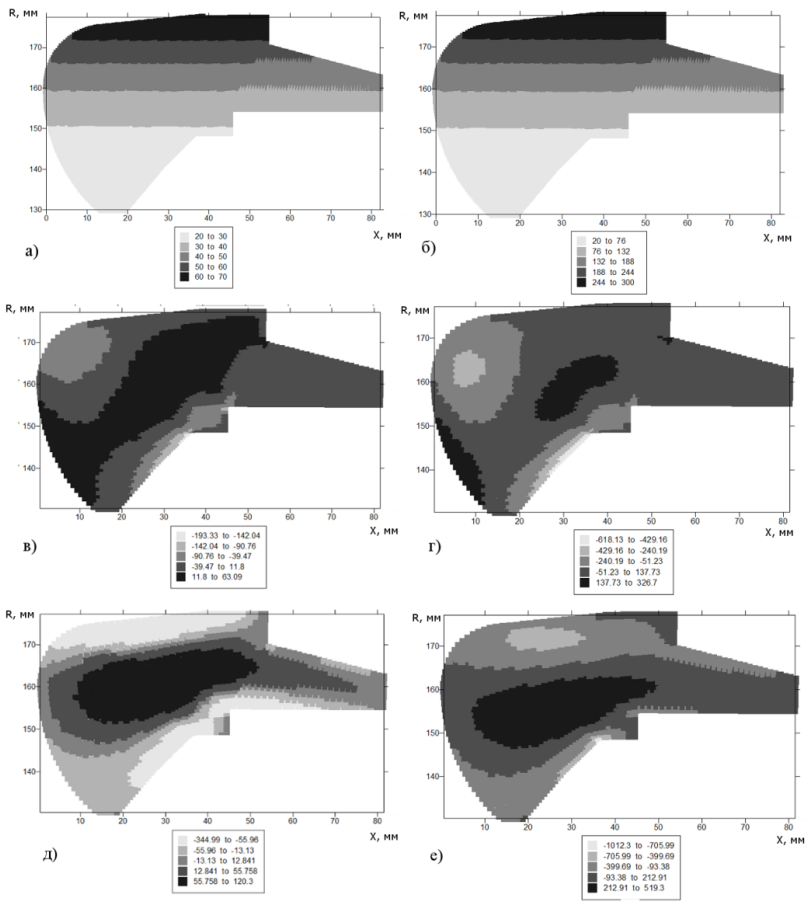


Рис. 1 - Поля распределений для низкотемпературных воздействий: а) - температура (°С); в) - напряжение (МПа) по осевой координате; д) - касательные напряжения (МПа) в плоскости сечения и для высокотемпературных воздействий: б) - температура (°С); г) - напряжение (МПа) по осевой координате; е) - касательные напряжения (МПа) в плоскости сечения

Список литературы

1. *Вохмянин И.Т.* Проектирование равнопрочных упругих тороидальных оболочек вращения в условиях термосилового нагружения / И.Т. Вохмянин, Ю.В. Немировский // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. - 2011. - № 2 (17). - С. 65-77.
2. *Гаращенко А.Н.* Математическое моделирование работы резиноподобных теплозащитных в широком диапазоне температур / А.Н. Гаращенко, В.Л. Страхов, Г.В. Кузнецов, В.П. Рудзинский // Внутрикамерные процессы и горение в установках на твёрдом топливе и в ствольных системах. – Институт механики Уральского отделения РАН (Ижевск), 2008. - С. 15-24.
3. *Мельников А.С.* Уточненная математическая модель работы вспучивающейся огнезащиты на минеральной основе / А.С. Мельников, В.Л. Страхов // Пожаровзрывобезопасность, Т. 16 – М.: Пожнаука, 2007. –№4. – С 26-33.
4. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич – М.: Мир, 1975. – 541 с.
5. *Бате К.-Ю.* Методы конечных элементов / Пер. с англ. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 1024 с.
6. *Каледин В.О.* Программная система для алгоритмизации численного решения задач механики сплошной среды / В.О. Каледин, Я.С. Крюкова, Н.В. Аринархова, Н.В. Равковская, // Известия Алтайского государственного университеа. - 2014. - № 1/1 (81). - С. 161-164.
7. *Каледин В.О.* Моделирование статики и динамики оболочечных конструкций из композиционных материалов / В.О Каледин., С.М. Аульченко, А.Б. Миткевич, Е.В. Решетникова, Е.А. Седова, Ю.В. Шпакова - М. ФИЗМАТЛИТ, 2014. - 196 с.
8. *Работнов Ю.Н.* Механика деформируемого твердого тела: Учеб.пособие для вузов. 2-е изд., испр. / Ю.Н. Работнов – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1988. – 712 с.

05.13.00

Д.А. Козорез, В.В. Терентьев, А.О. Шемяков

Московский авиационный институт (национальный технический университет),
Москва, terentyev@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

В статье предложено техническое решение, обеспечивающее автономную высокоточную навигацию и управление движением космического аппарата (КА) на геостационарной орбите (ГСО). Решение основано на математической модели движения КА со звездным прибором, учитывающей данные от датчиков угловых скоростей. Приведена математическая модель и алгоритм работы системы управления. Предложена циклограмма работы интегрированной системы управления КА с учетом ошибок в части оценок угловой ориентации.

Ключевые слова: *космический аппарат, система ориентации и стабилизации, звездный датчик, датчики угловых скоростей.*

Актуальной является задача повышения точности управления космическими аппаратами (КА), в том числе входящими в единую группировку. В бортовой системе навигации и управления КА выделяются: блок датчиков (звездный прибор, гравитационные, магнитные, инерционные); блок интеграции навигационных данных, формирующий навигационные определения; блок управления, формирующий стратегию полета и конкретные управляющие команды; командная линия связи с Землей. Современные системы навигации и управления в качестве дополнительного источника навигационных данных используют, в том числе, результаты межспутниковых измерений [1]. Качество интегрированной системы навигации и управления определяется точностью реализации программной траектории. Математическая составляющая алгоритмов управления, большей частью, зависит от исполнительных устройств системы ориентации и стабилизации (СОС). Речь идет, в первую очередь, об электромеханических устройствах, получивших наибольшее распространение в виде двигателей с развитой роторной частью (двигателей – маховиков) [2] и реактивных двигателей.

Математическая модель движения КА

Математическая модель движения должна быть составлена исходя из требований к точности моделирования траектории движения КА. Чтобы обеспечить требования, должны быть выбраны наиболее подходящие система координат (СК) и шкала отсчета времени. После выбора опорных систем отсчета необходимо описать физическую основу движения КА. Далее, необходимо составить перечень сил и моментов для записи правых частей уравнений движения КА. При движении в околоземном пространстве на объект действует целый ряд возмущающих факторов, таких как гравитационное поле Земли с учетом ее несферичности; притяжение Луны и Солнца; давление солнечного света; прочие слабые факторы (альбедо и излучение Земли, приливы в твердом теле Земли, океанические приливы).

Первая часть вектора состояния КА X1 и системы дифференциальных уравнений движения центра масс КА содержит компоненты радиус вектора x, y, z и вектора скорости КА Vx, Vy, Vz в квазиинерциальной СК GCRS [3]:

$$\bar{X}_1 = \left(x, y, z, V_x, V_y, V_z\right)^{\mathrm{T}} \quad (1)$$

здесь и далее символ ^{T} означает транспонирование.

Вторая часть вектора состояния КА и системы уравнений углового движения вокруг центра масс КА представлена компонентами в орбитальной СК [3] и включает соответственно углы крена, рыскания и тангажа, а также угловые скорости вращения КА

вокруг его связанных осей: $$\bar{X}_2 = \left(\gamma, \psi, \theta, \omega_x, \omega_y, \omega_z\right)^{\mathrm{T}} \quad (2)$$

В общем виде обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ) движения центра масс и углового движения КА представляют собой следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \dot{\bar{X}}_1 &= F_1\left(\bar{X}_1, t, \bar{U}_1\right) \\ \dot{\bar{X}}_2 &= F_2\left(\bar{X}_2, t, \bar{U}_2\right), \end{aligned} \quad (3)$$

где F_1 и F_2 - функции правых частей, включающие соотношения для расчета сил возмущающих природных факторов, а также управляющие воздействия U_1 и U_2. При этом правые части уравнений возмущенного движения центра масс КА имеют вид:

$$\begin{cases} \dot{q} = V_q \\ \dot{V}_q = -\dfrac{\mu q}{r^3} + \sum\limits_{j=0}^{k} \Delta g_{jq} + \bar{U}_1 \end{cases}, \quad q = \{\, x, y, z \,\}, \quad (4)$$

где Δg_{jq} – проекция j-го возмущающего ускорения на координатное направление q, $\bar{U}_1$ - вектор управления, формируемый двигательной установкой. Правые части уравнений углового движения КА, в свою очередь, выглядят так:

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{\gamma} &= \left(p\cos\theta - \omega_0\cos\gamma\sin\psi\cos^2\theta - \omega_0\sin\theta\sin\gamma\cos\theta - q\sin\theta\right)/\cos\psi \\ \dot{\psi} &= p\sin\theta - \omega_0\sin\theta\cos\gamma\sin\psi\cos\theta + q\cos\theta + \omega_0\sin\gamma\cos^2\theta \\ \dot{\theta} &= \left(-p\cos\theta\sin\psi + \omega_0\cos^2\theta\cos\gamma + \omega_0\sin\theta\sin\psi\sin\gamma\cos\theta\right)/\cos\psi \\ &+ \omega_0\cos\gamma\cos\psi\left(1-\cos^2\theta\right) + r + q\sin\theta\tan\psi \\ \dot{p} &= \left[\left(J_Y - J_Z\right)\cdot q\cdot r + M_X + M_{RX} + \sum_q M_{qX}\right]/J_X \\ \dot{q} &= \left[\left(J_Z - J_X\right)\cdot r\cdot p + M_Y + M_{RY} + \sum_q M_{qY}\right]/J_Y \\ \dot{r} &= \left[\left(J_X - J_Y\right)\cdot p\cdot q + M_Z + M_{RZ} + M_{СБ} + \sum_q M_{qZ}\right]/J_Z \end{aligned} \right. \quad (5)$$

где M_X, M_Y, M_Z – управляющие моменты, создаваемые двигателями маховиками (либо силовым стабилизатором), и M_{RX}, M_{RY}, M_{RZ} - управляющие моменты, создаваемые газовыми реактивными двигателями, образуют вектор управления угловым движением $\bar{U}_2$, ω_0 - орбитальная угловая скорость КА, $M_{СБ}$ – момент, создаваемый поворотом солнечных батарей, J_X, J_Y, J_Z- центральные моменты инерции корпуса КА, $\sum\limits_{q=1}^{2}\bar{M}_q = \bar{M}_1 + \bar{M}_2$ – сумма возмущающих моментов, действующих на КА, в данном случае гравитационного M_1, вызываемого притяжением Земли, и момента сил светового давления M_2.

Алгоритм управления угловой ориентацией с учетом потребных значений углов связанных осей КА относительно орбитальных осей включает в себя вычисление управляющих воздействий – моментов для приложения двигателями к маховикам, либо в узлах рамок карданного подвеса трехстепенного гироскопического стабилизатора. Исходными данными для такого расчета служат требуемые значения управляющих моментов из уравнения (5). Вычислить их можно через обратную запись:

$$\begin{cases} M'_X = \dot{p}'\cdot J_X - (J_Y - J_Z)\cdot q\cdot r \\ M'_Y = \dot{q}'\cdot J_Y - (J_Z - J_X)\cdot p\cdot r \\ M'_Z = \dot{r}'\cdot J_Z - (J_X - J_Y)\cdot q\cdot p - M_{СБ} \\ M'_{СБ} = \dot{\omega}'_{СБ}\cdot J_{СБ} \end{cases} \quad (6)$$

В выражении выше требуемые угловые ускорения $\dot{p}'$, $\dot{q}'$, $\dot{r}'$ и $\dot{\omega}'_{СБ}$ можно определить на основе невязок текущих и требуемых угловых скоростей:

$$\begin{cases} \dot{p}' = (p' - p)\cdot k_p \\ \dot{q}' = (q' - q)\cdot k_q \\ \dot{r}' = (r' - r)\cdot k_r \\ \dot{\omega}'_{СБ} = (\omega'_{СБ} - \omega_{СБ})\cdot k_{СБ} \end{cases} \quad (7)$$

где p', q', r' и $\omega'_{СБ}$ – требуемые угловые скорости углового движения.

Так как все программы управления формируют, прежде всего, требуемые значения углов ориентации связанных осей КА, а не угловых скоростей, то в соотношении (7) их нужно заменить на углы. Это осуществляется через систему уравнений:

$$\begin{cases} p' = \det(\mathbf{P})/\det(\mathbf{PQR}) \\ q' = \det(\mathbf{Q})/\det(\mathbf{PQR}) \\ r' = \det(\mathbf{R})/\det(\mathbf{PQR}) \\ \omega'_{СБ} = \beta_{СБ} - \beta'_{СБ} \end{cases} \quad (8)$$

где $\beta'_{СБ}, \beta_{СБ}$ - соответственно требуемый угол разворота СБ и текущий, P, Q, R и PQR – матрицы, составленные на основе преобразованных уравнений углового движения КА (5):

$$\begin{cases} p\cos\theta - q\sin\theta = \dot{\gamma}'\cos\psi + \omega_0\cos\gamma\sin\psi\cos^2\theta + \omega_0\sin\theta\sin\gamma\cos\theta \\ p\sin\theta + q\cos\theta = \dot{\psi}' + \omega_0\sin\theta\cos\gamma\sin\psi\cos\theta - \omega_0\sin\gamma\cos^2\theta \\ -p\cos\theta\sin\psi + q\sin\theta\sin\psi + r\cos\psi = \dot{\theta}'\cos\psi - \omega_0\cos\gamma\cos^2\theta + \\ +\omega_0\cos\gamma\cos^2\psi\cos^2\theta - \omega_0\sin\theta\sin\psi\sin\gamma\cos\theta - \omega_0\cos^2\theta\cos\gamma \end{cases} \quad (9)$$

где $\dot{\theta}'$, $\dot{\psi}'$ и $\dot{\gamma}'$ - требуемые скорости изменения углов ориентации КА, являющиеся нелинейными функциями текущих значений углов ориентации КА и требуемых значений, задаваемых алгоритмом управления КА:

$$\begin{cases} \dot{\gamma}' = f_\gamma(\gamma, \gamma') \\ \dot{\psi}' = f_\psi(\psi, \psi') \\ \dot{\theta}' = f_\theta(\theta, \theta') \end{cases} \quad (10)$$

Требуемые углы γ', ψ', θ' определяются в соответствии с алгоритмами управления движением.

Звездный прибор, как правило, является основным источником навигационной информации для оценки углов ориентации КА, так как имеет наиболее высокую точность среди прочих астроприборов (максимальная ошибка исчисляется единицами угловых секунд). Кроме того, в отличие от земного и солнечного датчиков, звездный прибор позволяет оценивать ориентацию в процессе различных маневров КА, связанных с изменением углов Эйлера относительно орбитальной СК, например, в процессе коррекции орбиты. Это возможно благодаря наличию на борту КА карты звездного неба, использование которой позволяет «переключаться» на другие ориентиры в процессе изменения угловой ориентации КА.

Для КА, функционирующего на ГСО и сохраняющего нулевые углы ориентации связанных осей относительно орбитальных, достаточной будет установка звездного прибора на передней или задней частях КА [4]. При этом ось чувствительного элемента датчика должна быть направлена на север (в сторону полярной звезды) или юг. Это позволит на этапе активного существования КА регулярно вырабатывать необходимое количество измерений углов ориентации. На этапе довыведения КА, когда вращение корпуса происходит относительно трех осей инерциальной СК, возникает необходимость проведения дополнительных исследований по априорному анализу точности навигационного решения. С точки зрения решения навигационной задачи в части оценки углов ориентации КА было бы достаточным наличие малых углов отклонения от нуля, 90° либо 180°. В таком случае можно говорить о стабильности направления осей чувствительных элементов и использовании одного или ограниченного количества небесных ориентиров для выработки измерений.

Однако, такой сценарий нереализуем в силу отсутствия подходящего направления для установки прибора, который при довыведении обеспечил бы интегрированную систему регулярным поступлением навигационной информации.

Все сказанное приводит к необходимости использования комбинированного **технического решения для оценки угловых параметров движения** КА. Предлагается интегрировать показания бортовых датчиков угловых скоростей с использованием опорных значений исходных данных – углов ориентации КА, с последующей коррекцией оценок углов ориентации КА и систематических ошибок по поступающим астроизмерениям.

В общем виде модель измерений звездного прибора можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} \vartheta_{ЗД} &= \vartheta_{ЗД}^{ист} + \Delta\vartheta_{ЗД} \\ \psi_{ЗД} &= \psi_{ЗД}^{ист} + \Delta\psi_{ЗД} \\ \gamma_{ЗД} &= \gamma_{ЗД}^{ист} + \Delta\gamma_{ЗД} \end{aligned} \qquad (11)$$

где $\vartheta_{ЗД}^{ист}, \psi_{ЗД}^{ист}, \gamma_{ЗД}^{ист}$ - реальные («истинные») значения углов тангажа, рысканья и крена в ССК прибора, $\Delta\vartheta_{ЗД}, \Delta\psi_{ЗД}, \Delta\gamma_{ЗД}$ – погрешности определения углов тангажа, рысканья и крена в ССК прибора, задаваемые в виде:

$$\begin{aligned} \Delta\vartheta_{ЗД} &= \Delta\vartheta_{ЗД}^{сист} + \Delta\vartheta_{ЗД}^{ортог} + \Delta\vartheta_{ЗД}^{шум} \quad \dot{\vartheta} \\ \Delta\psi_{ЗД} &= \Delta\psi_{ЗД}^{сист} + \Delta\psi_{ЗД}^{ортог} + \Delta\psi_{ЗД}^{шум} \quad \dot{\psi} \quad , \\ \Delta\gamma_{ЗД} &= \Delta\gamma_{ЗД}^{сист} + \Delta\gamma_{ЗД}^{ортог} + \Delta\gamma_{ЗД}^{шум} \quad \dot{\gamma} \end{aligned} \qquad (12)$$

где $\Delta\vartheta_{ЗД}^{сист}, \Delta\psi_{ЗД}^{сист}, \Delta\gamma_{ЗД}^{сист}$ - систематические ошибки определения углов ориентации по соответствующим осям, рассматриваемые как нормальные случайные величины, характеристики которых априори известны, $\Delta\vartheta_{ЗД}^{ортог}, \Delta\psi_{ЗД}^{ортог}, \Delta\gamma_{ЗД}^{ортог}$ - погрешности из-за неортогональности и перекоса осей чувствительности датчиков, рассматриваемые как детерминированные величины, характеристики которых неизвестны заранее, $\Delta\vartheta_{ЗД}^{шум}, \Delta\psi_{ЗД}^{шум}, \Delta\gamma_{ЗД}^{шум}$ - шумовые составляющие ошибок определения углов ориентации КА по соответствующим осям, рассматриваемые как стационарные случайные процессы, характеристики которых зависят от угловой скорости движения аппарата.

Погрешность, вызванная интегрированием ошибки датчика угловой скорости (ДУС) на участке без измерений длительностью до нескольких часов, не должна превышать установленные требования порядка 10' (с вероятностью 0.95). Это означает, что шумовая ошибка ДУС не должна превышать порядка 10^{-6}. Это слишком жесткое требование. В этой связи в предлагаемом техническом решении допускается большая ошибка ДУС за счет регулярной коррекции ее систематической составляющей на основе измерений астроприборов, включив все систематические ошибки в обрабатываемый интегральным фильтром Калмана расширенный вектор состояния. Случайную составляющую также можно будет нивелировать за счет применения алгоритмов оптимальной фильтрации на основе фильтра Калмана. С учетом сказанного, при использовании стандартных ДУСов в комплексе с точными астроприборами циклограмма работы интегрированной системы в части оценок угловой ориентации КА будет выглядеть следующим образом: (рисунок 1).

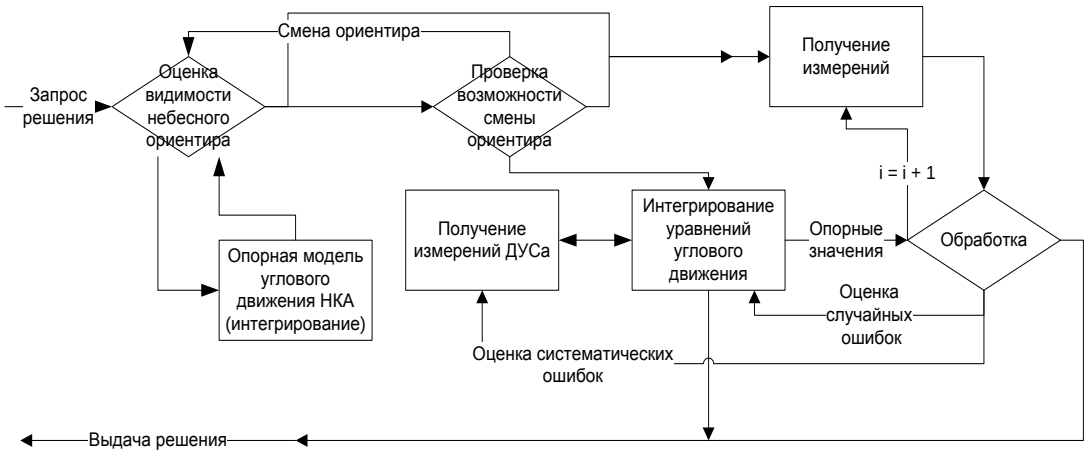


Рис. 1 - Циклограмма работы интегрированной системы управления КА в части оценок угловой ориентации

Процедура оценки видимости небесного ориентира формирует график сеансов измерений с учетом видимости ориентира в текущий или в ближайший моменты времени. При отсутствии в ближайший момент факта видимости конкретного ориентира вызывается процедура его смены. При наличии факта видимости вызывается процедура проведения измерений. Процедура смены ориентира пытается выбрать новый ориентир на основе бортовой карты небесных тел и опорных значений вектора состояния КА. Если процедура не дала успехов ни с одним ориентиром, то вызывается блок интегрирования. Блок получения измерений производит накопление измерений в соответствии с передаваемым в него графиком и вызывает процедуру обработки измерений. Блок обработки запускает процедуры оптимальной фильтрации измерений и оценки угловых параметров движения КА, а также систематических ошибок ДУСов. Блок интегрирования углового движения осуществляет прогноз углов ориентации КА на основе опорных значений параметров движения КА, измерений угловой скорости его вращения, а также известных оценках ошибок ДУСов. По завершении работы процедур выдается навигационное решение, включающее оценку углов ориентации КА.

Выводы.

В работе предложено техническое решение, основанное на математической модели движения КА и алгоритме управления интегрированной СОС, оснащенной звездным прибором и датчиками измерения угловых скоростей. Высокая точность работы СОС обеспечивается как за счет использования высокоточных приборов, датчиков и исполнительных органов, так и за счет блока интеграции данных, учитывающего широкий спектр ошибок измерений и возмущений навигационных датчиков.

Работы выполнены при финансовой поддержке в рамках гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых кандидатов наук (МК 7938.2015.8).

Список литературы

1. *Д.М. Кружков, Р.В. Ким.* Модификация алгоритмов функционирования бортовой интегрированной навигационной системы автономного космического аппарата. М. Труды МАИ, 2013, 68. (Электронный ресурс), URL: http://mai.ru/science/trudy /published.php?ID=41936, (дата обращения: 14.10.2016).

2. www.vniiem.ru//Официальный сайт ОАО “Корпорация “ВНИИЭМ”, Электронасосы, электродвигатели и электроприводы (электронный ресурс). URL: www.vniiem.ru/ru/index.php?option=com_ content&view=category&id=39&Itemid=64/ (дата обращения: 24.10.2016).

3. *Жаров В. Е.* Сферическая астрономия. — Фрязино, 2006. — 480 с. ISBN 5–85099–168–9.

4. *Д.А. Козорез, М.Н. Красильщиков, Д.М. Кружков, К.И. Сыпало* Интегрированная навигационная система космического аппарата на геостационарной и высокоэллиптической орбитах, функционирующая в условиях активных помех. Известия РАН. Теория и системы управления, 2013, №3, с. 143-154.

05.13.01

И.З. Краснов, С.О. Шапочкин

Сибирский федеральный университет, институт космических и информационных технологий, кафедра прикладной математики и компьютерной безопасности, Красноярск, ivkolkova@yandex.ru

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЁТОМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

В данной работе авторами предлагается модель принятия управленческого решения по реинжинирингу персонала относительно требуемого вида деятельности. Представленная методика позволяет руководителю принять решение по распределению ресурсов между членами команды в соответствии с расчетным уровнем компетентности. В результате практического применения методики была выявлена основная область применения, которой являются организации, деятельность которых основана на информационных технологиях с целью выработки управленческого решения по формированию эффективных команд инновационной деятельности.

Ключевые слова: *компетентность, системный анализ, творческий потенциал, системный подход, эффективное управленческое решение, создание команды.*

Введение

В современных условиях информатизации общества одним из решающих факторов, определяющих качество функционирования организаций, деятельность которых основана на информационных технологиях, является человеческий фактор, который напрямую зависит от профессионализма пользователей, определяющийся расчетным уровнем компетентности каждого [1].

Российский стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408 [2], в котором указаны требования к построению защищённых систем, утверждает, что основное дестабилизирующее воздействие на информационную систему оказывает человек, определяя его как злоумышленника, переводя в категорию инсайдера и определяя его как лицо оказывающее деструктивные воздействия на устойчивость информационной системы.

Международный стандарт COBIT 5 [3] рекомендует во главу управления бизнес-процессами, основанными на информационных технологиях ставить людей с высоким уровнем компетентности и обладающих лидерскими качествами. Данное руководство, предлагая учитывать компетентности персонала, не регламентирует то, каким образом, и по какой методике производить расчёт уровня компетентности и не предоставляет методики перевода качественных характеристик в количественные величины.

Для оценки влияния человеческого фактора была взята типология К.Г. Юнга. В основе типологии лежит психологическая предрасположенность человека к виду деятельности, которая совместно с образовательными характеристиками определяет уровень его профессионализма. Типология утверждает, что каждый человек имеет сильные и слабые стороны. Сильные стороны человека лежат в основе предрасположенности человека к конкретному виду деятельности. Наша задача, на основе расчетного уровня компетентности каждого человека, определить в системе наиболее оптимальный вид деятельности, соответствующий его сильным сторонам.

Методика выработки и принятия правленческого решения

Разработанная тестирующая программа http://www.akmektes.ru, позволяет выявить сильные стороны человека, определяющих его предрасположенность к деятельности [4]. Сильные стороны рассматриваются как качественные характеристики и определяются как неуправляемая контролируемая переменная. В свою очередь, уровень образования и опыт работы рассматриваются как образовательные характеристики и определяются как управляемая контролируемая переменная. Перевод качественных характеристик в

количественные показатели методами сравнительного анализа, с учетом образовательных характеристик (методом анализа иерархий, методом функций полезности, методом непосредственной оценки) [5], позволяет рассчитать уровень компетентности каждого пользователя относительно требуемой деятельности.

В понятие расчётный уровень компетентности, который обозначается количественной переменной Km_j^k $(j = 1, \dots, 16)$; $(k = 1, \dots, 4)$, входит качественная переменная, характеризующая предрасположенность к определённому виду деятельности P_i (i =1,…,4), которая может быть выражена цветовым индикатором, и качественная переменная, которая выражает образовательную характеристику Q_i (i = 1,…,4). Обе переменные рассматриваются относительно вида деятельности D_k (k = 1,…,4) [6].

Следует отметить, что относительно P_i и D_i можно брать i = 1,...,16. для упрощения понимания методики расчёта уровня компетентности, взято i =1,..,4.

Соблюдая логику, описанную в таблице 1, лицо принимающее решение (далее ЛПР) относительно устойчивости информационной системы с учётом человеческого фактора может добиться эффективного управляющего воздействия, используя систему поддержки принятия решений (далее СППР), не обладая глубокими знаниями в психологии, математики и информатике.

На систему [7] (рис. 1), оказывают влияние следующие воздействия:

• $\mu_1(t)$, $\mu_2(t)$ – контролируемые управляемые (Q_i) и неуправляемые (P_i) воздействия;

• u(t) – управляющее воздействие на систему;

• x(t) – входные воздействия (информационные ресурсы: конфиденциального, служебного, общего характера, обозначенные соответственно $X_1(t)$, $X_2(t)$, $X_3(t)$.

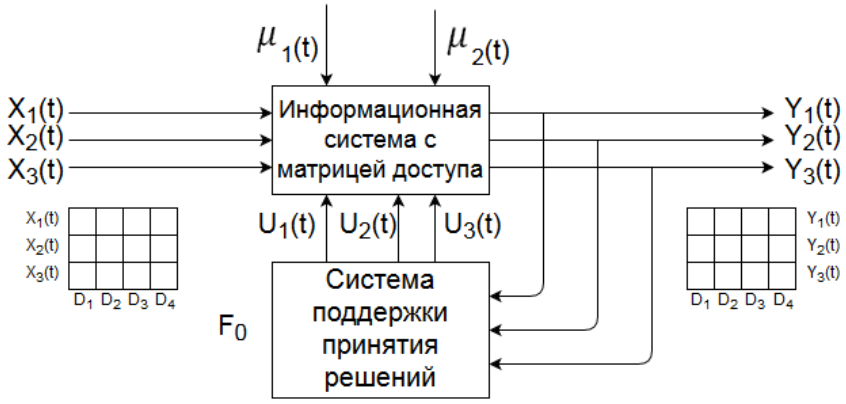


Рис. 1 – Структура метода принятия управленческого решения

Реакция системы (состояние системы) это $X^*(t) = \{X_1^*(t), X_2^*(t), X_3^*(t)\}$. Идеальная реакция (состояние) для информационной системы (ИС) считается известной и определённой. Логика работы руководителя состоит в получении $\mu_1(t)$, $\mu_2(t)$, $X(t) = \{X_1(t), X_2(t), X_3(t)\}$ и построении таблиц, содержащих эталонные и реальные расчетные уровни компетентности относительно ранжированных ресурсов организации. Данные реальной таблицы вычитаются из данных эталонной таблицы состояния. Разности выдаются руководителю в графической форме (рис. 2). Руководитель вводит управление $U(t) = \{U_1(t), U_2(t), U_3(t)\}$ и через систему автоматизации принятия решения отслеживает приятое решение (состояние системы) $X^*(t)$. Функция F_0, является результатом работы СППР и ЛПР, выходом которой является управляющее воздействие U(t) на систему посредством матрицы доступа.

Математическая модель описания принятия управленческого решения будет иметь следующий вид:

$$X^*(t) = F(X(t), \mu_1(t), \mu_2(t), F_0(X^*(t))$$

Считаем, что ИС может находиться в 2х состояниях: эталонном и реальном. При этом в системе имеет свой ранг информационного ресурса I_i (компонента вектора I).

Эталонное состояние системы с учётом человеческого фактора описывается матрицей A, с элементами a_{ij}, равными

$$a_{ij} = Km_i^э \cdot (1 - I_j) \ (i = 1,..,4;\ j = 1,...,9)$$

Реальное состояние системы с учётом ЧФ описывается матрицей B, с элементами b_{ij}, равными

$$b_{ij} = Km_i^p \cdot (1 - I_j)\ (i = 1,..,4;\ j = 1,...,9)$$

Разность состояний системы описывается матрицей D = A – B с элементами d_{ij}, равными

$$d_{ij} = a_{ij} - b_{ij} = Km_i^э \cdot (1 - I_j) - Km_i^p \cdot (1 - I_j) = (1 - I_j) \cdot (Km_i^э - Km_i^p)$$

$$\underset{i,j}{sum} |d_{ij}| \sim \Delta(t)$$

$$\Delta(t) \to 0$$

$\Delta(t)$ показывает разницу между эталонным и реальным состояниями в величинах, в которых измеряется реальный параметр (число отказов).

$$\forall\ |d_{ij}| \to 0$$

$\forall\ |d_{ij}|$ показывает, что любой всплеск d_{ij} должен стремиться к нулю. Закономерности, которые описывают приоритеты элементов $p \in \{P\}$ друг перед другом относительно элементов $d \in \{D\}$ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Приоритеты элементов $p \in \{P\}$

d_i (i = 1,…,4)	Приоритеты элементов $p \in \{P\}$ друг перед другом
d_1	$p_1 > p_4 > p_2 > p_3$
d_2	$p_2 > p_3 > p_1 > p_4$
d_3	$p_3 > p_2 > p_4 > p_1$
d_4	$p_4 > p_1 > p_3 > p_2$

Закономерности, которые описывают приоритеты элементов $q \in \{Q\}$друг перед другом относительно элементов $d \in \{D\}$ приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Приоритеты элементов $q \in \{Q\}$

d_i (i = 1,…,4)	Приоритеты элементов $q \in \{Q\}$ друг перед другом
d_i	$q_1 > q_2 > q_3 > q_4$

Система предоставляет руководителю два состояния системы с учетом расчетного уровня компетентности. Первое состояние показывает то, как должны распределиться пользователи системе в эталонном варианте, обеспечивающее распределение людей при идеальном соотношении психологических установок человека, образовательных характеристик относительно требуемого вида деятельности. Второе состояние показывает то, в каком состоянии находится система на текущий момент времени, руководитель, анализируя два состояния, предоставленные системой помощи принятия решения в графическом виде, принимает решение по управленческому воздействию на распределение людей относительно требуемого вида деятельности, к ресурсам тем самым обеспечивая эффективность деятельности системы [4, 6].

Руководитель определяет для себя экспертную шкалу, на основании которой и принимается решение о изменении прав доступа людей к требуемым видам деятельности. Анализируя состояние системы, распределяя ее ресурсы на основании расчетного уровня компетентности пользователей, как можно более подходящее к эталонному варианту.

Управляющие воздействия выражаются в изменении прав доступа к информационным ресурсам относительно требуемого вида деятельности. Например, если $D_1 = P_1$ и Q_1, то уровень доступа максимальный, если $D_1 = P_4$ и Q_4, то в данном виде деятельности человек является инсайдером, то есть он приведёт к дестабилизации информационной системы, и, поэтому ЛПР необходимо принять управленческое решение при помощи СППР.

Ниже приведены графики (рис 2), которые соответствуют эталонному состоянию во всех видах деятельности (слева), реальному состоянию во всех видах деятельности (справа), разностному значению между двумя состояниями системы (снизу):

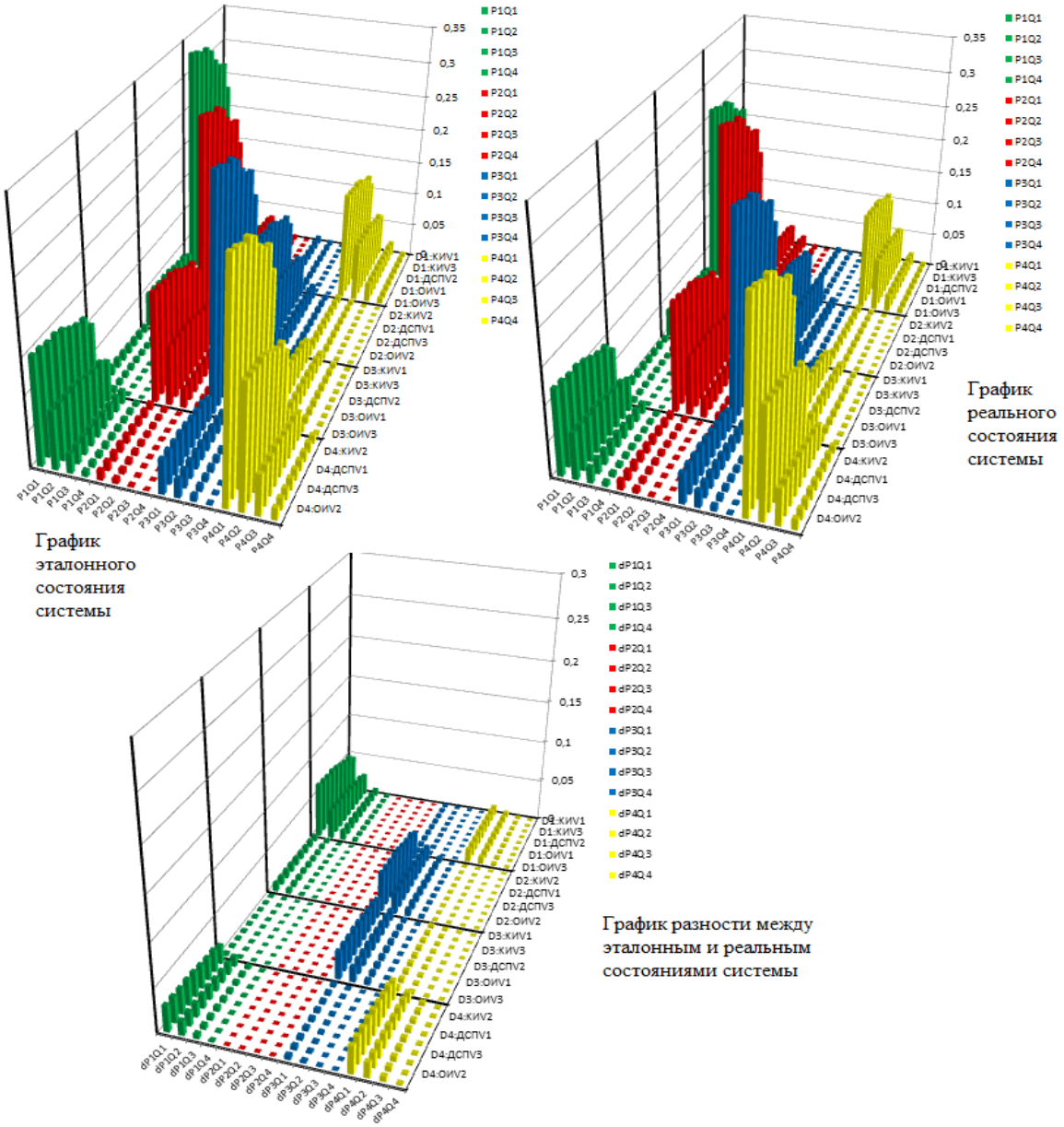


Рис. 2 – Графики состояния

Заключение

Предложенный метод расчета уровня компетентности позволяет решать целый ряд задач развития и управления в организации. Существенным является не только динамика и рост масштабов качества самовыражения, но и использование изначального потенциала человека для достижения поставленных целей. Специфика деятельности к созиданию состоит в том, чтобы каждый человек соответствовал стратегии развития организации в векторе творческих способностей.

Ранжирование расчетных уровней компетентности позволяет выявить у человека уровень склонности к конкретному виду творческой деятельности. Результаты, представленные в графическом виде, облегчают принятие решения по ранжированию людей в организации на основании матрицы доступа с целью управления деятельностью персонала [4].

Список литературы

1. *Краснов И. З., Цыганков Н. С.* Алгоритм расчета уровня компетентности относительно требуемой деятельности человека // Научно-технический вестник Поволжья – 2016. - №2. – С. 127-132.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2-2013 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 2. Функциональные компоненты безопасности. – Введ. 08.11.2013. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 161с.
3. Международный стандарт COBIT 5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cobitonline.isaca.org (дата обращения 15.10.2016).
4. *Краснов И.З.* Матрица доступа как пассивный элемент защиты информационных ресурсов. // Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы информационной безопасности государства, общества и личности». – Томск - Иркутск, 2014. – С. 202-210.
5. *Гудков П.А.* Методы сравнительного анализа: учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. – С. 22-49.
6. *И.З. Краснов* Модель информационной структуры организации на основе компетентностного подхода // Материалы XIX Международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева (10–14 ноября 2015, г. Красноярск). Часть 2. – Красноярск, 2015. – С. 227-231.
7. *Новосельцев В.И.* Системный анализ теория и приложения. – Воронеж: Научная книга, 2013. – С. 102-108.

05.13.18

Т.В. Леванова к.ф.-м.н., П.И. Кальчевская

Омский филиал Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН,
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского
г. Омск, levanova@ofim.oscsbras.ru

АЛГОРИТМЫ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА ОБЪЕМЫ ПОСТАВОК

Рассматривается задача размещения предприятий с ограничениями на объемы поставок. Для её решения предложены алгоритмы пчелиного роя и муравьиной колонии, выполнены экспериментальные исследования.

Ключевые слова: *алгоритм пчелиного роя, алгоритм муравьиной колонии, задача размещения предприятий, целочисленное линейное программирование.*

Многие задачи, возникающие в экономике, планировании, проектировании и в других областях сводятся к решению дискретных задач оптимального размещения. Актуальность исследований в этой области связана с большой размерностью прикладных постановок и с их теоретической сложностью, а, следовательно, с отсутствием эффективных универсальных методов решения. Применение коммерческих пакетов для поиска оптимума нередко оказывается затруднительным. В связи с этим в последние десятилетия активно развиваются различные методы получения приближенных решений. Одним из перспективных областей исследования является разработка эвристических алгоритмов. Часто они дают близкие к оптимальным результаты при невысокой вычислительной сложности. Среди них важное место занимают методы локального поиска, такие как поиск с запретами, локальный поиск с переменными окрестностями и пр. [1]. Другим направлением является построение алгоритмов, основанных на аналогиях с природой. Получили известность эволюционные алгоритмы, нейронные сети, алгоритмы муравьиной колонии, пчелиного роя, имитации отжига и т.д. [см., например, 1-6].

В данной работе рассматриваются алгоритмы муравьиной колонии и пчелиного роя, которые хорошо зарекомендовали себя при решении многих прикладных задач [1, 3, 5, 6]. Авторами предлагаются варианты указанных алгоритмов для задачи размещения с ограничениями на объемы поставок, проводятся и обсуждаются их экспериментальные исследования.

Задача размещения с ограничениями на объемы поставок

Рассматривается задача размещения предприятий с ограниченными объемами производств и поставок [9]. В ней даны пункты возможного размещения предприятий и множество потребителей (клиенты). Известны объемы производства и ограничения на пропускные способности. Заданы спрос клиентов, прибыль, получаемая при поставке единицы продукта от предприятий к потребителям, и затраты за открытие. Необходимо разместить предприятия и прикрепить к ним клиентов так, чтобы удовлетворить спрос при соблюдении всех условий и получить наибольшую прибыль. Отличительными особенностями этой задачи являются наличие ограничений на объемы поставок и максимизация целевой функции.

Приведём математическую модель задачи, предложенную в [7]. Для ее построения введем следующие обозначения: $I = \{1,...,m\}$ – множество возможных пунктов размещения предприятий; $J = \{1,...,n\}$ – множество пунктов потребления; f_i – затраты на размещение предприятия в пункте i; b_j – объемы потребления продукта в пункте j; g_{ij} – прибыль,

получаемая при доставке единицы продукта из пункта i в j; d_i – объем производства в пункте i; a_{ij} – ограничения на объем поставки продукта из пункта i в пункт j; здесь везде $i \in I$, $j \in J$.

Переменными математической модели являются: x_{ij} – количество единиц продукции, поставляемое предприятием в пункте i потребителю j; $z_i = 1$, если предприятие в пункте i открыто, $z_i = 0$, иначе; $i \in I$, $j \in J$.

Модель целочисленного линейного программирования имеет вид:

$$F(z, X) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} g_{ij} - \sum_{i \in I} f_i z_i \to \max \qquad (1)$$

при условиях

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = b_j, \ j \in J, \qquad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \le d_i z_i, \ i \in I, \qquad (3)$$

$$0 \le x_{ij} \le a_{ij}, \ i \in I, \ j \in J, \qquad (4)$$

$$x_{ij} \in Z \quad , \ z_i \in \{0,1\}, \ i \in I, \ i \in I. \qquad (5)$$

В целевой функции (1) максимизируется прибыль от размещения с учетом затрат. Равенствами (2) обеспечивается удовлетворение спроса каждого потребителя. С помощью неравенства (3) проверяется, что предприятие не может привезти продукции больше, чем оно производит. В условиях (4) учитываются ограничения на максимальный объем поставки продукта.

Эта задача представляет собой обобщение простейшей задачи размещения, к которой сводится NP–трудная задача о вершинном покрытии, вследствие чего задача размещения с ограничениями на объемы поставок также является NP–трудной. В [7] для неё был предложен полиномиальный алгоритм поиска приближенного решения с гарантированной оценкой точности. Ниже приведено описание предложенных нами алгоритмов.

Разработка алгоритмов приближенного решения

Среди алгоритмов приближенного решения особый интерес представляют алгоритмы искусственного интеллекта, построенные на аналогиях с живой природой и физическими процессами. В данной работе предложены варианты алгоритма пчелиного роя (АПР) и алгоритма муравьиной колонии (АМК) для описанной выше задачи.

Задача размещения с ограничениями на объемы поставок имеет ряд особенностей, поэтому невозможно использование ранее разработанных алгоритмов. Новизна результатов заключается в построении на основе общих схем вариантов алгоритмов искусственного муравья, искусственной пчелы и их колоний с учетом специфики задачи. Для них определены формулы пересчета таких характеристик как уровень феромона и привлекательность в АМК, найдены правила преобразования параметров для поиска решения в АПР. В связи с наличием в задаче ограничений на объемы производства и поставок становится актуальным вопрос о допустимых решениях, предложено правило их построения. На одном из этапов формируется транспортная подзадача с критерием на максимум и ограничениями на пропускную способность, для нее был адаптирован венгерский метод поиска точного решения.

Алгоритм пчелиного роя

Алгоритм пчелиного роя [5] состоит из двух этапов: «полета вперед» и «полета назад». Первый из них соответствует поведению медоносной пчелы в процессе поиска источников нектара. На этом этапе исследуется пространство решений и строится новое частичное решение. Второй этап имитирует поведение пчелы после возвращения в улей. Во время «полета назад» все искусственные пчелы делятся на две группы: фуражиры, достраивающие рекордное решение, и разведчики, строящие новое. Искусственные пчелы представляют собой самостоятельные алгоритмы и являются частью алгоритма пчелиного роя.

Схема алгоритма ПР для задачи с ограничениями на объем поставок

Предварительный шаг. Задаем значения параметров. Формируем начальное множество допустимых решений $S^{(1)}$.

Итерация $k, k \geq 1$. До критерия остановки выполняем следующие шаги.

Шаг 1. Оценка качества решений. Для каждого вектора $z^{(k)} \in S^{(k)}$ вычисляем значение целевой функции $F^{(k)}(z^{(k)}, X^{(k)})$. Выбираем из них лучшее решение $F^{\text{Rec}} = F(z^{\text{Rec}}, X^{\text{Rec}})$. Вычисляем среднее значение функции $\overline{F}^{(k)}$, величину $L^{(k)}(s) = \max\left\{F^{(k)}(s) - \gamma \cdot \overline{F}^{(k)}, 0\right\}$, $s \in S^{(k)}$, параметр $\gamma \in (0;1)$.

Шаг 2. Определение параметров нового поиска. Формируем множество решений $S_1^{(k)} \in S^{(k)}$ по правилу: $S_1^{(k)} = \left\{ s \in S^{(k)} \middle| \frac{L^{(k)}(s)}{\overline{F}^{(k)}} > 0{,}5 \right\}$, определяем по нему параметр $A^{(k)}$, равный мощности этого множества. Строим $S_2^{(k)} \subset S^{(k)} \setminus S_1^{(k)}$, так что $S_2^{(k)} = \left\{ s \in S^{(k)} \setminus S_1^{(k)} \middle| \exp\left\{ -\frac{\gamma \cdot \overline{F}^{(k)}}{L^{(k)}(s)+1} \right\} < 0{,}1 \right\}$, определяем по нему параметр $B^{(k)}$, равный мощности множества $S_2^{(k)}$.

Шаг 3. Алгоритм пчелы-фуражира. Находим $A^{(k)}$ решений из окрестности текущего z^{Rec} и заменяем ими элементы множества $S_1^{(k)}$.

Шаг 4. Алгоритм пчелы-разведчика. Ищем $B^{(k)}$ решений во всей допустимой области и заменяем ими элементы множества $S_2^{(k)}$.

Полагаем $k := k+1$, переходим к следующей итерации.

Алгоритм муравьиной колонии.

Алгоритм моделирует поведение муравьев в процессе поиска пищи. Оказалось, что живые муравьи могут строить кратчайшие пути, используя для этого специальное пахнущее вещество – феромон, которое может испаряться и накапливаться, влияя на направление дальнейшего поиска. В настоящее время АМК широко применяется для решения прикладных задач [например, 1, 3, 6]. Искусственный муравей (ИМ) обычно представляет собой вероятностную процедуру. Результаты, полученные искусственными муравьями, обрабатываются в алгоритме муравьиной колонии и используются ИМ при дальнейшем поиске решения. Аналогом феромона выступает некоторая информация о предыдущих решениях. В алгоритме эту информацию также принято называть феромоном.

Схема алгоритма АМК для задачи с ограничениями на объемы поставок

Предварительный шаг. Задаем L – количество искусственных муравьев в колонии, и другие параметры алгоритма. Каждой перевозке x_{ij} ставим в соответствие элемент матрицы феромона $\mathrm{T} = (\tau_{ij})$ с начальным уровнем $\tau_{ij}^{(0)} = \frac{1}{mn}$ и величиной «испарения» ρ, $F^{\text{Rec}} = 0$, $X^{\text{Rec}} = 0$, $i \in I$, $j \in J$.

Итерация $k, k \geq 1$. До критерия остановки производим следующие шаги.

Шаг 1. Строим L допустимых решений $(z^{(kl)}, X^{(kl)})$ *алгоритмом искусственного муравья*, $l = 1,\ldots,L$. Вычисляем $F^{(kl)} = F(z^{(kl)}, X^{(kl)})$.

Шаг 2. Обновляем рекорд. Находим $F^{(k)} = \max\limits_{l} F^{(kl)}$. Если $F^{(k)} > F^{\text{Rec}}$, то $F^{\text{Rec}} = F^{(k)}$, $X^{\text{Rec}} = X^{(k)}$.

Шаг 3. Переопределяем уровень феромона $\tau_{ij}^{(k+1)}$, $i \in I$, $j \in J$, по правилу:

$$\tau_{ij}^{(k+1)} = \max\left((1-\rho)\tau_{ij}^{(k)}, \tau_{\min}\right), \text{ если } x_{ij} = 0, \text{ иначе } \tau_{ij}^{(k+1)} = \left((1-\rho)\tau_{ij}^{(k)} + \frac{\rho}{n}\right).$$

Полагаем $k := k + 1$, переходим к следующей итерации.

На шаге 1 искусственный муравей для каждого клиента j назначает предприятие i с учетом вероятности, зависящей от уровня феромона и привлекательности перевозки x_{ij}, $i \in I$, $j \in J$ [3].

Необходимо отметить, что разработка алгоритма пчелиного роя потребовала существенно больших усилий, чем АМК. В алгоритмах муравьиной колонии наличие феромона значительно влияет на качество решений. В АПР такой параметр отсутствует, здесь следует специальным образом организовывать поиск в допустимой области. Применение известных разработок [5], поиск только в окрестности лучшего решения не привели к желаемым результатам, погрешность превышала 20%. Поэтому была реализована идея построения аналога «шагов назад» алгоритма имитации отжига, которые, как известно [1], позволяют выходить из локальных оптимумов. Для этого предложено использовать множества лучших и худших решений (S_1 и S_2), определены правила их построения.

Результаты вычислительного эксперимента

Для проведения экспериментальных исследований были созданы серии тестовых задач различной сложности по специальным правилам, а также на основе известных электронных библиотек OR-Library [8] и «Дискретные задачи оптимального размещения» [9]. Каждая серия содержит двадцать примеров размерности $m = n = 100$. Серия I построена с равномерным распределением, в Серии II матрица прибыли G имеет «тяжелую» диагональ, Серии III, IV и V аналогичны Gap-A, Gap-B, Gap-C библиотеки ОФ ИМ [9]. Серии VI, VII, VIII соответствуют тестам IV, VII и VIII из OR-Library. Оптимальные решения F^{Opt} найдены с помощью решателя CPLEX системы моделирования и оптимизации GAMS.

Построенные алгоритмы реализованы на языке Java. С целью их апробации проведены два этапа численных экспериментов. На первом из них подобраны параметры алгоритмов, определен вид и размер окрестностей поиска, порядок применения точных и приближенных методов решения транспортной подзадачи. На втором основном этапе выполнены экспериментальные исследования построенных алгоритмов муравьиной колонии и пчелиного роя, проведен сравнительный анализ.

Вычисления выполнялись на ЭВМ с двухъядерным процессором Intel(R) Core(TM) i5-3320M CPU с тактовой частотой 2,6 GHz , 4 Gb.

Настройка алгоритмов проводилась на Сериях I и VI, VII, VIII. По ее результатам определено максимальное количество итераций АМК и АПР, равное 100, $\tau_{\min} = 0{,}00001$, $L = 20$. Доверительные интервалы матожидания относительной погрешности $\varepsilon = \dfrac{F^{Opt} - F^{\mathrm{Rec}}}{F^{Opt}} \cdot 100\%$ алгоритма муравьиной колонии с указанными настройками и уровнем доверия 95% даны в Табл.1. Применение венгерского метода для каждого третьего запуска алгоритма искусственной пчелы уменьшает относительную погрешность до 25 раз.

Таблица 1 – Оценки математического ожидания для АМК, %.

Серия	I	VI	VIII	XIII
Интервал	[0,372;1,089]	[0,174;1,229]	[0,163;1,182]	[0,261;1,541]

На втором этапе проводился основной вычислительный эксперимент на тестовых сериях I-V. Критерий остановки – достижение максимального числа итераций. В Табл. 2 приведены минимальные $\varepsilon_{\min}$, средние ε_{av} и максимальные $\varepsilon_{\max}$ относительные погрешности предложенных алгоритмов (в %) по сравнению с CPLEX. Самыми простыми оказались примеры с «тяжелой диагональю», на всех запусках для всех тестов этой серии были найдены оптимальные решения. Наибольшую сложность доставили задачи серии Gap-B. Но и при этом максимальная погрешность составила 8,14%, а среднее время счета не превысило 3 секунд, в то время как пакет CPLEX решает эти задачи за 10, 72, 92 секунды в среднем для классов III, IV, V.

Таблица 2 – Относительная погрешность, %.

Серия	АМК			АПР		
	$\varepsilon_{\min}$	ε_{av}	$\varepsilon_{\max}$	$\varepsilon_{\min}$	ε_{av}	$\varepsilon_{\max}$
I	0,40	0,93	1,78	0,58	0,82	1,53
II	0	0	0	0	0	0
III	0,23	2,48	4,65	0,38	2,91	5,21
IV	1,21	4,56	7,35	1,94	4,92	8,14
V	0,98	3,42	5,94	0,53	3,79	6,13

Заключение

В работе рассмотрена задача размещения с ограничениями на объемы поставок и критерием на максимум. Построены и реализованы алгоритмы муравьиной колонии и пчелиного роя, выполнена настройка их параметров. Исследована возможность комбинации точного и приближенного методов. Созданы серии тестовых примеров, проведены экспериментальные исследования с их использованием. В целом, АМК и АПР показали сравнимые результаты, но алгоритм пчелиного роя требует больше усилий в процессе разработки для достижения такой же точности, что и АМК. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о целесообразности исследований в этом направлении и возможности применения алгоритмов для реальных прикладных задач.

Список литературы

1. Handbook of Metaheuristics // ed. By M. Gendreau, J.-Y. Potvin: Springer, 2010. – 648 p.
2. *Еремеев А.В.* Генетический алгоритм для задачи о покрытии. // Дискрет. анализ и исслед. операций. Сер. 2. 2000. Т. 7, № 1. С.47-60.
3. *Колоколов А.А., Леванова Т.В., Лореш М.А.* Алгоритмы муравьиной колонии для задач дискретной оптимизации: учебно-методическое пособие. Омск: ОмГУ, 2008. – 32 с.
4. *Кузьмин К.А., Нелин И.В.* Требования к механизмам использования нейросетевых технологий в задаче распознавания образов // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. №6. С. 157-160.
5. *Teodorović D, Šelmić M., Davidović T.* Bee colony optimization Part 2: The application Survey // YJOR, 2015. V.25. № 2. P. 185-219.
6. *Леванова Т.В., Долгушева Ю.В.* Разработка алгоритмов муравьиной колонии для двухкритериальной задачи планирования производства // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. №6. С. 293-297.
7. *Вознюк И.П.* Аппроксимационный алгоритм для задачи размещения на максимум с ограниченными объемами производств и поставок // Известия вузов. Математика. – 2000. – №12. С. 15–20.
8. OR-Library. http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/info.html (дата обращения: 30.11.2016).
9. Библиотека тестовых задач «Дискретные задачи оптимального размещения» http://math.nsc.ru/AP/benchmarks/ (дата обращения: 30.11.2016).

05.13.19

А.Е. Лысенко

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики,
Санкт-Петербург, XIII.2013@yandex.com

СТРУКТУРА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ СОХРАНЕНИЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА

В работе представлены результаты разработки модели управления информационной безопасностью предприятий оборонно-промышленного комплекса на основе сохранения кадрового потенциала. Рассмотрен подход к моделированию управления информационной безопасностью, основанный на принципах сохранения кадрового потенциала при воздействии на защищаемую информацию персоналом предприятия. Также рассмотрено вычисление возможности выполнения поставленной задачи при осуществлении вредоносных воздействий со стороны персонала организации.

Ключевые слова: *управление информационной безопасностью, сохранение кадрового потенциала предприятия, оборонно-промышленный комплекс.*

Различные модели управления информационной безопасностью (УИБ) представлены как в международном стандарте ISO/IEC 27001-2005 [1], так и в различных сборниках лучших практик по управлению информационными технологиями, таких как COBIT 5 [2], ITILV3 [3], SIGMA 6 [4] и т.п.Дляпостроения большей части моделей УИБ используется процессный подход. В основе данного подхода лежит рассмотрение той или иной деятельности, в данном случае – управление информационной безопасностью предприятия оборонно-промышленного комплекса, как набор взаимозависимых, как правило, непрерывных, процессов. Используя вышеуказанные источники, можно сформировать модель УИБ, принципиальным отличием которой является рассмотрение процессов УИБ на стратегическом уровне управления (Рис. 1).

Рис. 1 – Модель управления информационной безопасностью стратегического уровня управления

Под кадровым потенциалом в общем понимается возможность или вероятность выполнить предприятием поставленные перед ним задачи при наличии внешних и внутренних воздействий на его персонал. В рамках управления информационной безопасностью под кадровым потенциалом будем понимать возможность или вероятность осуществления обработки защищаемой информации ключевым персоналом и с учетом влияния всего персонала предприятия на обрабатываемую информацию и на ключевой персонал. Ключевой персонал – персонал обрабатывающий защищаемую информацию, а также осуществляющий обеспечение и управление информационной безопасностью предприятия.

Рассматривая модель УИБ стратегического уровня, под каждым ее элементом понимается деятельность или процесс стратегического уровня управления. Учитывая, что управление информационной безопасностью, впрочем, как и управление любой другой деятельностью состоит как минимум из трех уровней – стратегического, тактического и оперативного, рассмотрим процесс «Организация обработки защищаемой информации» на тактическом уровне управления.

Тактический уровень управления, как более низкий, обладает совершенно конкретными элементами, такими как субъекты и объекты управления. Также необходимо определить связи или направления влияния воздействия между субъектами и объектами управления. Так как акцент в данной работе делается на персонал предприятия, то и активными субъектами управления, то есть оказывающими как непосредственное, так и косвенное (через неактивные субъекты) влияние, будет исключительно персонал.

Модель УИБ тактического уровня можно представить в виде схемы объектов и субъектов, и соответствующих процессов. Особенности модели тактического уровня заключаются в следующем: во-первых, в зависимости от процессов тактического уровня некоторые субъекты управления могут выступать одновременно и как объекты управления по отношению к другим субъектам, тоже и для объектов.Во-вторых, каждый процесс тактического уровня состоит из набора процессов реализаций воздействий на объект – процессов оперативного уровня.

Процесс «Организация обработки защищаемой информации», в прочем, как и любой другой процесс стратегического уровня, имеет свою конкретную и определенную цель. В данном случае это – сама обработка защищаемой информации. Исходя из цели определяется первоначальный объект управления – защищаемая информация, и процессы, воздействующие на данный объект. После чего определяются субъекты, реализующие данные воздействия. Таким образом получаем модель УИБ тактического уровня. Данная модель на примере процесса «Организация обработки защищаемой информации» представлена на рис. 2.

На рис.2 сплошными линиями соответствующего цвета указано непосредственное воздействие – процесс тактического уровня, соответствующего цвета субъекта на объекты управления. Пунктирными линиями черного цвета указано косвенное воздействие на объект управления. Косвенное воздействие выражается продолжением воздействия некоторого субъекта с использованием функций и процессов другого субъекта. Соответственно некоторые такие субъекты кроме косвенных имеют еще и непосредственные воздействия.

На оперативном уровне управления рассматривается пара субъект-объект и процессы воздействия субъекта на объект. Причем возможно рассматривать связку субъект-объект не только по непосредственным воздействиям, но и по косвенным. Для каждой такой пары происходит вычисление возможности реализации задачи. Рассмотрим пример воздействия субъекта управления «Персонал обработки защищаемой информации» на объект управления «Защищаемую информацию». Рассматриваемый субъект управления может оказывать различные воздействия (процессы), например, создание, удаление и т.п. В примере рассмотрим процесс создания защищаемой информации (рис.3), используя математическую модель [5].

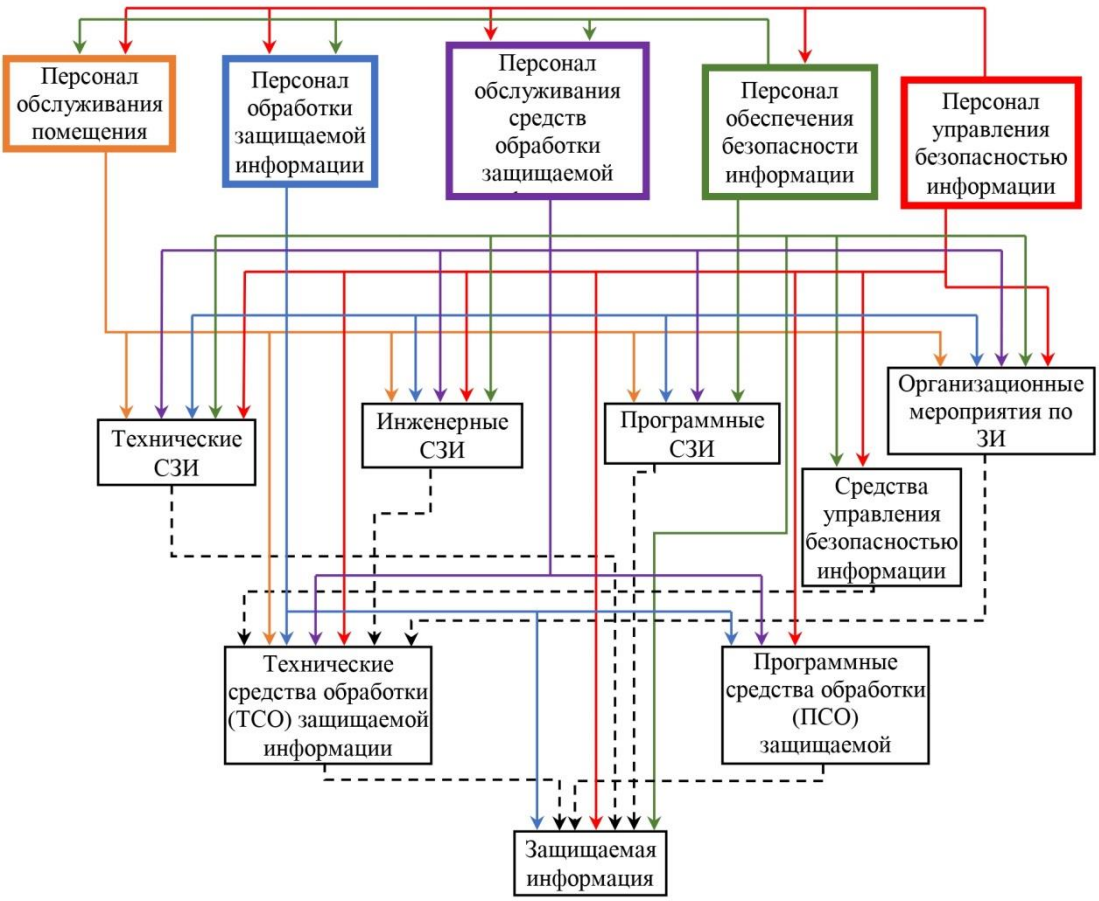


Рис.2 – Модель управления информационной безопасностью тактического уровня управления на основе сохранения кадрового потенциала

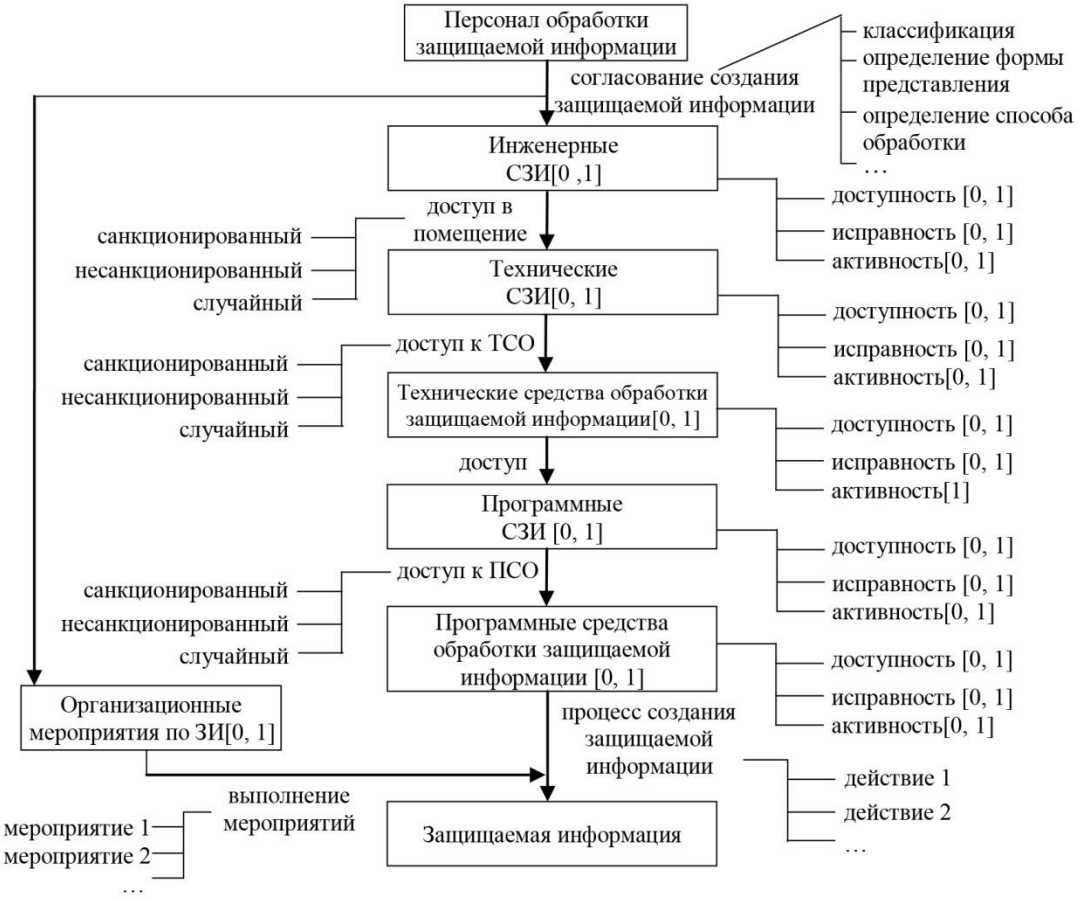


Рис. 3 – Процесс оперативного уровня управления «создание защищаемой информации»

Как видно из рис. 3, процесс «создание защищаемой информации» инициируется субъектом управления «персонал обработки защищаемой информации» и проходит с последовательным и параллельным участием других субъектов управления и их процессов (подпроцессов). Каждый подпроцесс и объект управления, на который осуществляется воздействие, обладает собственным набором функций, успешное выполнение которых также влияет на успешное осуществление дальнейших подпроцессов.

Таким образом возможность выполнения поставленной задачи (процесса) зависит от успеха проверки функций объектов и подпроцессов, участвующих в нем. Если положить, что для успешного выполнения задачи необходимо чтобы все указанные выше компоненты были успешными, то есть все средства защиты и обработки были на месте, исправны, включены и выполняли свои функции успешно, то вероятность успешного выполнения поставленной задачи будет 0,1. Данная вероятность получена исходя из качественной оценки успеха выполнения всеми шестью объектами управления и четырьмя процессами безопасности своих функций. Соответственно при выходе из строя одного из этих элементов, выполнение задачи невозможно.

Поскольку на практике такая ситуация приводит к выполнению поставленной задачи с нарушением требований безопасности, возникает необходимость количественной оценки такой вероятности. Для расчета такой оценки воспользуемся аддитивным методом:

$$P_{\text{пр}} = \frac{\sum_{O=1}^{N_O} A_O P_O (P_{\text{дост}} P_{\text{испр}} P_{\text{актив}})}{N_O} + \frac{\sum_{\text{ППР}=1}^{N_{\text{ппр}}} A_{\text{ппр}} P_{\text{ппр}} (P_{F\text{ппр}1}, P_{F\text{ппр}2}, \ldots)}{N_{\text{ппр}}},$$

где $P_{\text{пр}}$ – вероятность выполнения поставленной задачи (процесса), О – объект управления, ППР – подпроцесс управления,N_oи$N_{\text{ппр}}$–количество объектов и подпроцессов управления, участвующих в процессе, соответственно, A_oи $A_{\text{ппр}}$ – важность объектов и подпроцессов соответственно, P_o и $P_{\text{ппр}}$– вероятность успешного выполнения функций объекта и процесса соответственно, $P_{\text{дост}}$, $P_{\text{испр}}$, $P_{\text{актив}}$ – вероятность успешной реализации функции доступности, исправности и активности объекта управления, $P_{F\text{ппр}1}$, $P_{F\text{ппр}2}$ – вероятность успешной реализации функции подпроцесса управления.A_oи $A_{\text{ппр}}$ могут быть получены как зависимости от некоторых параметров, так и экспертными методами. $P_{\text{дост}}$, $P_{\text{испр}}$, $P_{\text{актив}}$, $P_{F\text{ппр}1}$, $P_{F\text{ппр}2}$ вычисляются по аналогичной формуле для соответствующих объектов и процессов.

Данная вероятность по сути может быть принята как показатель защищенности информации при осуществлении на нее воздействий.

Список литературы

1. ISO/IEC 27001:2005. Informationtechnology – Informationtechniques – Informationsecuritymanagementsystems – Requirements. – 17 с.
2. COBIT 5: Бизнес-модель по руководству и управлению ИТ на предприятии, ISACA, 2012. – 94 с.
3. *Alison Cartlidge, Ashley Hanna, Colin Rudd* AnIntroductoryOverviewofITILV3, TheUKChapteroftheitSMF, 2007. – 56 с.
4. *Peter T. Davis, William Bentley* Lean six sigma secrets for the CIO, CRC Press Taylor & Francis Group, 2010. – 284 с.
5. *Жигулин Г.П., Лысенко А.Е* Логико-математическая модель оперативного уровня управления информационной безопасностью на основе процессного подхода конструкторского предприятия оборонно-промышленного комплекса, Научно-технический вестник Поволжья. №6 2015г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2015. – 242с.

05.13.19

И.Ю. Попов, А.Д. Наумов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»,
Санкт-Петербург, ilyapopov27@gmail.com, adnaumov@corp.ifmo.ru

МЕТОД ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ТРЕБОВАНИЯМ РЕГУЛЯТОРА

Предлагается метод оценки соответствия обеспечения безопасности ПДн в ИСПДн согласно требованиям регулятора. Метод обеспечивает поэтапную проверку имеющейся ИСПДн на наличие ошибок при проектировании безопасности ИСПДн. Данная методика может применяется при разработке автоматизированных систем аудита ИСПДн.

Ключевые слова: *информационная система персональных данных, персональные данные, оценка соответствия, экспертная система, информационная безопасность.*

Введение. В настоящее время установление определенного режима защиты персональных данных (далее – ПДн) представляется весьма актуальным [1]. В 2013 году вступило в силу Постановление Правительства РФ N 1119 «Об утверждении требований к защите ПДн» (далее – ПП N 1119). При создании соответствующих информационных систем обработки и хранения ПДн (далее – ИСПДн) оператору следует предпринимать меры по предотвращению угроз от несанкционированного доступа, в том числе и по техническим каналам, а также от специальных воздействий на такую информацию в целях ее уничтожения, искажения или блокирования доступа к ней. Основные мероприятия, направленные на оценку защищенности, являются сложными, объединяющими множество факторов, при оценке которых стоит учитывать множество рисков и угроз безопасности ИСПДн [2]. В большинстве случаев операторы ИСПДн пренебрегают требованиями регуляторов [3]. Согласно исследованию [4] в РФ после ввода новых требований в 2.2 раза выше случаи утечки ПДн, чем в 2012 году. Разработанные методики аудита на сегодняшний день являются не актуальными. В связи с этим, для выполнения процедуры оценки защищенности ИСПДн необходимо разработать новые методы и алгоритмы, применение которых, позволит оценить защищённость готовой ИСПДн и спроектировать новую с минимальными угрозами и рисками для организации при обработке ПДн. Целью данной статьи является разработка метода оценки соответствия обеспечения безопасности ПДн в ИСПДн требованиям регулятора для последующего применения при разработке экспертных систем (далее – ЭС) и автоматизированных систем.

Описание метода. Под оценкой соответствия понимается выполненные обязательных мероприятий и требований согласно нормативным актам РФ в области защиты ПДн. Осуществляется проверка разработанной ИСПДн, осуществляющую автоматизированную обработку ПДн. Разработанный метод включает в себя пять этапов проверки. Для наглядности проиллюстрирована на рисунке 1. Расчет оценки соответствия осуществляется в пять этапов. Оценка высчитывается путем подсчета суммы пройденных этапов, после оценка дифференцируется: $C = k_1 * (k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5)$, где C – это сумма оценок пройденных этапов, k_n – оценка пройденного этапа проверки.

Первый этап. Для проверки уровня защищенности (далее – УЗ) на вход системы подаются параметры, необходимые для того, чтобы ЭС был установлен УЗ, на вход подаются следующие параметры: тип актуальных угрозы, категория обрабатываемых данных, число обрабатываемых субъектов, обработка ПДн сотрудников; УЗ, определенный оператором [5]. После этого происходит сравнение значения УЗ определенный оператором с выходными данными системы. Если значения совпадают, то происходит дальнейшая

проверка ИСПДн. В случае, если этап не пройден, то проверка дальше не продолжается, оценка соответствия «0»: $k_1 = \begin{cases} \frac{Up}{Uo} = 1 \ \rightarrow k_1 = 1 \\ \frac{Up}{Uo} \neq 1 \ \rightarrow k_1 = 0 \end{cases}$, где Up – УЗ, определенный оператором, Uo – УЗ, определенный ЭС.

Второй этап. При успешном прохождении первого этапа проверки, необходимо проверить ИСПДн на выполнение обязательных требования по защищенности в соответствии с П. Расчет оценки происходит исходя из выполнения тех или иных требований. При выполнении параметру U присваивается значение «1», в противном случае присваивается значение «0»: $k_2 = \frac{U_1 + \cdots + U_n}{n}$, где U_n – обязательное к выполнению мероприятие.

Третий этап: проверка выполнения организационных и технических меры по обеспечению безопасности ПД. Как и во втором этапе проверки, в зависимости от УЗ, проверяется выполнение требований 17 или 21 приказа ФСТЭК. Расчет оценки происходит аналогично второму этапу: $k_3 = \frac{U_1 + \cdots + U_n}{n}$.

Четвертый этап: Средства защиты информации (далее – СЗИ) проранжированы по классам в зависимости от УЗ, наличия подключения к глобальной сети интернет, а также зависимость актуальных угроз безопасности ИСПДн. Расчет оценки происходит исходя из правильности выбора сертификата СЗИ согласно требованиям регулятора. При правильном выборе сертификата, параметру U присваивается значение «1», в противном случае присваивается значение «0»: $k_4 = \frac{U_1 + \cdots + U_5}{5}$.

Пятый этап. В зависимости от УЗ и типа актуальной угроз происходит проверка правильности выбора класса средств криптографической защиты информации (далее – СКЗИ). На данный момент есть 6 классов СКЗИ: КС1, КС2, КС3, КВ1, КВ2, КА1: $k_5 = \begin{cases} \frac{Sk}{Sk_0} = 1 \ \rightarrow k_5 = 1 \\ \frac{Sk}{Sk_0} \neq 1 \ \rightarrow k_5 = 0 \end{cases}$, где Sk – введенный пользователем класс СКЗИ, Sk_0 – класс СКЗИ, определенный ЭС. Оценки дифференцированные, перевод оценок представлен в таблице.

Таблица– Оценки соответствия

Сумма оценок соответствия C	Дифференцированная оценка соответствия
0-4	Низкая
4,1-4,9	Средняя
5	Высокая

Выходными данными, после проведения проверки, является оценка соответствия и список мер, необходимых для повышения оценки соответствия.

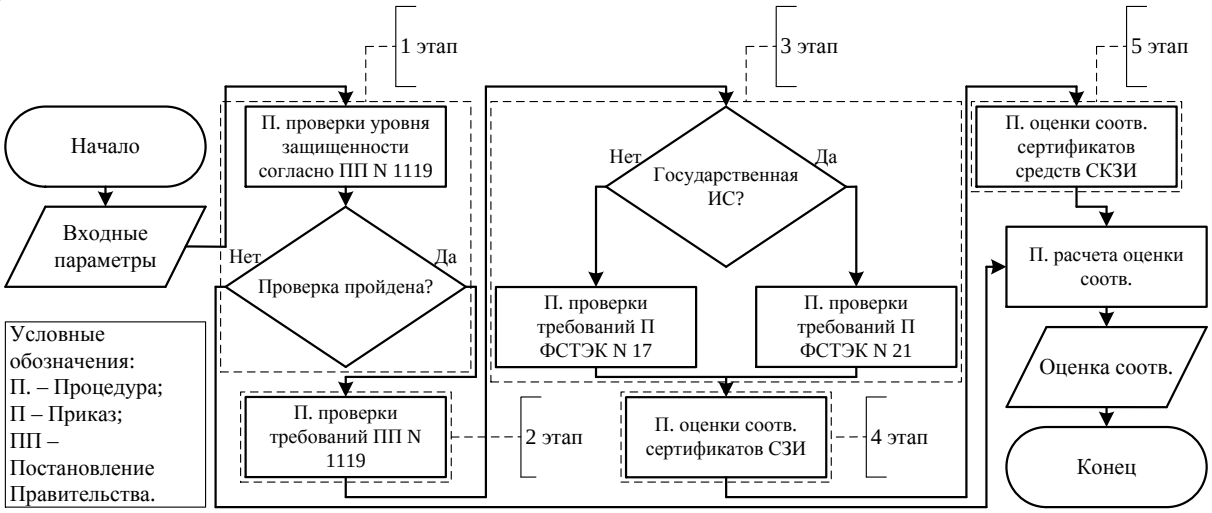


Рис. 1– Метод оценки соответствия

Реализация ЭС на основе разработанного метода. Для разработки ЭС выбрана продукционная модель представления знаний. Для программной реализации использовалась оболочка ЭС Drools. Опытная эксплуатация проводилась на автоматизированных системах в отделе кадров, предприятия, в котором обрабатываются ПДн сотрудников: ФИО, а также паспортные данные. После проведенной опытной эксплуатации была проведена статистика ошибок безопасности исследованных ИСПДн в виде диаграммы (рис. 2). Исследование показало, что самыми распространёнными ошибками спроектированных ИСПДн является неправильный выбор СЗИ, а также на предприятии не были установлены СКЗИ [6].

Рис. 2– Статистика проведенной опытной эксплуатации

Заключение. Предложенный метод способен выявить проблемы в спроектированной ИСПДн и получить оценку соответствия согласно требованиям проверяющих организаций. Данный метод будет полезен для полезен для специалистов, осуществляющих аудит защиты ПДн с целью обоснования необходимости создания (модернизации) системы защиты ПДн.

Список литературы

1. *Фомичева И.В.* Перспективы использования российских средств защиты информации в инфраструктурных отраслях / И.В. Фомичева, В.Г. Архангельский, В.Н. Труфанов // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2013. – №. 3-1. – С. 177-187.

2. *Savelyev A.* Russia's new personal data localization regulations: A step forward or a self-imposed sanction? // Computer Law & Security Review, volume 32-1. – 2016. – P. 128-145.

3. *Коробейников, А.Г.* Актуальность аудита безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах образовательных учреждений / А.Г. Коробейников, А.Г. Краснов // Сборник докладов II научно-практической конференции молодых ученых. – 2010. – С. 112-115.

4. Безопасность персональных данных в России в 2013 году. Статистика утечек. Отраслевые особенности // Аналитический Центр InfoWatch [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.infowatch.ru/sites/default/files/report/analytics/russ/infowatch_report_pdsecurity_russia_2013.pdf, свободный (дата обращения: 20. 11.2016).

5. *Малкиев М.* Как определить уровень защищенности информационных систем // СКБ Контур. Журнал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kontur.ru/articles/1940, свободный (дата обращения: 20.11.2016).

6. *Попов И.Ю.* Разработка экспертной системы для оценки защищенности персональных данных в компьютерных системах / И.Ю. Попов // Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 7-10 апреля 2015 г.). – 2015. – С. 323-325.

05.13.01

А.В. Супруненко

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева,
Институт радиоэлектроники и информационных технологий,
кафедра Вычислительные системы и технологии,
Нижний Новгород, suprunenco@gmail.com

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ВЕБ-КОНТЕНТА НА ОСНОВЕ ИГРОВОГО ПОДХОДА

Разработана игровая модель многоагентной сети доверия и алгоритм классификации источников веб-контента на её основе.

Ключевые слова: *классификация контента, фильтрация контента, сеть доверия, репутация, бескоалиционная игра.*

Введение

Интернет сегодня стал неотъемлемой частью деятельности человека. По данным портала Internet Live Stats, за последние 10 лет количество интернет-пользователей в мире увеличилось в 3 раза и превысило 3 млрд., а количество интернет-сайтов в сети достигло 1 млрд. Чаще всего содержание сайтов (текстовые и мультимедийные данные — веб-контент) определяется их владельцами или администраторами, не рецензируется и не подвергается цензуре, в том числе законодательной. В связи с активным развитием мобильных устройств с доступом в сеть, всё чаще посетителями интернета становятся дети. От негативного влияния информации хотят оградить себя и взрослые интернет-пользователи. В связи с этим актуальной является проблема ограничения доступа к ресурсам, содержащим информацию, не предназначенную для определённых категорий населения.

Для решения данной проблемы используется специализированное программное обеспечение, осуществляющее фильтрацию доступа к источникам веб-контента. В основе большинства таких программных комплексов лежит информация о принадлежности источников веб-контента к тому или иному классу. От качества этой информации напрямую зависит эффективность фильтрации. Поэтому задача классификации веб-контента является актуальной для развития программных решений фильтрации доступа в интернет.

Базовая модель

В существующих программных реализациях чаще всего используются базы данных с информацией о классифицированных источниках веб-контента, администрируемые компанией-разработчиком программного обеспечения или администратором. Альтернативным подходом к решению задачи классификации источников веб-контента является наполнение базы данных силами интернет-сообщества, объединённого в сеть доверия. Один из способов описания и формализации сетей доверия заключается в использовании игрового подхода. Использование элементов теории игр для описания взаимодействия агентов в сетях доверия позволяет количественно оценить мотивацию агентов сети и определить устойчивость результата её работы. Таким образом, исследование сетей доверия на основе игровых моделей является актуальной задачей и необходимо для эффективного построения систем классификации, использующих многоагентные сети.

Для классификации источников веб-контента используется многоагентная сеть доверия [1], представляющая собой онлайн-сообщество агентов (пользователей и автоматизированных систем). В результате работы сети каждому источнику веб-контента, ставится в соответствие оценка принадлежности к определённому классу (возрастным, тематическим, отраслевым и другим группам). Процесс классификации источников веб-контента можно описать с использованием игрового подхода.

Игрой в математической теории игр называется математическая модель конфликтной ситуации, в которой участвуют несколько сторон, называемых игроками. Каждый игрок подчиняется правилам игры, которые определяют множество возможных ходов игрока, называемых стратегиями, а также исход игры, выраженный через функцию выигрыша. Игра, в которой игроки совершают ходы (принимают решения) независимо друг от друга, называется бескоалиционной (некооперативной) игрой, или игрой в нормальной форме.

Игра в нормальной форме задаётся тройкой:

$$\Gamma_N = \langle A;\ X;\ H \rangle, \text{ где}$$

A — множество игроков;

X — множество стратегий игроков;

H — функции выигрышей.

Каждый достигнутый исход игры называется раундом.

Если игроки полностью осведомлены о действиях друг друга, то имеет место игра с полной информацией, в противном случае — игра с неполной информацией.

Игра, имеющая больше одного раунда, называется повторяющейся. Она характеризуется длительностью (с конечным числом ходов, бесконечная), доступностью информации о предыдущих ходах противников и возможностью корректировать собственные стратегии.

Многоагентную сеть доверия, описанную выше, предлагается представлять в виде игровой модели, в которой:

- Каждому раунду игры соответствует процесс определения итоговой оценки (классификации) источника веб-контента.
- Игроками являются агенты сети доверия, участвующие в оценке источника веб-контента.
- Стратегиям игроков соответствует выбор оценки агентом.
- Значением функции выигрыша является величина изменения значения репутации агента.

Описанная игра имеет следующие правила:

Правило 1. Игроки не знают о количестве других игроков и о ходах, сделанных другими игроками;

Правило 2. Ход игрока означает выбор им одной из стратегий (оценок источника веб-контента);

Правило 3. Выигрышной стратегией считается та, которую выбрали игроки, обладающие наибольшей суммой значений их репутации.

Правило 4. После определения выигрышной стратегии каждый игрок получает новое значение репутации — выигрыш.

Случай, когда агенты сети доверия могут изменить свои оценки можно считать повторяющейся игрой с неполной информацией.

Методика

В процессе классификации для каждого источника веб-контента по каждой из категорий необходимо последовательное выполнение следующих действий:

1. В сети доверия выбираются m игроков ($m \leq n$), образующих подмножество игроков A^*, участвующих в оценке источника веб-контента: $A^* = \{a_1, a_2, \ldots, a_m\}$, $A^* \subseteq A$. Каждый из игроков имеет значение репутации r_i, $i = \overline{1, m}$.

2. Каждый из m игроков оценивает источник веб-контента, выбирая одну оценку из множества X. Сделанные игроками оценки можно записать в виде матрицы V размера $2 \times k$, где в первой строке указываются оценки — элементы множества X, а во второй строке — суммы значений репутаций R_{x_i} игроков, выбравших соответствующую оценку:

$$V = \begin{pmatrix} x_1 & \ldots & x_k \\ R_{x_1} & \ldots & R_{x_k} \end{pmatrix}$$

3. На основании сделанных игроками оценок определяется итоговая оценка источника веб-контента x^* как оценка, которую выбрали игроки, обладающие максимальной суммарной репутацией: элемент первой строки матрицы V, находящийся в столбце,

содержащем максимальное значение во второй строке, т. е.

$$x^* = x_i : \max_{r_i}\{x_i\}$$

4. На основании выбранной итоговой оценки множество игроков A^* разделяется на два подмножества:

A^+ — подмножество игроков, чья оценка совпала с итоговой оценкой, $A^+ \subseteq A^*$,

A^- — подмножество игроков, чья оценка не совпала с итоговой оценкой, $A^- \subset A^*$, при этом $A^+ \cap A^- = \emptyset$.

Для каждого из подмножеств игроков новые значения репутации рассчитываются следующим образом:

$$r^* = r_0 + \frac{R^- \cdot r_0}{m \cdot R},$$

для игроков, чьи оценки совпали с совокупной оценкой,

$$r^* = r_0 - \frac{R^+ \cdot r_0}{m \cdot R},$$

для игроков, чьи оценки не совпали с совокупной оценкой, где

r^* — скорректированное значение репутации игрока сети доверия;

r_0 — текущее значение репутации игрока сети доверия;

R^- — сумма значений репутаций игроков, чьи оценки не совпали с итоговой оценкой;

R^+ — сумма значений репутаций игроков, чьи оценки совпали с итоговой оценкой;

$R = \sum_{i=1}^{m} r_i$ — сумма значений репутаций игроков, участвующих в оценке.

Таким образом, в следующих процессах определения итоговой оценки источника веб-контента мнение игроков, чьи оценки совпали с итоговой, будет учтено в большей степени, а тех, чьи оценки не совпали с итоговой, — в меньшей.

Выбор игроками таких оценок, при которых значение их функции выигрыша максимальны (оценок, совпадающих с итоговой оценкой) для описанной игровой модели будет являться равновесием по Нэшу. Описанная игра всегда имеет определённое количество равновесий по Нэшу, равное количеству элементов множества стратегий игроков. Равновесные ситуации возникают при одновременном выборе всеми игроками одной и той же (выигрышной) стратегии.

Полученные результаты

Для предложенной модели определены три свойства устойчивости равновесия по Нэшу [2]: (ε, t)-иммунное, (ε, t)-толерантное и (ε, t)-коалиционное равновесие. Смоделирована атака на сеть доверия.

На основе описанной модели реализована и апробирована система фильтрации контента «Этикум» [3].

Список литературы

1. *Супруненко А. В.* Способ экспертной оценки с использованием сети репутации для решения задачи классификации веб-контента [Текст] / А. В. Супруненко // Журнал «Искусственный интеллект и принятие решений». — Институт системного анализа РАН, Москва — 2016. — № 3, с. 72–76

2. *Gradwohl R., Reingold O.* Fault tolerance in large games // Proceedings of the 9th ACM Conference on Electronic Commerce. — ACM, 2008. — p. 274–283.

3. *Супруненко А. В.* Об итогах пилотной апробации системы фильтрации контента «Этикум» [Текст] / Л. А. Шевцова, А. В. Супруненко // Материалы международной научно-практической интернет-конференции «Актуальные проблемы методики обучения информатике в современной школе», 16-17 февраля 2016 г. — Москва: МПГУ, 2016. — с. 253–256.

05.13.01

А.С. Федосин

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, nsdfxela@gmail.com

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ О ПОТРЕБЛЕНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

В статье описан алгоритм извлечения знаний из регрессионных моделей. Данный алгоритм относится к группе алгоритмов «черного ящика» и представляет извлеченные знания в виде набора продукционных правил. В работе описано применения данного алгоритма к задаче извлечения знаний из регрессионных моделей потребления электроэнергии в многоквартирных жилых домах.

Ключевые слова: *извлечение знаний, регрессионная модель, потребление электроэнергии, SVR.*

Тенденция все более широкого распространения систем автоматизированного контроля и учета электроэнергии в сфере ЖКХ приводит к достаточно быстрому накоплению данных. Помимо коммерческого и технического учета эти данные могут быть использованы для поиска скрытых закономерностей потребления энергоресурсов с целью аналитической поддержки принятия решений в области энергоэффективности. В публикациях зарубежных ученых это направление получило название “Data driven energy efficiency”. В отечественных работах эта тематика, к сожалению, пока не получила должного освещения.

В рамках данного исследования проводилась серия вычислительных экспериментов по обучению регрессионных моделей на основе массива данных о потреблении электроэнергии в группе из 50 многоквартирных домов г. Саранска. Набор данных сформирован на базе сведений биллинговой системы ООО «Саранский расчетный центр» и показаний системы АСКУЭ за 2014 год. Данные детализированы до величины объема электроэнергии, потребляемой отдельной квартирой в конкретный день (т.е. имеется 365 значений для каждой квартиры каждого дома). Кроме того, включены признаки, характеризующие квартиру (площадь, число комнат), состав жильцов квартиры (число зарегистрированных, средний возраст, наличие льготников), особенности многоквартирного дома (тип фундамента, тип стен, тип крыши, год постройки) климатические факторы (длина светового дня и среднесуточная температура).

Для построения модели использована регрессия на основе метода опорных векторов (SVM) [1]. В этом контексте мы рассматриваем обучающую выборку $\{(x_1,y_1),\dots(x_1,y_1)\} \subset \chi \times \mathbb{R}$, где χ определяет пространство входных значений. Задача ε-SV – регрессии состоит в нахождении функции f(x), которая:

1) не считает за ошибки отклонения от y_i, меньшие некоторого значения ε для всей обучающей выборки

2) при этом является наименее чувствительной к различного рода искажениям и ошибкам, имеющим место во входных данных.

По аналогии с SVM-классификацией, при решении задачи регрессии прибегают к использованию ядер. В рамках описываемого исследования использованы SVR-модели с радиально-базисными ядрами (RBF): $K(x_i,x_j) = \exp(-\gamma\|x_i - x_j\|^2), \gamma > 0$.

При обучении SVR-моделей с радиально базисным ядром мы имеем дело с двумя гиперпараметрами C и γ. Их значения определяют баланс между смещением и дисперсией предсказанных значений. Значения гиперпараметров в рамках данного исследования получаются при помощи сеточного поиска [1].

Для оценивания объясняющей способности модели использован коэффициент детерминации R^2:

$$R^2 = 1 - \frac{V(y|x)}{V(y)} = 1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_y^2}$$

Для наилучшей из моделей результат составил R^2= 0,753 при значениях $\gamma = 0.0625$ и $C = 4$.

Несмотря на то, что SVR является достаточно хорошим алгоритмом, он работает по принципу «черного ящика». Для того чтобы представить знания, которые содержатся в модели, потребуется применение специального метода [2].

В данной работе представлен алгоритм продукционного представления знаний для многофакторных регрессионных моделей, основанный на инкрементном приращении гиперкубов из заранее заданного множества в N-мерном пространстве, где N-число объясняющих переменных в исходной регрессионной модели.

На первом этапе работы алгоритма инициализируется массив гиперкубов, причем длина массива определяется соответствующим входным параметром. Для каждого из гиперкубов определяется потенциально доступное в каждом из направлений пространство для приращения. Это пространство определяется или входным параметром, или расстоянием до ближайшего гиперкуба, если оно меньше значения параметра. Для каждого из гиперкубов в каждом из измерений создаются 2 временных гиперкуба, располагающихся в «нижней» и «верхней» гиперплоскостях относительно родительского куба. Для каждого из временных гиперкубов с использованием регрессионной модели определяются средние значения переменной отклика. Для этого в области рассматриваемого гиперкуба генерируется некоторое количество случайных точек. Результат вычисляется как среднее от значений переменной отклика для данных точек. Далее среди всех «временных» гиперкубов определятся тот, у которого рассчитанное среднее отличается от среднего для родительского куба на наименьшую величину. Если эта величина превышает заданное пороговое значение T, то в множество гиперкубов добавляется выбранный временный гиперкуб. Если же эта величина меньше T, то родительский гиперкуб увеличивается за счет выбранного гиперкуба, и процедура повторяется снова до тех пор, пока все рассматриваемое пространство не будет заполнено гиперкубами.

Входные параметры алгоритма выглядят следующим образом:

NHypercube.calc (Dim, L, Step, N, I, M, T)

- Вход: *Dim* - число измерений пространства, на котором рассматривается регрессионная задача, *L* - область определения функции f, *Step* - заданная величина максимального прироста гиперкуба на итерации, *N*- число гиперкубов, *I* - начальный размер гиперкубов, *M*- регрессионная модель, представленная как $y = f(x) + v$, где f - функция регрессионной зависимости, а v - аддитивная случайная величина с нулевым матожиданием, T-threshold, пороговое значение среднего, достижение которого являющееся условием добавление еще одного гиперкуба. Все исходные признаки должны быть приведены к единому масштабу.
- Выход: множество из непересекающихся N гиперкубов, у которых множество вершин $V \in L$ и для вершин любого измерения $\{V_d\colon\ d \in [1, Dim]\}$ выполняется условие: $\max(V_d) = \max(L_d)$

Продукционные правила, которые являются результатом работы алгоритма, могут иметь следующий вид:

Если {средний возраст жильцов}> 42
И {средний возраст жильцов}< 50
И {площадь квартиры} > 33.0 И {площадь квартиры} < 42.0
И {тип стен МКД} = железо-бетонные …
И {среднесуточная температура} < 20.0 , ТО предсказать 1.50 кВт/ч

В таблице 1 представлены результаты формирования наборов продукционных правил для модели потребления электроэнергии, рассмотренной выше в данной статье. Все исходные признаки приведены к масштабу [1, 100]. Заметно, что при увеличении числа заданных гиперкубов набор продукционных правил становится более адекватным исходной модели (при не заданном пороговом значении T). В то же время, при заданном T коэффициент R^2 достигает максимальных значений. Число и расположение гиперкубов при этом фактически определяется данными, причем чем ниже значение T, тем чаще алгоритм будет добавлять в исходное множество новый гиперкуб, тем более точный набор продукционных правил мы получаем в итоге. Вместе с тем, нельзя забывать, что большое число продукционных правил, полученное в результате, фактически не упрощает интерпретацию данных, а значит, не решает конечной задачи, которой является извлечение знаний и представление их в доступной форме. В конечном итоге нас интересует именно баланс между разумным числом правил продукционной модели и адекватностью этого набора исходной регрессионной модели

Влияет на объясняющую способность полученных наборов правил и параметр шага прироста гиперкубов: чем меньше эта величина, тем меньше часть гиперпространства, рассматриваемая на каждой итерации, а значит, точнее оценки среднего дня переменной отклика.

Представленный алгоритм и методология интеллектуального анализа данных могут успешно применяться для информационно-аналитической поддержки принятия решений в области энергоэффективности многоквартирных домов. Прежде всего данные инструменты могут быть использованы для оценки потенциала энергосбережения, а также энергетического бенчмаркинга (сопоставительного анализа на основе эталонных показателей).

Таблица 1 — Результаты экспериментов по формированию продукционных правил на основе SVR-модели для группы из 50 многоквартирных домов

Число гиперкубов (изначальное)	Шаг прироста	Значение коэффициента детерминации		
		T не задано	T=10	T=3
4	1	0,227	0,751	0.828
12	1	0,598		
20	1	0,621		
4	5	0,220	0,704	0.796
12	5	0,502		
20	5	0,523		

Список литературы

1. *Федосин А.С.* Регрессионная модель потребления электроэнергии восходящего типа // Фундаментальные исследования. – 2015. – №9-3. – С. 522-527.

2. *Andrews R., Diederich J., Tickle A.B.* A Survey and Critique of Techniques For Extracting Rules From Trained Artificial Neural Networks // Knowledge-Based Systems, Vol. 8, No. 6, Dec 1995. – P. 373-389.

05.13.00

В.А. Франц

Донской государственный технический университет, факультет транспорта и технологии, кафедра радиоэлектронных и электротехнических систем и комплексов, Шахты, degobyt@gmail.com

СЛЕПАЯ МЕТРИКА ВИЗУАЛЬНОГО КАЧЕСТВА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В работе представлена новая метрика визуального качества видеоизображений, ориентированная на использование в составе систем кодирования изображений с потерями. Высокий уровень соответствия результатов численной оценки субъективно-воспринимаемому уровню качества достигается путем использования сверточной нейронной сети, обученной на большом объеме пар видеоизображение–субъективная оценка.

Ключевые слова: *сжатие с потерями, визуальное качество, машинное обучение.*

Объем передаваемой по сетям связи видеоинформации постоянно растет. Увеличение требований к визуальному качеству передаваемых по каналам связи видеоизображений создает ситуацию, когда существующие подходы к сжатию видеоинформации с потерями не позволяют обеспечить соблюдение требований при использовании существующих каналов связи. Одним из возможных путей решения проблемы является повышение эффективности методов сжатия видеоинформации с потерями при сохранении визуального качества.

На настоящий момент предложен ряд методов кодирования видеопоследовательностей с использованием методов синтеза статических и динамических текстур [1-2]. К сожалению, используемая в практически-реализованных видеокодерах организация процесса кодирования видео не позволяет использовать предложенные эффективные методы. Это связано с использованием таким критериев уровня искажений как среднеквадратичная ошибка (MSE) и пиковое соотношение сигнал-шум (PSNR), не обеспечивающими высокий уровень соответствия субъективно-воспринимаемому визуальному качеству. В связи с этим, **актуальной** является разработка объективного метода оценки визуального качества на основе машинного обучения с высоким уровнем соответствия субъективным оценкам. **Целью работы** является повышение уровня соответствия результатов объективной оценки качества видеоизображений, субъективно воспринимаемому качеству за счет использования методов машинного обучения.

Под объективной метрикой визуального качества понимают отображение из пространства видеоизображений V в пространство оценок качества $q: V \to [1,\ldots,5]$. Оценка визуального качества является действительным числом из диапазона от 1 до 5. Объективная метрика строится таким образом, чтобы удовлетворить следующим ограничениям: значение оценки качества 1 соответствует очень плохому визуальному качеству, 2 – плохому, 3 – приемлемому, 4 – хорошему, 5 – отличному. На рисунке 1 проиллюстрирована процедура получения объективной оценки качества для исходной видеопоследовательности, согласно предложенному методу.

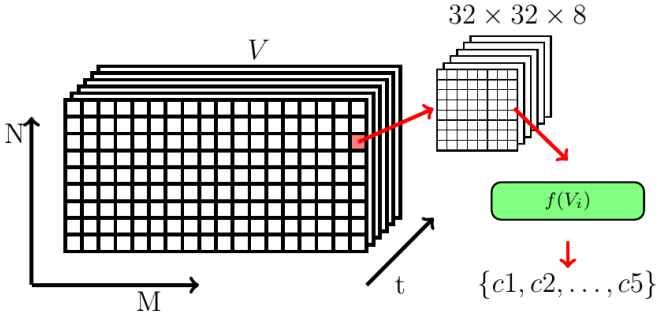


Рисунок 1. Оценка визуального качества видеоизображения

Видеопоследовательность $\upsilon \in V$, $\mathrm{V}:\Omega \subset \{1,\ldots,\mathrm{N}\}\times\{1,\ldots,\mathrm{M}\}\times\{1,\ldots,\mathrm{L}\} \to \mathrm{R}$ – последовательность изображений размера $N \times M$, содержащая L кадров. Видеопоследовательность разбивается на набор непересекающихся блоков v_i размером $32\times32\times8$. Оценка визуального качества $q(v)$ вычисляется, как линейная комбинация оценок качества для отдельных блоков.

$$q(v) = \frac{1}{N_b}\sum_{i=1}^{N_b} f(v_i)\,.$$

Здесь N_b общее число блоков в заданной видеопоследовательности, $f(x) \in \{1,2,3,4,5\}$ представляет собой оценку визуального качества для i–го блока. Функция $f(x)$ решает задачу классификации с использованием сверточной нейронной сети. Общая структура сети представлена на рисунке 2.

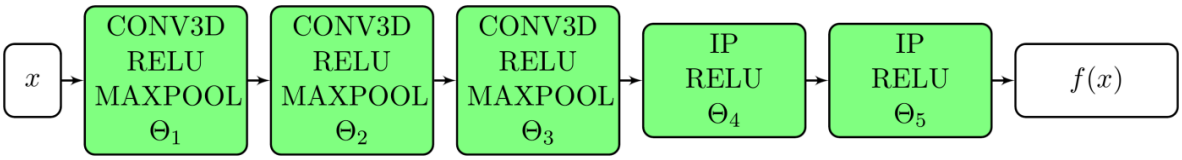


Рисунок 2. Архитектура используемой сверточной сети

На вход нейронной сети поступает блок видеоизображения v_i, на выходе формируется номер класса качества, согласно критериям, рассмотренных выше. Сверточная нейронная сеть является сложной, параметризованной функцией. Составные части функции нейронной сети:

- CONV3D – функция свертки трехмерного сигнала с банком фильтров;
- RELU – нелинейная функции активации, $relu(x) = \max(0, x)$;
- MAXPOOL – операции группировки, осуществляет прореживание сигнала путем выбора максимального значения по локальной области
- IP – операция скалярного произведения, реализует полносвязный слой нейронной сети.

Сверточная нейронная сеть имеет ряд параметров $\Theta = [\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, \Theta_4, \Theta_5]$, значение которых должно быть оценено в ходе процедуры обучения. Выходной вектор нейронной сети формируется с помощью нормализованной экспоненциальной функции. Для сравнения формы распределений вероятности используется критерий перекрестной энтропии: $H(p,q) = \mathrm{E}_p[-\ln q] = H(p) + D_{KL}(P \| Q)$, где $H(p)$ – энтропия p, $D_{KL}(p \| q)$ – расстояние Кульбака–Лейблера между вероятностными распределениями q и p [3].

Для обучающей выборки $\{x_i, y_i\} \in D$ и параметров нейронная сети Θ целевая функция имеет вид:

$$J(q,D,\Theta) = \frac{1}{|D|}\sum_{i=1}^{|D|}\sum_{j=1}^{Nb}\left(-\ln\left(\frac{e^{y_i}}{\sum_{k=1}^{5} e^{f_k(x_i^{(i)})}}\right) * \frac{1}{N_b}\right) + \eta \|\Theta\|_2^2\,,$$

где $\eta \|\Theta\|_2^2$ регуляризующий член. Использование регуляризующего члена позволяет предотвратить переобучение, т.е. потерю обобщающей способности функцией $f(x)$. Выбор L_2–регуляризации обусловлен ее совместимостью с различными итерационными оптимизационными техниками. От выбора параметра регуляризации η зависит стабильность и скорость получения решения, в работе использовалось значение $\eta = 0.25$.

Минимизация полученной функции $J(q,D,\Theta) \to \min$ позволяет осуществить выбор параметров функции качества q на заданном наборе данных D:

$$\Theta^* = \arg\min_{\Theta} J(q, D, \Theta).$$

Первоначально вектор параметров Θ инициализируется случайными значениями с нормальным распределением $N(0,1)$. Для нахождения вектора параметров используется метод стохастического градиентного спуска:

$$\Theta_{i+1} = \Theta_i - \frac{\alpha}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{J(q, D, \Theta)}{\partial\Theta_i}.$$

Данное реккурентное уравнение обеспечивает достижение локального минимума в пространстве параметров метрики качества.

Для подготовки обучающией и тестовой выборок использовались базы тестовых видеоизображений LIVE, ECVQ и EVVQ [4]. Обучение производилось на базах LIVE и ECVQ. Для оценки эффективности предложенной метрики визуального качества видеоизображений проведено сравнение с рядом известных метрик [5] на базе тестовых видеоизображений EVVQ.

Точность метрики оценивается линейным коэффициентом корелляции пирсона (PCC) и среднеквадратичной ошибкой (RMSE). Монотонность предсказания представлена коэффициентом ранговой корреляции Спирмена SROCC. Усредненные результаты по всем тестовым видеоизображениям приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнения предложенной метрики с существующими

Метрика	**PCC**	**SROCC**	**RMSE**
Предложенная	0.9588	0.9109	5.7409
PSNR	0.7356	0.6945	15.1173
RMSE	0.7155	0.6810	14.6894
SSIM	0.8986	0.8296	8.1055
MSSIM	0.9082	0.8975	8.3783
VQM	0.9336	0.8824	6.9372
MOVIE	0.9332	0.9396	6.9563
VIF	0.8123	0.8763	9.7221
MPQM	0.8344	0.7839	10.4763
NIQE	0.8411	0.8123	7.4290

Анализ таблиц 1 показывает, что эффективность разработанного метода по выбранным критериям не хуже метрик, использующих оригинальное видеоизображение, и в среднем на 10% лучше в сравнении с существующими слепыми метриками. Предложенная метрика позволяет повысить точность оценки визуального качества в среднем на 20% в сравнении с используемыми (PSNR, RMSE, SSIM) в видеокодерах на настоящий момент.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №15-01-09092 и №15-37-21124.

Список литературы

1. *Winkler S.*, Digital video quality: vision models and metrics. — John Wiley & Sons, 2005.
2. *Дворкович В.П., Дворкович А.В.,* Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика), — 2012.
3. *Xavier G., Bengio Y.,* Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks., Aistats. — Vol. 9. — 2010. — c. 251
4. *Vranješ M., Rimac-Drlje S., Grgić K.,* Review of objective video quality metrics and performance comparison using different databases // Signal Processing: Image Communication. — 2013. — Vol. 28,no. 1. — c. 15.
5. *Bosch Marc, Zhu Fengqing, Delp Edward J.,* Perceptual quality evaluation for texture and motion based videocoding, 2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) / IEEE. — 2009. — Pp. 2285–2288.

05.13.11

М.А. Черноскутов[1,2], М.Л. Гольдштейн[1] к.т.н.

[1] Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН,
[2] Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, mach@imm.uran.ru

ОБРАБОТКА ГРАФОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСКОРИТЕЛЕЙ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Представлены результаты замеров производительности синхронизированных по уровням алгоритмов поиска в ширину на графе на ускорителях вычислений с различной архитектурой. Тестирование проводилось с использованием графов, обладающих неравномерным распределением степеней вершин. Для устранения возникающего дисбаланса количества вычислений между разными потоками использовался разработанный ранее метод балансировки нагрузки. Показано, что ускорители вычислений, в целом, показывают схожий уровень производительности, однако обладают разным уровнем чувствительности по отношению к уровню вычислительной нагрузки, приходящийся на каждый поток.

Ключевые слова: *поиск в ширину, параллельные вычисления, ускорители вычислений.*

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №14-07-00435. При проведении работ был использован суперкомпьютер “Уран” ИММ УрО РАН.

1. Введение

Поиск в ширину – один из базовых алгоритмов на графах. Он встречается в прикладных задачах как сам по себе (например, в задаче “шести рукопожатий”), так и в качестве отдельного блока в более сложных алгоритмах (таких, например, как поиск максимального потока или вычисление метрики центральности вершин в графе). Данный алгоритм получил широкое распространение в анализе социальных сетей, урбанистике, биоинформатике и других дисциплинах.

Алгоритм поиска в ширину обладает большим потенциалом для распараллеливания. Каждый независимый поток (или процесс) может обрабатывать некоторое ограниченное количество вершин (и инцидентных им ребер). При этом, если граф имеет большой размер, то его обработка может быть эффективно выполнена с использованием ускорителей вычислений (на сегодняшний день, самыми распространенными являются ускорители на основе архитектуры Nvidia Tesla и Intel Xeon Phi), т.к. подобное аппаратное обеспечение обладает высоким уровнем параллелизма.

2. Параллельная реализация алгоритма поиска в ширину на графе

В данной статье для тестирования производительности используется оптимизированная версия алгоритма поиска в ширину на графе, основанная на следующих усовершенствованиях:

- сочетание различных вариантов обхода графа (“сверху-вниз” и “снизу-вверх”);
- балансировка нагрузки между отдельными вычислительными потоками.

Использование алгоритмов с различным направлением обхода графа (как стандартной реализации “сверху-вниз” [1,2], так и реализации с обратным направлением обхода “снизу-вверх” [3]) описано в работе [4]. Характерной особенностью прямого направления обхода (“сверху-вниз”) является пик вычислительной нагрузки, приходящийся на промежуточные итерации алгоритма. При этом, начальные и конечные итерации остаются практически незагруженными. Напротив, обратный обход графа (“снизу-вверх”) демонстрирует совершенно другое поведение – пик нагрузки приходится на начальные итерации. Таким образом, с ростом номера итерации вычислительная нагрузка постепенно уменьшается. С учетом того факта, что результат работы каждой итерации и для прямого, и для обратного обхода графа, одинаков, построим гибридную реализацию, две начальные итерации которой

выполняются с помощью прямого обхода графа, две промежуточные итерации – с помощью обратного обхода графа, а все остальные – вновь с помощью прямого обхода.

В данной работе для реализации как прямого, так и обратного обхода графа используется метод балансировки нагрузки, описанный в работе [5]. Данный метод необходим для распределения вычислительной нагрузки между потоками для обработки вершин с большим количеством инцидентных ребер, а также для обработки нескольких вершин с малым количеством инцидентных ребер с помощью единственного потока. Для работы данного метода необходим массив стартовых вершин SV (см. [5]), а также параметр max_edges_count (количество ребер, которое должно обрабатываться одним потоком). Псевдокод, описывающий метод балансировки нагрузки в рамках прямого и обратного обхода представлен в Алгоритмах 1 и 2.

Входные данные: массив вершин `V`, массив стартовых вершин `SV`, корневая вершина `s`, параметр `max_edge_count`

Выходные данные: массив расстояний `dist`, содержащий значения дистанций от корневой до всех остальных вершин, массив `pred`, содержащий номера предшествующих вершин

Функции: `check_end()`, возвращающая `1` если текущая итерация была последней и `0` в других случаях

```
1   for all u in dist
2        dist[u] = -1
3   dist[s] = 0
4   level = 0
5   do
6        parallel for i in SV
7             first_edge = i*max_edge_count
8             last_edge = (i+1)*max_edge_count
9             curr_vert = SV[i]
10                 for edge є [first_edge;last_edge)
11                      if neighbors of curr_vert є
                        [first_edge;last_edge)
12                           if dist[curr_vert] == level
13                                for all k є neighbors of
                             curr_vert
14                                      if dist[k] == -1
15                                           dist[k] = level + 1
16                                           pred[k] = curr_vert
17                      curr_vert++
18       level++
19  while(!check_end())
```

Алгоритм 1 – Псевдокод параллельного алгоритма поиска в ширину на графе (прямой обход)

Входные данные: массив вершин `V`, массив стартовых вершин `SV`, корневая вершина `s`, параметр `max_edge_count`
Выходные данные: массив расстояний `dist`, содержащий значения дистанций от корневой до всех остальных вершин, массив `pred`, содержащий номера предшествующих вершин
Функции: `check_end()`, возвращающая `1` если текущая итерация была последней и `0` в других случаях

```
1   for all u in dist
2        dist[u] = -1
3   dist[s] = 0
4   level = 0
5   do
6        parallel for i in SV
7             first_edge = i*max_edge_count
8             last_edge = (i+1)*max_edge_count
9             curr_vert = SV[i]
10                 for edge є [first_edge;last_edge)
11                      if neighbors of curr_vert є
                        [first_edge;last_edge)
12                           if dist[curr_vert] == -1
13                                for all k є neighbors of
                             curr_vert
14                                      if dist[k] == level
15                                           dist[curr_vert] =
                                             level + 1
16                                           pred[curr_vert] = k
17                                           break
18                      curr_vert++
19       level++
20  while(!check_end())
```

Алгоритм 2 – Псевдокод параллельного алгоритма поиска в ширину на графе (обратный обход)

3. Тестирование производительности

Тестирование проводилось на вычислительном узле суперкомпьютера “Уран” (расположенном в ИММ УрО РАН), оборудованном ускорителями Nvidia Tesla M2090 (для разработки параллельной реализации использовалась технология CUDA). Кроме того, тестирование производилось и на вычислительном кластере Уральского федерального университета, имеющем ускорители вычислений Intel Xeon Phi 5110P (для разработки параллельной реализации использовался стандарт OpenMP). Графы для тестирования были созданы с помощью генератора RMAT-графов и имели от 2^{16} до 2^{21} вершин при средней связности в 16 ребер на вершину. Использовались два значения параметра max_edges_count (для корректной работы метода балансировки нагрузки): 128 и 1024 ребер на каждый вычислительный поток. Результаты тестирования усреднены по 10 запускам и представлены в табл.

Таблица – результаты тестирования

Кол-во вершин в графе	Время выполнения поиска в ширину на Nvidia Tesla M2090, сек		Время выполнения поиска в ширину на Intel Xeon Phi 5110P, сек	
	128 ребер на выч. поток	1024 ребра на выч. поток	128 ребер на выч. поток	1024 ребра на выч. поток
2^{16}	0.0011	0.0025	0.002	0.0010
2^{17}	0.0021	0.0044	0.0038	0.0019
2^{18}	0.0047	0.0098	0.0093	0.0039
2^{19}	0.0104	0.0199	0.019	0.01
2^{20}	0.0231	0.046	0.0423	0.021
2^{21}	0.0452	0.091	0.0875	0.0409

Как видно из таблицы, за счет того, что в ускорителе Intel Xeon Phi меньшее количество отдельных вычислительных элементов (по сравнению с Nvidia Tesla), максимальная производительности для него достигается при меньшей гранулярности вычислений (в этом случае накладные расходы на распараллеливание алгоритма оказываются также меньше).

4. Заключение

В работе представлены результаты замеров производительности оптимизированного алгоритма поиска в ширину на графе на ускорителях вычислений с различной архитектурой. Показано, что для ускорителей на основе архитектуры Nvidia Tesla характерна большая гранулярность вычислений по сравнению с архитектурой Intel Xeon Phi. При этом максимально достигнутая производительность обоих ускорителей остается примерно одинаковой для данного класса задач.

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. *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.
3. *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.
4. Черноскутов М.А. Анализ объема передаваемых сообщений в параллельном поиске в ширину на графе / М.А. Черноскутов, М.Л. Гольдштейн // Науч.-техн. вестник Поволжья. 2015. № 5. С. 309-311.
5. Черноскутов М.А. Балансировка нагрузки в ГПУ - реализации поиска в ширину на графе [Электронный ресурс] / М.А. Черноскутов, Д.Г. Ермаков // Вычисл. методы и программирование.- 2013.- Т.14.- С.54-62.

05.13.18

Е.В. Шаврина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь

РАЗРАБОТКА И ВЕРИФИКАЦИЯ МОДИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА СВЕРХЗВУКОВЫХ НЕИЗОБАРИЧЕСКИХ СТРУЙ

Представлена разработка модификации стандартной модели k-e для сверхзвуковой неизобарической струи. С помощью численного моделирования и верификации с экспериментальными данными было проведено сравнение точности представленной модели с существующими. Численное моделирование осуществлено в ANSYS CFX.

Ключевые слова: *Модификации модели турбулентности k-e, сверхзвуковое течение, модель турбулентности Земана, модель турбулентности Молчанова.*

Оценка ключевых параметров сверхзвуковой струи (таких как распределение давления по оси струи) является необходимым условием комплексного проектирования ракетного двигателя. Обычно данную задачу согласно сложившейся инженерной практике решают при помощи численного моделирования в программном пакете ANSYS CFX, что следует из работы [1]. Важную роль играет выбор модели турбулентности для проведения численного эксперимента, согласно исследованию [2]. В ANSYS CFX наибольшую популярность в инженерной среде получили следующие модели турбулентности: k-e, k-w, SST (Shear Stress Transport). Следует отметить, что модель турбулентности k-w хорошо подходит для описания течений в пристеночных областях согласно, но отличается низкой точностью в прочих областях, модель k-e позволяет решать широкий спектр задач, в которых не требуется высокоточное описание пристеночных областей, модель SST объединяет преимущества моделей k-w и k-e, однако требует достаточно большой плотности сетки. Таким образом в большинстве случаев в инженерной практике используется модель турбулентности k-e для проведения численных экспериментов в ANSYS CFX. Однако, как описано в работе [3], выбранная модель не подходит для расчета сжимаемых течений, предоставляя некорректные данные о габаритах сверхзвуковых струй. Такое искажение недопустимо, так как при недостаточной оценке длины струи возможно повреждение стартовых площадок или оборудования испытательного стенда. Таким образом, необходимость модернизации стандартной модели турбулентности для ее применения в области задач о сверхзвуковых струях становится очевидной.

Так во многих работах считается, что пульсации давления, возникающие в зоне смешения дозвуковых и сверхзвуковых объемов газа, вызывают дополнительную диссипацию. Существует несколько методов для учета в уравнениях турбулентности дополнительной диссипации. Так в работах [4,5] используется корректировка вычисления турбулентной вязкости и дополнительный член в уравнении переноса кинетической энергии. В исследовании [4] турбулентная вязкость определяется по следующей формуле:

$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho k^2}{(1 + 1.75 \cdot \left(1 - \exp(-\left(\frac{[M_t - 0.1]}{0.6}\right)^2)\right)\varepsilon} \quad (1)$$

$$M_t = \frac{\sqrt{2 \cdot k}}{a} \quad (2)$$

где M_t – турбулентное число Маха,
a – местная скорость звука,
k – турбулентная кинетическая энергия,
ε – турбулентная диссипация,
ρ – плотность,
C_μ – стандартный коэффициент модели турбулентности k-e.

В работе [5] разработана поправка на сжимаемость имеющая линейную зависимость от турбулентного числа Маха:

$$\mu_t = \frac{C_\mu \cdot \rho \cdot k^2}{(1 + 0.29M_t) \cdot \varepsilon} \quad (3)$$

Отрицательный источник в уравнении переноса турбулентной кинетической энергии согласно [5]:

$$S_t = -0.29\rho M_t \varepsilon \quad (4)$$

Тем не менее, рассмотренные модели не позволяют получить точной величины длины струи. Было выдвинуто предположение, что объединение данных моделей позволит получить наиболее близкое значение данного параметра к экспериментальному. Объединение моделей было достигнуто путем введения зависимости значения вводимых поправок от расстояния от источника струи.

Для достижения данной цели, было принято решение рассмотреть подробнее поправки, вводимые Земаном и Молчановым (линейная модель). Для анализа исследуемых поправок, было проведено моделирование эксперимента, представленного в работе [6], в программном пакете ANSYS CFX 15. Моделирование было проведено в трех постановках: с использованием стандартной модели k-e, модели Земана и модели Молчанова (результаты моделирований представлены на рис.1).

Как видно из рисунка 1 стандартная модель турбулентности *k-e* искажает величину длины струи примерно на 50%, что недопустимо.

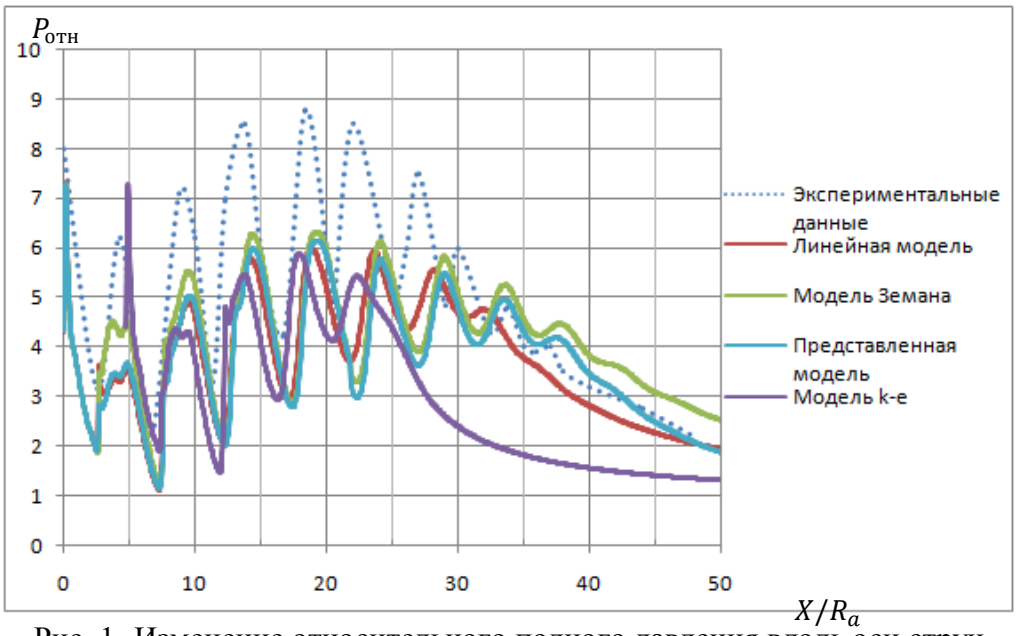


Рис. 1- Изменение относительного полного давления вдоль оси струи

Анализ данных полученных путем проведения моделирования позволил выявить, что до X/R_a=35 модель Земана более корректно вычисляет количество "бочек", чем модель Молчанова, однако она же завышает длину струи, что может привести к необоснованному усложнению организации старта. Исходя из этого, было принято решение объединить модели следующим образом: до X/R_a<35 использовать поправку Земана, а затем поправку описанную Молчановым. Однако для унификации поправки необходимо избежать использования конкретного значения относительного расстояния от среза сопла. Анализ градиента отрицательного источника в уравнении переноса турбулентной кинетической энергии, показал, что до X/R_a<35 его максимальные значения, достигающие 28 000. Таким образом, было принято решение использовать значение отрицательного источника в качестве условия перехода от модели Земана к линейной модели при проведении численного эксперимента. То есть, при изменении отрицательного источника по координате X более 28 000 используется поправка Земана, при изменении по X менее 28 000 используется линейная поправка.

Расчет, проведенный в ANSYS CFX, позволил проверить работоспособность предложенной поправки к модели, результат представлен на рисунке 1. Как видно, исследуемая модификация модели позволила с высокой точностью определить длину сверхзвуковой струи и количество дисков маха.

Таким образом, предложенная модификация позволит повысить качество проектирования безопасного старта, путем высокоточного определения длины струи даже при ограничении в временных ресурсах.

Список литературы

1. *Платонов И.М.* Решение задачи горения водорода в сверхзвуковом потоке с помощью модуля Ansys CFX. "Труды МАИ" 2015, выпуск №82, с.1-13.

2. *Москвичев А.В.* Применимость моделей турбулентности, реализованных в ANSYS CFX, для исследования газодинамики в щелевом канале ТНА ЖРД**,** Вестник Воронежского государственного технического университета 2013, том 9, выпуск № 5-1, с.82-85.

3. *Шаврина Е.В.* Расчет неизобарических сверхзвуковых струй с поправками на сжимаемость в модели турбулентности. Научно-технический вестник Поволжья 2016, выпуск 3, с.151-154.

4. *Zeman, O.* Dilatation dissipation: the concept and application in modeling compressible mixing layers. Phys.Fluids. 1990, Vol. 2, No. 2, pp.178–188.

5. *Глебов Г.А., Молчанов А.М.* Модель турбулентности для расчета высокоскоростных реагирующих струй. - В кн. Исследование теплообмена в летательных аппаратах – М.: МАИ,1982, стр.6-11.

6. *Zapryagaev V.I., Kudryavtsev A.N., Lokotko A.V. and others.* An experimental and numerical study of a supersonic jet shock-wave structure. 11-th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR-2002) (Novosibirsk, Russia, July 1-7, 2002). : Proc.. Novosibirsk: Nonparel, 2002. P. 185-191

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

И.П. Борискина, А.В. Нуштаева, А.В. Савкина,
И.А. Савинов, Р.М. Шарамазанов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ В МОНОХРОМАТИЧЕСКОЙ ВОЛНЕ КАК КОМПОНЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ

Ключевые слова: математическая модель, монохроматическая волна, сжимаемая жидкость, рассеиваемая энергия.

Статья посвящена созданию математической модели и исследованию поведения частиц в монохроматической волне с малыми амплитудами колебаний. В рамках представленной математической модели получены формулы для сил, воздействующих на частицы, и выполнено численное моделирование траектории движения частиц монохроматической волны. Полученные результаты имеют большое значение для решения множества прикладных задач в различных областях.

I.P. Boriskina, A.V. Nushtaeva, A.V. Savkina,
I.A. Savinov, R.M. Sharamazanov

MATHEMATICAL MODELING OF INTERACTION OF PARTICLES IN THE MONOCHROMATIC WAVE AS A COMPONENT OF EDUCATION

Keywords: mathematical model, monochromatic wave, compressible fluid, dissipation energy.

The article is devoted to creation of mathematical models and study the behavior of particles in a monochromatic wave with small amplitude oscillations. In the framework of the mathematical model equations for forces acting on particles, and numerical modeling of the trajectory of the particles of a monochromatic wave. The obtained results are of great importance for solving many applied problems in various fields.

В.В. Дружинин, М.И. Конькова

ВОЗВЕДЕНИЕ СУММЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОГРЕССИИ В НАТУРАЛЬНУЮ СТЕПЕНЬ

Ключевые слова: сумма членов геометрической прогрессии, биномиальный коэффициент, полиномиальная теорема.

Получены общие формулы возведения сумм геометрических прогрессий в произвольную натуральную степень. Рассмотрены свойства таких сумм и их приложения.

V.V. Druzhinin, M.I. Konkova

THE CONSTRUCTION OF THE SUM OF A GEOMETRIC PROGRESSION IN THE NATURAL DEGREE

Keywords: sum of the terms of a geometric progression, binomial factor, the polynomial theorem.

The General formula of construction of sums of geometric progressions in an arbitrary natural power obtained. There are properties of such sums and their applications.

В.В. Дружинин, И.Р. Смагин

СУММЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ В ДРОБНОЙ СТЕПЕНИ

Ключевые слова: сумма членов арифметической прогрессии, суммы одинаковых дробных степеней натуральных чисел.

Получены почти точные формулы для расчета сумм последовательных натуральных чисел в дробной степени от нуля до единицы. На основании этих формул получены новые рассчитываемые суммы. Рассмотрены приложения полученных результатов.

V.V. Druzhinin, I.R. Smagin

THE SUM OF SUCCESSIVE NATURAL NUMBERS IN A FRACTIONAL EXPONENT

Keywords: the sum of the terms of an arithmetic progression, the sum of the same fractional degrees of natural numbers.

Received almost the exact formulas to calculate sums of consecutive natural numbers in the decimal degrees from zero to one. On the basis of these formulas is obtained the new calculated amount. The applications of the obtained results considered.

Т.Н. Титова

О НОРМАЛИЗАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ ГАМИЛЬТОНОВЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: каноническая система, квадратичный гамильтониан, гамильтонова матрица, собственное значение, нормальный вид.

В работе предложен метод приведения матрицы канонической системы дифференциальных уравнений с квадратичным гамильтонианом к нормальному виду. Получена система матричных уравнений для нахождения производящей функции канонического преобразования. Рассмотрены способы решения системы в различных случаях. При этом гамильтонова матрица может иметь кратные, в том числе и нулевые, собственные значения.

T.N. Titova

ON NORMALIZATION OF LINEAR HAMILTONIAN SYSTEMS

Keywords: Hamiltonian system, quadratic Hamiltonian, Hamiltonian matrix, eigenvalue, Jordan normal form.

In this paper we consider the Hamiltonian system of differential equations. We find the normal form of quadratic Hamiltonian with canonical transformation. We get a system of matrix equations for finding the generating function of the canonical transformation. We get solutions of the system in various cases. Hamiltonian matrix has multiple nonzero and zero eigenvalues.

Е.Н. Шубабко

ФАКТОРИЗАЦИЯ ОДНОГО КЛАССА ЦЕЛЫХ ФУНКЦИЙ БЕСКОНЕЧНОГО ПОРЯДКА

Ключевые слова: целая функция, характеристика Неванлинны, весовые классы целых функции, корневые множества, факторизация.

В работе представлены результаты исследования класса целых функций бесконечного порядка, рост характеристики Неванлинны которых близок к экспоненциальному. Получены условия на корневые множества и факторизационное представление этого класса.

E.N. Shubabko

FACTORIZATION OF THE ONE CLASS OF ENTIRE FUNCTION OF INFINITE ORDER

Keywords: entire function, Nevanlinna characteristic, weight class of entire functions, zero sets, factorization.

In the article the results of the study class of entire functions of infinite order, the growth of the Nevanlinna characteristic which is close to exponential. Obtain conditions on the zero set of this class and received the factorization representation.

А.В. Агапов, В.Н. Богданов, Д.А. Боровиков, А.В. Ионов, С.Д. Селиверстов, П.А. Стариков

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГТД

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, энергетическая установка, центробежный компрессор.

В работе представлены результаты изучения возможности расширения области применения малоразмерных ГТД не только на авиацию, но и на другие области машиностроения. Для этого был выбран проект разработки воздушно-реактивного двигателя малой тяги или микро-ВРД на базе двигателя-прототипа Pegasus MK-3 компании AMT Netherlands. Была произведена идентификация математической модели газовой динамики двигателя, усовершенствованы некоторые его узлы, а также затронуты темы производства основных деталей ВРД.

A.V. Agapov, V.N. Bogdanov, D.A. Borovikov, A.V. Ionov, S.D. Seliverstov, P.A. Starikov

MATHEMATICAL INDENTFICATION AND PROBLEMS OF MICROTURBINE ENGINEERING

Keywords: jet engine, power plant, centrifugal compressor.

This paper presents the results of studying the possibility of expanding the scope of small gas turbine engine not only for aivation, but also in other areas of engineering. For solvation of this problem was chosen the project of developing the microturbine engine Pegasus MK-3 AMT Netherlands companies. Identification of the mathematical model of the engine's gasdynamics was produced, refined some of its components, as well as touched upon the theme of production of microturbine's main parts.

О.В. Аникеева

К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ ОЦЕНОК ТОЧНОСТИ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Ключевые слова: металлорежущие станки, геометрическая точность, обрабатываемая поверхность.

В работе определены и раскрыты взаимосвязи между параметрами геометрической точности станков и обработанных на них поверхностей деталей. На этой основе предложен подход к построению системы оценок точности обработанных поверхностей. Получены выражения для нормирования показателей геометрической точности узлов станков в зависимости от требуемой точности обработки поверхностей.

O.V. Anikeeva

TO THE FORMATING OF THE ACCURACY ASSESSMENT SYSTEM OF THE PROCESSED SURFACES

Keywords: machine-tools, geometric accuracy, processed surface.

The relationships are defined and disclosed in this work between parameters of the machine-tools geometric precision and processed them detail surfaces. The approach is proposed to the formating of the accuracy assessment system of the processed surfaces. The expressions are received to the valuation indicators of the nodes machine-tools geometric precision depending on the required accuracy of surfaces process.

Л.В. Беляев, А.В. Жданов

ОЦЕНКА ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬСИРУЮЩИХ СИСТЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА НА БАЗЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Ключевые слова: искусственное сердце и вспомогательное кровообращение, мехатронный модуль, гемодинамика, конечно-элементное моделирование.

В работе представлены результаты математического моделирования гемодинамических прочесов внутри камеры искусственного желудочка сердца (ИЖС). Приведены результаты сравнения численного моделирования и экспериментальных исследований полей скоростей внутри камеры ИЖС систем вспомогательного кровообращения (ВК) и искусственного сердца (ИС) на базе мехатронных модулей (ММ).

L.V. Belyaev, A.V. Zhdanov

ASSESSMENT OF HEMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF PULSATILE CIRCULATORY SUPPORT AND ARTIFICIAL HEART SYSTEMS BASED ON MECHATRONIC UNITES

Keywords: artificial heart and circulatory support systems, mechatronic unite, hemodynamic, finite element modeling

The paper presents the results of mathematical modeling of hemodynamic processes inside artificial heart ventricle chamber. The results of the comparison of numerical simulation and experimental studies of velocity fields inside artificial heart ventricle chamber of circulatory support and artificial heart systems based on mechatronic modules is shown.

Л.В. Беляев, А.В. Степенькин, А.В. Жданов

АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПУЛЬСИРУЮЩИХ СИСТЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА НА БАЗЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ С УЧЕТОМ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Ключевые слова: искусственное сердце и вспомогательное кровообращение, мехатронный модуль, гемодинамика, алгоритм проектирования.

В статье рассмотрены существующие подходы к проектированию пульсирующих систем вспомогательного кровообращения и искусственного сердца на базе мехатронных модулей. Предложен алгоритм проектирования указанных систем, дающий возможность прогнозирования гемодинамических показателей работы насоса крови, реализованный на основе современного программного обеспечения.

L.V. Belyaev, A.V. Stepenkin, A.V. Zhdanov

DESIGN ALGORITHM OF PULSATILE CIRCULATORY SUPPORT AND ARTIFICIAL HEART SYSTEMS BASED ON MECHATRONIC UNITES WITH HEMODYNAMIC CHARACTERISTICS CONSIDERING

Keywords: artificial heart and circulatory support systems, mechatronic unite, hemodynamic, design algorithm

The article discusses current approaches to pulsating artificial heart and circulatory support systems based on mechatronic units designing. The algorithm for these systems design is implemented. The implemented algorithm based on modern software giving the ability to predict the hemodynamic performance.

А.П. Буйносов, Е.А. Карамов

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ГАСИТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ МЕТОДОМ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Ключевые слова: локомотив, колебания, гаситель, испытания, гармоника, метод, неисправность, дефекты, результаты.

В статье приведены результаты испытания гидравлических гасителей КВЗ-ЛИИЖТ методом гармонических колебаний, на основе принципа Парето выполнен анализ надежности гасителей колебаний локомотивов, выявлены дефекты, приведшие к выходу их из строя.

A.P. Buinosov, E.A. Karamov

RESULTS OF TEST OF HYDRAULIC QUENCHERS OF LOCOMOTIVES BY METHOD OF HARMONIC OSCILLATIONS

Keywords: locomotive, fluctuations, quencher, tests, harmonica, method, failure, defects, results.

Results of test of hydraulic quenchers of KVZ-LIIZhT by method of harmonic oscillations are given in article, on the basis of the Pareto principle the analysis of reliability of quenchers of fluctuations of locomotives is made, the defects which led to their exit out of operation are revealed.

А.П. Буйносов, С.И. Лаптев

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ ДЛЯ РЕМОНТА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР БЕЗ ПРЕКРАЩЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОКОМОТИВОВ

Ключевые слова: локомотив, колесная пара, бандаж, ремонт, пара трения, триботехнический состав, износостойкость, применение, перспективы.

В статье рассматриваются различные марки триботехнических составов, возможность их использования для ремонта бандажей колесных пар без прекращения эксплуатации локомотивов, для снижения интенсивности процесса изнашивания тяжелонагруженных пар трения.

A.P. Buinosov, S.I. Laptev

THE PROSPECTS OF USE OF TRIBOTECHNICAL STRUCTURES FOR REPAIR OF BANDAGES OF WHEELPAIRS WITHOUT THE TERMINATION OF OPERATION OF LOCOMOTIVES

Keywords: locomotive, wheelpair, bandage, repair, friction pair, tribotechnical structure, wear resistance, application, prospects.

In article various brands of tribotechnical structures, a possibility of their use for repair of bandages of wheelpairs without the termination of operation of locomotives, for drop of intensity of process of wear of heavy-duty friction pairs are considered.

Н.С. Галимов, С.Н. Мухтарулин, Р.Т. Насибуллин, Л.Р. Саримов

РАЗРАБОТКА РОТОРНОЙ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВКИ С КОНЦЕНТРАТОРОМ

Ключевые слова: рекламный щит, ротор ветродвигателя, угловые согласующие элементы.

В работе представлена разработка энергонезависимого рекламного щита на основе роторного ветродвигателя. При повышении кинетической энергии воздушный поток вращает ветророторы, которые соединены модульным способом с генератором. Преимуществом такой модульной конструкции является доступность в установке различных генераторов по мощностям в зависимости от ветровой местности.

N.S. Galimov, S.N. Muhtarulin, R.T. Nasibullin, L.R. Sarimov

DEVELOPMENT OF ROTORY WIND ELECTRIC MILL WITH A CONCENTRATOR

Keywords: billboard, the rotor of a wind turbine, corner matching elements.

This paper presents the development of rotory wind electric mill on the basis of the wind turbine rotor. With an increase in the kinetic energy of the air flow rotates wind turbine, which are connected in a modular way with a generator. The advantage of such a modular construction is accessible to install various capacities for a generator according to wind area.

Г.Г. Закирзаков, Д.М. Бородин, Ш.М. Мерданов, В.В. Конев

ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА МАШИН

Ключевые слова: измерительное оборудование, температурные датчики, гидропривод строительно-дорожных машин, тепловая подготовка, экспериментальные исследования.

Определено, что с целью повышения эффективности эксплуатации строительно-дорожных машин необходимо проводить тепловую подготовку гидропривода. Совершенствование таких систем основывается на экспериментальных исследованиях в которых используется измерительное оборудование. Определены основные характеристики измерительного оборудования для проведения экспериментальных исследований и на этой основе изготовлены новые конструкции.

G.G. Zakirzakov, D.M. Borodin Sh.M., Merdanov, V.V. Konev

MEASUREMENT EQUIPMENT THERMAL STATE FOR RESEARCH ELEMENTS OF HYDRAULIC MACHINES

Keywords: instrumentation, temperature sensors, hydraulic road construction machinery, thermal preparation, experimental studies.

It was determined that in order to improve the operational efficiency of road construction machinery necessary to carry out the thermal preparation of the hydraulic drive. Improvement of these systems is based on experimental studies that use instrumentation. The main characteristics of the measuring equipment for experimental studies and on this basis produced a new design.

В.В. Конев, Г.Г. Закирзаков, Ш.М. Мерданов, Д.М. Бородин

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ТЕПЛОВОЙ ПОДГОТОВКЕ ГИДРОДВИГАТЕЛЯ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

Ключевые слова: строительно-дорожная машина, гидропривод, локальный прогрев, тепловая подготовка, планирование эксперимента.

В статье представлено планирование эксперимента для исследований тепловой подготовки гидродвигателей

V.V. Konev, G.G. Zakirzakov, Sh.M. Merdanov, D.M. Borodin

PLANNING EXPERIMENT ON THE PREPARATION OF HEAT HYDRAULIC MOTOR ROAD CONSTRUCTION MACHINERY

Keywords: road construction machinery, hydraulic, local heating,
heat training, design of experiments.

The article presents the design of experiments to study the thermal preparation of hydraulic motors road construction

строительно-дорожных машин. В рамках этого определены основные факторы влияния и их уровни варьирования на исследуемый процесс. Это позволило определить общее количество опытов для полного факторного эксперимента и построить матрицу планирования.

machinery. As part of the major factors of influence and their levels of variation in the process under study. It is possible to determine the total number of runs for a full factorial experiment and planning to build a matrix.

Ш.М. Мерданов, В.В. Конев, Г.Г. Закирзаков, Д.М. Бородин
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОГРЕВУ ГИДРОБАКА СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

Ключевые слова: строительно-дорожная машина, гидропривод, гидробак, тепловая подготовка, экспериментальные исследования.

В статье представлено описание экспериментального исследования по тепловой подготовке гидропривода строительно-дорожных машин. Предлагается вариант прогрева гидропривода, в который дополнительно встроен малый гидробак. Это позволяет снизить время на тепловую подготовку гидропривода машин.

Sh.M. Merdanov, V.V. Konev, G.G. Zakirzakov, D.M. Borodin
PILOT STUDY ON THE HYDRAULIC TANK WARMING ROAD CONSTRUCTION MACHINERY

Keywords: road construction machinery, hydraulic, hydraulic tank, the thermal preparation, experimental research.

The paper describes the experimental study on the thermal preparation of hydraulic drive road construction machinery. A version of the warm-hydraulic drive, which further built a small tank. This reduces the time for the thermal preparation of hydraulic drive machines.

И.Н. Сидоров, П.А. Хилов
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАНСФЕРНОГО ФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПЕРЕМЕННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ НАПОЛНИТЕЛЯ

Ключевые слова: двумерная фильтрация, тензор проницаемости, коэффициент динамической вязкости, фронт фильтрации.

В работе предложена математическая модель процесса двумерной фильтрации связующего при инжекции через анизотропный наполнитель, ограниченный жесткими непроницаемыми формующими стенками. Рассмотрен метод решения задачи двумерной фильтрации связующего через двунаправленную ткань, «усиленную» однонаправленными лентами виде системы правильных многоугольников.

I.N. Sidorov, P.A. Khilov
MATHEMATICAL SIMULATION OF TRANSFER MOLDING OF COMPOSITES WITH VARIABLY PERMEABLE FILLER

Keywords: two-dimensional filtration, permeability tensor, coefficient of dynamic viscosity, filtration front.

The paper suggests a mathematical model of two-dimensional resin filtration in the process of injection through anisotropic filler constrained by stiff impermeable molding walls. Considered is a method for solving the issue of two-dimensional filtration of the resin through bi-axial fabric reinforced with unidirectional tapes organized in regular polygons.

С.Э. Шаклеина, Е.Н. Тимашева
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ ВАКУУМ-ФИЛЬТРОВ, ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ РАМЫ

Ключевые слова: вакуум-фильтр, обезвоживание хлорида калия, рамная конструкция, прочность и жесткость.

В статье представлены особенности проектирования вакуум-фильтров с применением современных программных продуктов. Проанализированы пути повышения эффективности обезвоживания хлорида калия. Приведены результаты, полученные при расчете рамной конструкции вакуум-фильтра на прочность и жесткость.

S.E. Shakleina, E.N. Timacheva
FEATURES OF DESIGNING A VACUUM FILTER BELT EVALUATION OF STRESS STATE FRAME

Keywords: vacuum filter, dehydration of potassium chloride, frame structure, strength and rigidity.

The article presents the features of the design vacuum filters using modern software products. The ways of increasing the efficiency of dehydration of potassium chloride. The results obtained when calculating the frame structure of the vacuum filter for strength and rigidity.

А.А. Алейников, К.З. Билятдинов, Е.А. Кривчун
УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ: МЕТОДОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Ключевые слова: качество, контроль, решение, методология, энтропия, управление.

Кратко представлены декомпозиция информационных процессов контроля качества технического обеспечения, основы математического и логического аппарата, проблемы и задачи. В представленной методологии контроль рассматривается как инструмент повышения качества технического обеспечения в условиях ограничения времени и ресурсов системы.

A.A. Aleynikov, K.Z. Bilyatdinov, E.A. Krivchun
MANAGEMENT TECHNICAL SUPPORT: METHODOLOGY OF QUALITY CONTROL

Keywords: quality, control, decision methodology, entropy, management.

Briefly presented the decomposition of information quality assurance processes, logistics, basics of mathematical and logical apparatus, problems and challenges. In the presented methodology of control is seen as a tool to improve the quality of technical support in terms of time and resource constraints of the system.

И.И. Байнева
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СВЕТОДИОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, освещение, режим, источник света, светодиод, светодиодный светильник, бройлер.

Рассматриваются вопросы внедрения светодиодных

I.I. Bayneva
ENERGY EFFICIENT LED TECHNOLOGY

Keywords: energy conservation, energy efficiency, lighting, mode, light source, LED, LED downlight, broiler.

In this paper we describe the introduction of LED lighting systems for the organization of lighting in poultry. Analyzed of the use of LED lighting, which opens up additional possibilities

осветительных систем для организации освещения в птицеводстве. Проанализированы особенности использования светодиодного освещения, которое открывает дополнительные возможности в ценовой политике предприятия, увеличивая его рентабельность. Исследованы светотехнические характеристики и тепловой режим разработанного светодиодного светильника для клеточного содержания промышленного стада бройлера.

in the pricing policy of the company, increasing its profitability. Researched the characteristics of lighting and thermal conditions LED downlight designed for cellular maintenance of the industrial broiler flocks.

А.П. Буйносов, С.Н. Антропов

АНАЛИЗ НАРУШЕНИЯ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА БЛОК НА ЛОКОМОТИВАХ В СЕРВИСНОМ ДЕПО СВЕРДЛОВСК

Ключевые слова: локомотив, депо, сервис, БЛОК, комплекс, работа, нарушение, Парето, Исикава, анализ.

В статье выполнен анализ нарушения работы безопасного локомотивного объединенного комплекса (БЛОК) в сервисном депо. На основе принципа Парето и диаграммы Исикавы определен уровень надежности БЛОК с целью выявления причинно-следственных факторов, получения качественных и количественных характеристик.

A.P. Buinosov, S.N. Antropov

THE ANALYSIS OF VIOLATION OF WORK OF THE COMPLEX THE BLOCK ON LOCOMOTIVES IN SERVICE DEPOT SVERDLOVSK

Keywords: locomotive, depot, service, BLOCK, complex, work, violation, Pareto, Isikava, analysis.

In article the analysis of violation of work of the safe locomotive integrated complex (SLIC) in service depot is made. On the basis of the Pareto principle and Isikava's chart reliability level the BLOCK for the purpose of identification of cause and effect factors, obtaining qualitative and quantitative characteristics is determined.

А.А. Мальцев

КОНТРОЛЬ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СВЕТОДИОДОВ ПО РАЗБРОСУ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ

Ключевые слова: контроль надежности и качества светодиода, разброс теплового сопротивления переход-корпус, разброс температурного коэффициента напряжения.

В статье рассмотрены особенности контроля качества и надежности светодиодов по разбросу теплового сопротивления переход-корпус и температурного коэффициента напряжения.

A.A. Maltsev

QUALITY CONTROL AND RELIABILITY OF LEDS IN SCATTER THEMAL PARAMETERS

Keywords: quality LED control, the spread of the thermal resistance junction to case, the dispersion of the temperature coefficient of voltage.

The article describes the features of LED quality and reliability by monitoring scatter thermal resistance junction to case temperature and voltage coefficient.

И.В. Нелин, Д.А. Охотников

НАБЛЮДЕНИЕ ЧАСТОТ ДЫХАНИЯ И СЕРДЦЕБИЕНИЯ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ДАТЧИКОМ

Ключевые слова: частота дыхания, электромагнитный датчик, здоровье домашних животных.

В современном мире находят применение интеллектуальные приборы наблюдения за здоровьем домашних животных. Одним из важнейших показателей их здоровья являются значения частот дыхания и сердцебиения. В качестве реализации устройства наблюдения за животным может быть рассмотрен ошейник со встроенным датчиком, способным регистрировать колебания поверхности тела собаки. В статье приведены результаты эксперимента по измерению частот дыхания и сердцебиения домашней собаки электромагнитным датчиком.

I.V. Nelin, D.A. Okhotnikov

RADAR OBSERVATIONS OF BREATHING RATE AND HEARTBEAT OF PETS

Keywords: breathing rate, electromagnetic sensor, pet health.

In today's world the smart devices are used for monitoring the health of pets. One of the most important indicators of health are the values of respiratory rate and heart rate. As the observation device after the animal may be used a collar with a built-in sensor that can detect the surface of the dog's body vibrations. In the article contains the results of the experimental measuring of the respiratory rate and heartbeat rate of the dog by electromagnetic sensor.

Р.В. Цветков, В.В. Епин, С.В. Лекомцев, А.П. Шестаков

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В МНОГОСЕГМЕНТНОМ ГИДРОНИВЕЛИРЕ

Ключевые слова: гидростатический нивелир, уровень жидкости, математическая модель.

В работе представлена модель, позволяющая оценивать характер движения жидкости в гидронивелирах с различными параметрами. А также представлены результаты расчетов по исследованию переходных процессов движения жидкости в гидронивелире, состоящем из нескольких сегментов.

R.V. Tsvetkov, V.V. Epin, S.V. Lekomtsev, A.P. Shestakov

RESEARCH OF THE FLUID MOTION IN MULTISEGMENT HYDROSTATIC LEVEL

Keywords: hydrostatic level, liquid level, mathematical model.

This paper presents a model that allows to evaluate the fluid motion in hydrostatic levels with different parameters. As well as the results of the numerical study of transients process in hydrostatic level consisting of several segments.

Д.В. Чайкин, А.С. Вохминцев, И.А. Вайнштейн

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ТУШЕНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КИСЛОРОД-СВЯЗАННЫХ ЦЕНТРОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Ключевые слова: AlN, ФЛ, уравнение Мотта-Зейтца, электрон-фононное взаимодействие.

Выполнено исследование тушения фотолюминесценции (ФЛ) в объемных монокристаллах AlN в диапазоне температур 7 – 340 К. Температурные зависимости интенсивности и полуширины синей ФЛ описаны в рамках моделей Мотта и линейного электрон-фононного взаимодействия. Получены значения энергий активации 190 и 34 мэВ для безызлучательных каналов температурного тушения ФЛ кислород-связанных центров. Определена энергия фононов 45 мэВ, которые ответственны за процессы уширения уровней излучательных переходов.

D.V. Chaikin, A.S. Vokhmintsev, I.A. Weinstein

THERMAL QUENCHING OF OXYGEN-RELATED CENTERS PHOTOLUMINESCENCE IN AlN SINGLE CRYSTALS

Keywords: AlN, PL, Mott-Seitz equation, electron-phonon interaction.

The research of the photoluminescence quenching in bulk AlN single crystals within a temperature range of 7 – 340 K was fulfilled. The temperature dependencies of the intensity and half-width of the blue emission were analysed in terms of the Mott model and linear electron-phonon coupling. The values of the activation energy of 190 and 34 meV are calculated for non-radiative channels of temperature quenching of oxygen-related centres photoluminescence. The phonon energy of 45 meV, which were responsible for broadening the levels of radiative transitions, was determined.

А.А. Аббакумов, Д.П. Сидоров, А.И. Егунова

ПРИМЕНЕНИЕ ЯЗЫКА VISUAL PROLOG ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ

Ключевые слова: расписание занятий, Visual Prolog, аудиторный фонд, учебные занятия, загрузка аудиторий.

В статье рассматривается оригинальный алгоритм и его программная реализация для автоматизированного составления расписания занятий в учебном заведении. Программа написана на объектно-ориентированном расширении языка логического программирования Visual Prolog.

A.A. Abbakumov, D.P. Sidorov, A.I. Egunova

USE LANGUAGE VISUAL PROLOG FOR AUTOMATION OF COURSE SCHEDULE

Keywords: timetable, Visual Prolog, classroom fund, training sessions, download of audiences.

In the article the original algorithm and its implementation for the automatic generation of timetables in the school. The program is written in an object-oriented extension of Visual Prolog logic programming language.

И.К. Алайцев, О.И. Афонина, Т.В. Данилова, И.Ю. Ермаков, В.Н. Кучмин, А.О. Мантуров, Г.О. Мареев, О.В. Мареев

УСТРОЙСТВО ВВОДА С ТАКТИЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Ключевые слова: гаптик-устройства, тактильная обратная связь, гироскоп, акселерометр, устройство ввода.

Разработка систем виртуальной реальности является одним из активно развивающихся направлений исследований. Особенно интересны системы с тактильной обратной связью, позволяющие взаимодействовать с виртуальными объектами посредством прикосновения. При разработке таких систем применяются специальные устройства ввода с тактильной обратной связью (гаптик-устройства). В работе представлено описание такого устройства, возможности ввода которого расширены тремя степенями свободы.

I.K. Alaytsev, O.I. Afonina, T.V. Danilova, I.Y. Ermakov, V.N. Kuchmin, A.O. Manturov, G.O. Mareev, O.V. Mareev

HAPTIC DEVICE WITH EXTENDED INPUT DEGREE OF FREEDOM

Keywords: haptic redices, haptic feedback, force feedback devices, gyroscope, accelerometer, input device.

Virtual reality systems development is a rapidly advancing area of modern research. Systems that are able to provide haptic feedback to the user are especially interesting. Development of such systems requires exploitation of special force feedback devices (haptic devices). This paper describes such haptic device that has additional input degrees of freedom.

А.С. Андреев, Д.С. Макаров, О.А. Перегудова

ОБ УПРАВЛЕНИИ МАНИПУЛЯТОРАМИ БЕЗ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ

Ключевые слова: математическое моделирование, управление движением, стабилизация, установившееся движение, неполное измерение, манипулятор.

В работе исследуется задача о стабилизации установившихся программных движений двухзвенного манипулятора без измерения скоростей. В качестве модельных выбраны уравнения Лагранжа. Построены законы управления в виде нелинейного интегрального регулятора, обеспечивающие стабилизацию программного положения и стационарного движения. К исследуемой задаче сводятся задачи об управлении манипуляторами с гидро- и пневмоприводами.

A.S. Andreev, D.S. Makarov, O.A. Peregudova

ON CONTROL OF THE MANIPULATORS WITHOUT VELOCITIES MEASUREMENT

Keywords: mathematical modeling, motion control, stabilization, steady motion, incomplete measurement, manipulator.

In this paper the problem on the stabilization of the steady program motions of two-arm manipulator is considered without velocity measurement. As model the Lagrange equations are chosen. Control laws are constructed in the form of a nonlinear integral regulator, ensuring stabilization of the program position and the program steady motion of the manipulator. The problem of the control of manipulators with hydraulic and pneumatic actuators is reducing to the studied problem.

А.С. Андреев, Л.С. Тахтенкова

О СТАБИЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЙ СПУТНИКА ПО КРУГОВОЙ НЕКЕПЛЕРОВОЙ И НА ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОРБИТАХ

Ключевые слова: спутник, круговая некеплерова орбита, эллиптическая орбита, вращательное движение, стабилизация.

В работе исследуется задача о стабилизации движения спутника как материальной точки по круговой некеплеровой орбите без измерения скоростей и вращательного движения осесимметричного спутника на эллиптической орбите.

A.S. Andreev, L.S. Takhtenkova

ON STABILIZATION OF SATELLITE MOTIONS IN CIRCULAR NON-KEPLERIAN AND IN ELLIPTIC ORBITS

Keywords: satellite, circular Non-Keplerian orbit, elliptic orbit, rotational motion, stabilization.

The article investigated the task about stabilization of satellite motion like material point in circular Non-Keplerian orbit without velocity measurement and rotational motion of an axisymmetric satellite in an elliptic orbit.

В.В. Воронин, В.И. Марчук, Е.А. Семенищев, С.В. Маков, Н.В. Гапон

АЛГОРИТМ СТАБИЛИЗАЦИИ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗНАЧЕНИЙ ПИКСЕЛЕЙ

Ключевые слова: реконструкция изображений, стабилизации видеопоследовательностей, аппроксимация, Евклидова норма.

В работе предложен метод и алгоритм стабилизации видеопоследовательностей. Предлагаемый подход основан на методе реконструкции отсутствующих значений пикселей для получения полного кадра. Показана эффективность подхода на примерах при восстановлении кадров видеопоследовательностей.

V.V. Voronin, V.I. Marchuk, E.A. Semenishchev, S.V. Makov, N.V. Gapon

ALGORITHM OF VIDEO STABILIZATION ON THE BASIS OF PIXELS RECONSTRUCTION

Keywords: image reconstruction, stabilization of video sequences, approximation, the Euclidean norm.

In this paper we propose a method and an algorithm for video sequences stabilization. The proposed approach is based on the method of reconstruction of the missing pixel values for a complete frame. The effectiveness of the approach in the examples when restoring frames of video sequences.

Е.С. Вячкин, В.О. Каледин, С.М. Аульченко, А.С. Бондаренко, Е.А. Вячкина

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ДЕФОРМИРОВАНИИ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ С ОБЪЕМНО-НЕСЖИМАЕМЫМИ СЛОЯМИ

Ключевые слова: математическая модель, объемная несжимаемость, поле скоростей, вязкая жидкость.

Рассматривается задача вязкого или упругого деформирования слоистой структуры при условии отсутствия дивергенции перемещений. Уравнения движения или равновесия в цилиндрической системе координат преобразуются к виду, в котором бездивергентное решение точно раскладывается в полиномиальный базис. Приведен контрольный пример, подтверждающий сходимость численного решения к точному.

E.S. Vyachkin, V.O. Kaledin, S.M. Aulchenko, A.S. Bondarenko, E.A. Viachkina

NUMERICAL SOLUTION OF PROBLEMS OF DEFORMATION OF THE LAYERED STRUCTURE WITH A VOLUME-INCOMPRESSIBLE LAYERS

Keywords: mathematical model, incompressible volume, velocity field, viscous liquid.

The problem of a viscous or elastic deformation of the layered structure in the absence of divergence movements. The equations of motion or equilibrium in the cylindrical coordinate system are converted to the form in which the divergence-free solution accurately decomposed into polynomial basis. An example of the control, confirming the convergence of the numerical solution to the exact one.

Е.С. Вячкин, Е.В. Решетникова, С.М. Аульченко, А.П. Рябков, Е.А. Вячкина

ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР, СОДЕРЖАЩИХ ОБЪЕМНО-НЕСЖИМАЕМЫЕ СЛОИ

Ключевые слова: математическая модель, объемная несжимаемость, напряженно-деформированное состояние, коэффициент Пуассона.

Рассматривается однопараметрическая модель деформирования объектов, содержащих слои со слабой объемной сжимаемостью. Определяется предел решения краевой задачи при условии, что коэффициент Пуассона стремится к 0,5. Приводится доказательство существования и единственности предела решения.

E.S. Vyachkin, E. V. Reshetnikova, S.M. Aulchenko, A.P. Ryabkov, E.A. Viachkina

THE ONE-PARAMETRIC MODEL OF THE DEFORMATION OF LAYERED STRUCTURES CONTAINING THREE-DIMENSIONAL INCOMPRESSIBLE LAYERS

Keywords: mathematical model, volumetric incompressibility, the stress-strain state, the Poisson's ratio.

We consider a one-parameter model of deformation of objects containing layers with weak volume compressibility. It defines the limits of the boundary problem solution, provided that the Poisson's ratio approaches 0.5. The proof of the existence and uniqueness of solutions limit.

И.В. Гуляев, И.С. Юшков, А.Н. Архипов, М.А. Бобров

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ МЕТОДА MTPA (MAXIMUM TORQUE PER AMPERE) В НАДСИНХРОННОЙ ОБЛАСТИ

Ключевые слова: асинхронный двигатель, ограничение по напряжению, максимальный крутящий момент на ампер, потокосцепление, векторное управление.

Статья посвящена математическому моделированию асинхронного двигателя с реализацией метода MTPA (maximum torque per ampere) и ограничением по напряжению. Приводятся основные математические

I.V. Gulyaev, I.S. Yushkov, A.N. Arkhipov, M.A. Bobrov

MATHEMATICAL SIMULATION OF THE INDUCTION MOTOR WITH THE IMPLEMENTATION OF MTPA STRATEGY IN OVER RATED SPEED

Keywords: induction motor, voltage limitation, maximum torque per ampere, flux linkage, flux vector control.

The article deals mathematical simulation of induction motor with MTPA strategy implementation and voltage limitation. Mathematical equations, Matlab simulation models and results are presented. Motor mode control realize at double rated speed.

выражения, модель в системе MATLAB и результаты моделирования. Регулирование работы двигателя осуществлялось до двойной синхронной скорости.

А.В. Жолудева, Е.Н. Созинова

КОНСАЛТИНГ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ключевые слова: информационная безопасность, консалтинг, бизнес – цели.

В данной статье рассматриваются основные вопросы, касающиеся консалтинга в сфере информационной безопасности. Автор раскрывает задачи, цели и виды консалтинговых услуг. Особое внимание уделяется связи между состоянием безопасности организации, и её бизнес – целями.

A.V. Zholudeva, E.N. Sozinova

CONSULTING IN THE FIELD OF INFORMATION SECURITY

Keywords: information security, consulting, and business goals.

In this article basic items concerning information technology consulting are examined. The author discloses problems, aims and sorts of consulting. Great attention is devoted to the connection between condition of organization security and its business objectives.

В.А. Заговорчев, М.Я. Кыласов, В.В. Родченко, Э.Р. Садретдинова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ РЕАКТИВНОГО ПЕНЕТРАТОРА С ГРУНТОМ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ключевые слова: реактивный пенетратор, лунный грунт, деформация, разрушение среды, сила сопротивления грунта.

В данной статье проведено исследование процесса движения реактивного зонда-пенетратора в грунте. Определение основных параметров взаимодействия аппарата с грунтом осуществлено путем описания грунта как среды с шаровым тензором напряжений. Зависимости давления от деформации различны для участков нагрузки и разгрузки. Этот подход позволяет получить формулу для определения силы сопротивления грунта пенетратору. В эту зависимость входят величины, характеризующие отдельно аппарат и среду.

V.A. Zagovorchev, M.YA. Kylasov, V.V. Rodchenko, EH.R. Sadretdinova

RESEARCH OF CROSS IMPACT OF JET PENETRATOR WITH SOIL BY MATHEMATICAL SIMULATION

Keywords: jet penetrator, lunar soil, deformation, destruction of the medium, soil resistance force.

The propulsion research of the jet probe-penetrator in soil is conducted in this article. Key parameters determination of device interaction with soil is performed by the description of soil as medium with a spherical tensor of tension. Dependences of pressure on deformation are various for sites of loading and unloading. This approach allows to define a formula for determination of soil resistance force applied to penetrator. This dependence includes the quantities characterizing the device and medium separately.

В.Г. Зарубский

ПУТИ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ АДАПТАЦИИ СТРУКТУРНО-УСТОЙЧИВОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЭВМ К ТЕКУЩЕМУ ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ НА ОСНОВЕ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ АЛГОРИТМА АДАПТАЦИИ

Ключевые слова: надежность, система управления, управляющая электронно-вычислительная машина, адаптация, функциональная избыточность, структурная устойчивость.

В работе рассматриваются вопросы повышения надежности автоматизированных и автоматических систем управления различными опасными процессами на основе применения структурно-устойчивых управляющих ЭВМ. Предлагается методика оптимизации временных затрат процесса адаптации структурно-устойчивых управляющих ЭВМ, обладающих свойством функциональной избыточности, к текущему функциональному состоянию. Методика оптимизации сформулирована с учетом иерархичности (многоуровневости) современных управляющих ЭВМ за счет распараллеливания процесса адаптации между уровнями её архитектуры.

V.G. Zarubskiy

WAYS TO REDUCE TIME OF ADAPTATION OF STRUCTURALLY STABLE CONTROL COMPUTER TO THE CURRENT FUNCTIONAL STATE ON THE BASIS OF PARALLEL ADAPTATION ALGORITHM

Keywords: reliability, management system, management electronic computer, adaptation, functional redundancy, structural stability.

This article addresses the issues of improving the reliability of automated and automatic control systems for various threat processes through the application of structural-steady control computers. Proposes a methodology to optimize the process of adaptation of structural-steady control computers that have the property of functional redundancy to the current functional condition. The method of optimization is formulated, taking into account the hierarchical (multilevel) modern control computers by parallelizing the adaptation process between the levels of its architecture.

А.В. Иващенко, Д.В. Купер, О.В. Шорникова

АРХИТЕКТУРА ПМП ДЛЯ ПОДВИЖНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Ключевые слова: архитектура, Интернет вещей, сенсорные сети.

В статье предлагается новый подход к построению распределенной диагностической системы в соответствии с концепцией Интернета вещей, основанный на реализации сетевой архитектуры план-маршрут-паттерн (ПМП).

A.V. Ivaschenko, D.V. Kuper, O.V. Shornikova

“PLAN-ROUTE-PATTERN” ARCHITECTURE FOR A MOVING SENSORS NETWORK

Keywords: architecture, the Internet of Things, sensor networks.

This paper proposes a new approach to develop a system for distributed diagnostics according to the concept of the Internet of Things. The approach is based on implementation of network based architecture “Plan-Route-Pattern”.

А.В. Иващенко, О.В. Шорникова, П.В. Ситников, О.Л. Сурнин

ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ ПРЕДПРИЯТИЯ НА БАЗЕ ОТКРЫТЫХ СЕРВИСОВ

Ключевые слова: интегрированная информационная среда, автоматизация предприятия, открытые сервисы.

В статье описывается предлагается современная концепция и архитектура OSP (Open Service Provider) для интеграции информационных ресурсов производственного предприятия.

A.V. Ivaschenko, O.V. Shornikova, P.V. Sitnikov, O.L. Surnin

ENTERPRISE INTEGRATED INFORMATION SPACE DEVELOPMENT BASED ON OPEN SERVICES

Keywords: integrated information space, enterprise automation, open services.

This paper describes a modern concept and architecture OSP (Open Service Provider) for integration of production enterprise information sources.

В.О. Каледин, А.Д. Ульянов, Вл.О. Каледин

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Ключевые слова: термоупругость, термодеструкция, композиционные материалы, функционально- объектная схема, высокотемпературные воздействия.

Рассмотрена математическая модель термоупругого тела вращения из анизотропного материала, физико-механические свойства которого зависят от температуры. Решение задачи термоупругости при силовых и температурных воздействиях получено методом конечных элементов в осесимметричной постановке. Программная реализация выполнена с использованием визуальных средств, упрощающих понимание алгоритма, усложненного введением переменных физико-механических свойств материала. Исследована модель кольца из композиционного материала при низкотемпературных и высокотемпературных воздействиях.

V.O. Kaledin, A.D. Ulyanov, Vl.O. Kaledin

SIMULATION STRESS-STRAIN STATE IN COMPOSITE BODY ROTATION WITH HIGH TEMPERATURE

Keywords: thermoelastic, thermodestruction, composite materials, functional-objective scheme, high-level thermal enforces

The considered math model of thermoelastic body rotation of the anisotropic material. Physical and mechanical properties of the model are temperature dependent. Solution of the problem of thermoelasticity in the force and temperature effects produced by finite element method in the axially symmetric formulation. Software implementation is made using visual aids that facilitate understanding of the algorithm, the introduction of sophisticated variable physical and mechanical properties of the material. Using the proposed methodology and software implementation, the model has been studied rings of composite material at low and high temperature influences.

Д.А. Козорез, В.В. Терентьев, А.О. Шемяков

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Ключевые слова: космический аппарат, система ориентации и стабилизации, звездный датчик, датчики угловых скоростей.

В статье предложено техническое решение, обеспечивающее автономную высокоточную навигацию и управление движением космического аппарата (КА) на геостационарной орбите (ГСО). Решение основано на математической модели движения КА со звездным прибором, учитывающей данные от датчиков угловых скоростей. Приведена математическая модель и алгоритм работы системы управления. Предложена циклограмма работы интегрированной системы управления КА с учетом ошибок в части оценок угловой ориентации.

D.A. Kozorez, V.V. Terentyev, A.O. Shemyakov

IMPROVING THE ACCURACY OF THE CONTROL ALGORITHM OF ANGULAR ORIENTATION THE SPACECRAFT

Keywords: spacecraft, system of orientation and stabilization, star tracker, angular rate sensors

The article suggested technical solution, providing autonomous high-precision navigation and control of the spacecraft (SC) on geostationary orbit. The solution is based on a mathematical model of motion the SC with a star tracker which takes into account data from the angular rate sensors. The mathematical model and algorithm of the control system are shown. Proposed the cyclogram of work the integrated spacecraft control system taking into account errors of the estimates of the angular orientation.

И.З. Краснов, С.О. Шапочкин

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЁТОМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

Ключевые слова: компетентность, системный анализ, творческий потенциал, системный подход, эффективное управленческое решение, создание команды.

В данной работе авторами предлагается модель принятия управленческого решения по реинжинирингу персонала относительно требуемого вида деятельности. Представленная методика позволяет руководителю принять решение по распределению ресурсов между членами команды в соответствии с расчетным уровнем компетентности. В результате практического применения методики была выявлена основная область применения, которой являются организации, деятельность которых основана на информационных технологиях с целью выработки управленческого решения по формированию эффективных команд инновационной деятельности.

I.Z. Krasnov, S.O. Shapochkin

MANAGEMENT MODEL OF LEADING COMPANY EFFECTIVENESS WITH EFFECT OF HUMAN FACTOR

Keywords: competence, systems analysis, creativity, systems approach, efficient managerial decisions, team building.

In this article authors suggests the new model of making a solution for business process of reengineering in every business field. This method helps managers to make a right solution for making resource allocation between participants of work-team according to their competence. As a result of practical using this methodology, the main field of using was discovered: it is IT companies which aim is to create a methods of successful management methods for creation effective way of development innovative works.

Т.В. Леванова, П.И. Кальчевская

АЛГОРИТМЫ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА ОБЪЕМЫ ПОСТАВОК

Ключевые слова: алгоритм пчелиного роя, алгоритм муравьиной колонии, задача размещения предприятий, целочисленное линейное программирование.

Рассматривается задача размещения предприятий с ограничениями на объемы поставок. Для её решения предложены алгоритмы пчелиного роя и муравьиной колонии, выполнены экспериментальные исследования.

T.V. Levanova, P.I. Kalchevskaya

SOME APPROXIMATION ALGORITHMS FOR LOCATION PROBLEM WITH CONSTRAINTS ON THE VOLUMES OF SUPPLIES

Keywords: bee colony algorithm, ant colony optimization, location problem, integer programming.

The location problem with constraints on the volumes of supplies is considered. For its solution algorithms of ant colony optimization and bee colony are proposed, experimental studies are discussed.

А.Е. Лысенко

СТРУКТУРА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ СОХРАНЕНИЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА

Ключевые слова: управление информационной безопасностью, сохранение кадрового потенциала предприятия, оборонно-промышленный комплекс.

В работе представлены результаты разработки модели управления информационной безопасностью предприятий оборонно-промышленного комплекса на основе сохранения кадрового потенциала. Рассмотрен подход к моделированию управления информационной безопасностью, основанный на принципах сохранения кадрового потенциала при воздействии на защищаемую информацию персоналом предприятия. Также рассмотрено вычисление возможности выполнения поставленной задачи при осуществлении вредоносных воздействий со стороны персонала организации.

A.E. Lysenko

THE STRUCTURE OF THE MODEL OF INFORMATION SECURITY MANAGEMENT OF ENTERPRISES OF THE MILITARY-INDUSTRIAL COMPLEX ON THE BASIS OF THE PRESERVATION OF PERSONNEL POTENTIAL

Keywords: information security management, preservation of personnel potential of the enterprises, the military-industrial complex

The paper presents the results of the development of a model for information security management of enterprises of the military-industrial complex on the basis of the preservation of personnel potential. An approach to modeling information security management based on the principles of preservation of personnel potential when exposed to the protected information to the plant personnel. Also considered the calculation of the ability to perform tasks in the implementation of the harmful impacts from the staff of the organization.

И.Ю. Попов, А.Д. Наумов

МЕТОД ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ТРЕБОВАНИЯМ РЕГУЛЯТОРА

Ключевые слова: информационная система персональных данных, персональные данные, оценка соответствия, экспертная система, информационная безопасность.

Предлагается метод оценки соответствия обеспечения безопасности ПДн в ИСПДн согласно требованиям регулятора. Метод обеспечивает поэтапную проверку имеющейся ИСПДн на наличие ошибок при проектировании безопасности ИСПДн. Данная методика может применяется при разработке автоматизированных систем аудита ИСПДн.

I.U. Popov, A.D. Naumov

METHOD OF CONFORMITY ASSESSMENT OF SECURITY OF PERSONAL DATA IN INFORMATION SYSTEMS TO REQUIREMENTS OF THE REGULATOR

Keywords: personal data information system, personal data, conformance assessment, expert system, information security

The method provides run-to-run total verification of existing information systems of PD for errors in the design of security of ISPD. This technique can be applied in the development of automated systems audit of ISPD.

А.В. Супруненко

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ВЕБ-КОНТЕНТА НА ОСНОВЕ ИГРОВОГО ПОДХОДА

Ключевые слова: классификация контента, фильтрация контента, сеть доверия, репутация, бескоалиционная игра.

Разработана игровая модель многоагентной сети доверия и алгоритм классификации источников веб-контента на её основе.

A.V. Suprunenko

MODELS AND ALGORITHMS OF WEB CONTENT CLASSIFICATION BASED ON THE GAME APPROACH

Keywords: content classification, content filtering, web of trust, reputation, noncooperative game.

The paper is concerned with web of trust based on game model and algorithms of web content classification based on multi-agent network.

А.С. Федосин

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ О ПОТРЕБЛЕНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

Ключевые слова: извлечение знаний, регрессионная модель, потребление электроэнергии, SVR.

В статье описан алгоритм извлечения знаний из регрессионных моделей. Данный алгоритм относится к группе алгоритмов «черного ящика» и представляет извлеченные знания в виде набора продукционных правил. В

A.S. Fedosin

DATA MINING OF RESIDENTAL ELECTRICITY CONSUMPTION DATA WITH PRODUCTION RULE SYSTEM

Keywords: data mining, regression model, electricity consumption, SVR.

This article describes an approach to knowledge extraction from regression models. Described algorithm belongs to "black-box" group of algorithms and presents extracted knowledge as set of production rules. An application of algorithm to the problem of rules extraction from residential energy consumption SVR-models is also provided.

работе описано применения данного алгоритма к задаче извлечения знаний из регрессионных моделей потребления электроэнергии в многоквартирных жилых домах.

В.А. Франц

СЛЕПАЯ МЕТРИКА ВИЗУАЛЬНОГО КАЧЕСТВА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Ключевые слова: сжатие с потерями, визуальное качество, машинное обучение.

В работе представлена новая метрика визуального качества видеоизображений, ориентированная на использование в составе систем кодирования изображений с потерями. Высокий уровень соответствия результатов численной оценки субъективно-воспринимаемому уровню качества достигается путем использования сверточной нейронной сети, обученной на большом объеме пар видеоизображение–субъективная оценка.

V.A. Frantc

BLIND VIDEO QUALITY METRIC BASED ON MACHINE LEARNING

Keywords: lossy video compression, visual quality, machine learning.

The paper presents a novel visual quality metric for lossy compressed video quality assessment. High degree of correlation with subjective estimations of quality are due to use of convolutional neural network trained on large amount of pairs video sequence-subjective quality score.

М.А. Черноскутов, М.Л. Гольдштейн

ОБРАБОТКА ГРАФОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСКОРИТЕЛЕЙ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Ключевые слова: поиск в ширину, параллельные вычисления, ускорители вычислений.

Представлены результаты замеров производительности синхронизированных по уровням алгоритмов поиска в ширину на графе на ускорителях вычислений с различной архитектурой. Тестирование проводилось с использованием графов, обладающих неравномерным распределением степеней вершин. Для устранения возникающего дисбаланса количества вычислений между разными потоками использовался разработанный ранее метод балансировки нагрузки. Показано, что ускорители вычислений, в целом, показывают схожий уровень производительности, однако обладают разным уровнем чувствительности по отношению к уровню вычислительной нагрузки, приходящийся на каждый поток.

M.A. Chernoskutov, M.L. Goldshtein

GRAPH PROCESSING USING COMPUTATIONAL ACCELERATORS

Keywords: breadth-first search, parallel computing, computational accelerators.

Paper presents performance analysis for two level-synchronous implementations of breadth-first search. Benchmarking was performed on scale-free graphs with using of workload balancing. It is shown that computation accelerators, in general, show a similar level of performance.

Е.В. Шаврина

РАЗРАБОТКА И ВЕРИФИКАЦИЯ МОДИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА СВЕРХЗВУКОВЫХ НЕИЗОБАРИЧЕСКИХ СТРУЙ

Ключевые слова: Модификации модели турбулентности k-e, сверхзвуковое течение, модель турбулентности Земана, модель турбулентности Молчанова.

Представлена разработка модификации стандартной модели k-e для сверхзвуковой неизобарической струи. С помощью численного моделирования и верификации с экспериментальными данными было проведено сравнение точности представленной модели с существующими. Численное моделирование осуществлено в ANSYS CFX.

E.V. Shavrina

DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF TURBULENCE MODEL MODIFICATION FOR CALCULATION OF SUPERSONIC ISOBARIC JETS

Keywords: K-e turbulence model modifications, supersonic flow, Zeman turbulence model Zeman, Molchanov turbulence model.

The development of the standard turbulence model k-e modification for supersonic jet non-isobaric is present. Through numerical simulation in ANSYS CFX and verification with experimental data, we compared the accuracy of the presented model with existing ones. Numerical simulation implemented in ANSYS CFX.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й В Е С Т Н И К П О В О Л Ж Ь Я

№6 2016

Направления:
01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА
02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ
05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 21.12.2016 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

11,1 усл.печ.л. 12,8 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 2358.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"
420111, Республика Татарстан, Казань,
ул. Университетская, д.22, оф. 310
Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя
Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 238-32-08

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»