

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№4 2022

Направления:

**1.2.2. (05.13.18) – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ
(технические науки)**

**2.3.1. (05.13.01) – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**2.3.3. (05.13.06) – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ
(технические науки)**

**2.3.5. (05.13.11) – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И
КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**2.3.5. (05.13.11) – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И
КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (технические науки)**

**2.3.6. (05.13.19) – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

**Казань
2022**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №4 2022г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2022. – 224 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvprrt.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» № E12025.

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.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;
В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.; М.В. Шулаев – д.т.н., проф.*

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

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

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Рашин Сайнс, 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

**1.2.2. (05.13.18) — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

<i>А.Ю. Барыкин, Р.М. Галиев, Э.М. Мухаметдинов, Д.И. Нуретдинов, Р.Х. Тахавиев, А.М. Фролов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ НАГРУЖЕННОСТИ БАЛКИ ВЕДУЩЕГО МОСТА В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	9
<i>А.Г. Гягяева, Д.В. Кондратов, Л.И. Могилевич</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ ГИДРОУПРУГОСТИ НЕЛИНЕЙНОЙ ПЛАСТИНЫ В УСЛОВИЯХ ВИБРАЦИЙ	12
<i>С.В. Ерохин, М.Р. Миссюрин</i> О РАСЧЕТЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗКАХ	18
<i>С.А. Капустин, М.С. Нечаева, А.С. Раевский, И.А. Вдовиченко</i> АЛГОРИТМ И СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ С ТОРЦА ОТКРЫТОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА	22
<i>С.А. Капустин, А.С. Раевский, А.Ю. Сedaков, А.А. Титаренко</i> ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА КОЛЛОКАЦИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЗАДАЧАХ РАСЧЕТА НЕРЕГУЛЯРНЫХ ВОЛНОВОДОВ	26
<i>М.В. Таланов, В.М. Таланов</i> РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В БЕЗДАТЧИКОВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ	30
<i>Е.Г. Царькова</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	34

**2.3.1. (05.13.01) — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ,
УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

<i>Р.Р. Абдулов, Н.Е. Кувишинов, А.В. Степура, Г.А. Морозов, Н.Е. Стахова</i> АЛГОРИТМ ИМИТАЦИИ ЦИКЛА «ДЕНЬ-НОЧЬ» ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН АРБУЗА	38
<i>Р.Р. Абдулов, Н.Е. Кувишинов, А.В. Степура, Г.А. Морозов, Н.Е. Стахова</i> СТЕНД ИМИТАЦИИ ЦИКЛА «ДЕНЬ-НОЧЬ» ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН АРБУЗА	41
<i>Д.В. Алексеев, В.И. Баязитова, Л.М. Сарварова, А.А. Василец, Р.Л. Галиуллин</i> МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ	44
<i>Д.В. Алексеев, В.И. Баязитова, Л.М. Сарварова, А.А. Василец, Р.Л. Галиуллин</i> СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	47
<i>Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов, Л.А. Феоктистова, Т.В. Рзаева</i> ОБ УСТОЙЧИВОСТИ В БОЛЬШОМ ОДНОГО КЛАССА СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ И СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ	50
<i>Р.М. Галиев, А.Ю. Барыкин, Р.Ф. Илдарханов, И.И. Салахов, Ф.Л. Назаров, А.И. Имамразыев</i> АНАЛИЗ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	54
<i>Н.А. Гаряев, Ф. Айюб, А.Н. Гаряев</i> ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ НА ВЫЯВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ С ИСТЕКШИМ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ	57
<i>В.В. Гаряева, А.Н. Гаряев</i> ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА	61
<i>Г.А. Герасимова, К.И. Калашников</i> СОЗДАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МИКРОКЛИМАТА В ТЕПЛИЦЕ	64

А.А. Голубничий, А.Д. Яблонцева ФОРМИРОВАНИЕ «БЕЛЫХ СПИСКОВ» ДЛЯ СОЗДАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЮРКСКИХ ЯЗЫКОВ, ПОСТРОЕННЫХ НА РАСШИРЕННЫХ КИРИЛЛИЧЕСКИХ АЛФАВИТАХ	67
Т.Г. Дмитриева, Г.Г. Хамнаева ИНТЕНСИВНОЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	71
Ю.Ж. Дондоков, А.В. Базан, В.А. Балданова АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА	74
Н.И. Зонов, Д.В. Моисеев АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА. ЧАСТЬ III. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСТРОИЗМЕРЕНИЙ	77
Н.И. Зонов, Д.В. Моисеев АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА. ЧАСТЬ IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСТРОИЗМЕРЕНИЙ	83
Н.И. Кондакова, Т.М. Коменданова, Н.А. Хлебников, А.В. Базан СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ КОМПЛЕКСА ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И УСТРОЙСТВ	89
Е.Н. Леонов, Р.А. Кудряшов МИКРОТУРБИНЫЕ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ	92
А.Н. Максимов, А.А. Александров, В.Д. Романов МЕТОД ЧТЕНИЯ КАДРОВ С ВИДЕОКАМЕР И РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ В ПРОГРАММАХ НА ЯЗЫКАХ СТАНДАРТА IEC 61499	96
И.Ф. Нафиков, И.И. Нуреев, С.В. Васильев, А.Н. Пикулев, Н.В. Дорогов ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛЕТА ДРОНОВ	99
И.Ф. Нафиков, И.И. Нуреев, С.В. Васильев, А.Н. Пикулев, Н.В. Дорогов ЛАЗЕРНЫЕ СРЕДСТВА КАК ОСНОВА ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛЕТА ДРОНОВ	103
А.С. Полянина СИНТЕЗ УСТОЙЧИВОГО ДВИЖЕНИЯ В СТРУКТУРНОЙ СХЕМЕ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩИМИ РОБОТАМИ	107
Р.Р. Раупов, В.В. Афанасьев ШУМОВАЯ МАСКИРОВКА ФАЗОВОЙ МАНИПУЛЯЦИИ СИГНАЛАМИ МНОГОЛЕПЕСТКОВЫХ ДИСКРЕТНО-НЕЛИНЕЙНЫХ JERK СИСТЕМ	111
Л.О. Федосова ПОДГОТОВКА СИНТЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	114
А.С. Филатов, Е.Э. Куклина, И.В. Николаева ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ	118
С.В. Харлашина, Д.К. Лобанов, Т.Г. Орешенко, Н.В. Штабель, Е.Г. Баранова СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ТОКОВЫРАВНИВАНИЯ	121
Ш.Т. Юсупов, Н.Д. Балданов ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИИ	126
В.Д. Яковлева, А.С. Семиусова ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	130

2.3.3. (05.13.06) — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

Г.А. Гареева, Д.К. Садыков, Ю.А. Яшина, Э.И. Ахатова, Д.Р. Григорьева РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ НОРМАТИВА ЗАПАСОВ ПРОДУКЦИИ	133
В.А. Егоров, П.М. Цымбалов СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МНОГООСЕВЫМ ПОЗИЦИОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ШТАМПОВОЧНО-ПРЕССОВОЙ МАШИНЫ	137

<i>С.В. Костин</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КИНЕМАТИКИ ДЕЛЬТА-РОБОТА ДЛЯ СОРТИРОВКИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ	142
<i>С.В. Кунев, М.О. Давыдов</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ПОВЕРКЕ СЧЕТЧИКОВ ГАЗА	145
<i>Е.Н. Леонов, И.Н. Гладков</i> ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВИРТУАЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИНДУСТРИИ 4.0	148
<i>Т.Г. Орешенко, Д.К. Лобанов, Е.Г. Баранова, С.В. Харлашина</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СТЫКОМ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧЕМ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ ПОРООБРАЗОВАНИЯ	152
<i>А.В. Пенязь, П.Р. Черепанова, Я.И. Шамлицкий</i> АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТЕВОГО ОБЩЕНИЯ	160
<i>Н.Г. Семенова, А.М. Семенов, Л.А. Влацкая</i> НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЕТРО-ДИЗЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА	164
<i>Л.А. Симонова, В.Н. Гильман</i> СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ФОРМИРОВАНИЮ ПОГРЕШНОСТЕЙ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СИЛОВОГО ЗУБОТОЧЕНИЯ POWER SKIVING	169
<i>Л.А. Симонова, В.Н. Гильман</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ СТАНОЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ ЗУБОТОЧЕНИЯ POWER SKIVING	173

2.3.5. (05.13.11) — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

<i>Т.Н. Титова</i> НАХОЖДЕНИЕ НОРМАЛЬНОГО ВИДА КВАДРАТИЧНОГО ГАМИЛЬТОНИАНА	177
--	-----

2.3.5. (05.13.11) — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

<i>В.И. Курир</i> СПОСОБЫ 3D ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ЛОПАСТИ РАДИАЛЬНО-ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНЫ ФРЕНСИСА	182
<i>А.В. Лаздин, А.А. Смирнова</i> МНОГОПОТОЧНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНЫХ СИСТЕМ	188
<i>Д.В. Огородников, А.И. Кононова, А.В. Городилов, П.А. Трещановский</i> АЛГОРИТМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОТОКОЛОВ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ СЕТЕВЫХ СВЯЗЕЙ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОММУТАТОРАХ	193
<i>М.Ю. Ромашихин</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПЛИС ДЛЯ РАБОТЫ СО ЗВУКОВЫМИ СИГНАЛАМИ	196
<i>А.Б. Сорокин, Р.Э. Семенов, Л.М. Железняк</i> ВИРТУАЛЬНЫЙ РОБОТ МОНИТОРИНГА ПУБЛИКАЦИЙ	200
<i>М.Ю. Шрейдер, А.Д. Тарасов, А.М. Осипова, О.В. Антонова, И.А. Синотов</i> МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ	203

2.3.6. (05.13.19) — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Е.В. Бурькова, А.А. Рычкова</i> НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КАТЕГОРИРОВАНИЯ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ КАК СУБЪЕКТА КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ	207
--	-----

THE RELEASE MAINTENANCE

1.2.2. (05.13.18) — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

<i>A.Yu. Barykin, R.M. Galiev, E.M. Mukhametdinov, D.I. Nuretdinov, R.Kh. Takhaviev, A.M. Frolov</i> MODELING OF LOAD FACTORS OF THE DRIVE AXLE BEAM IN DIFFICULT OPERATING CONDITIONS	9
<i>A.G. Gyagyaeva, D.V. Kondratov, L.I. Mogilevich</i> ANALYSIS OF PROBLEMS OF HYDROELASTICITY OF NONLINEAR PLATES UNDER VIBRATION CONDITIONS	12
<i>S.V. Erokhin, M.R. Missyurin</i> ON THE CALCULATION OF THE MECHANICAL STABILITY OF HIGH-RISE BUILDINGS UNDER WIND LOADS	18
<i>S.A. Kapustin, M.S. Nechaeva, A.S. Raevskii, I.A. Vdovichenko</i> ALGORITHM AND METHOD FOR FORMING A PRESENT DISTRIBUTION OF THE RADIATION FIELD FROM THE END OF AN OPEN DIELECTRIC WAVEGUIDE	22
<i>S.A. Kapustin, A.S. Raevskii, A.Yu. Sedakov, A.A. Titarenko</i> ON THE FEATURES OF APPLYING THE COLLOCATION METHOD TO SOLVING INTEGRAL EQUATIONS IN PROBLEMS OF CALCULATION OF IRREGULAR WAVEGUIDES	26
<i>M.V. Talanov, V.M. Talanov</i> REGRESSION MODEL FOR INDUCTION MOTOR ELECTRICAL PARAMETERS IDENTIFICATION IN SENSORLESS DRIVE CONTROL SYSTEMS	30
<i>E.G. Tsarkova</i> MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMIC NEURAL NETWORK TRAINING	34

2.3.1. (05.13.01) — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING

<i>R.R. Abdulov, N.E. Kuvshinov, A.V. Stepura, G.A. Morozov, N.E. Stakhova</i> ALGORITHM FOR IMITATION OF THE "DAY-NIGHT" CYCLE FOR PRE-SOWING TREATMENT OF WATERMELON SEEDS	38
<i>R.R. Abdulov, N.E. Kuvshinov, A.V. Stepura, G.A. Morozov, N.E. Stakhova</i> THE "DAY-NIGHT" CYCLE IMITATION STEND FOR PRE-SOWING TREATMENT OF WATERMELON SEEDS	41
<i>D.V. Alekseev, V.I. Bayazitova, L.M. Sarvarova, A.A. Vasilets, R.L. Galiullin</i> MOBILE TRAFFIC DENSITY MONITORING SYSTEM BASED ON BRAGG GRATINGS WITH PHASE SHIFT	44
<i>D.V. Alekseev, V.I. Bayazitova, L.M. Sarvarova, A.A. Vasilets, R.L. Galiullin</i> TRAFFIC DENSITY CONTROL SYSTEM BASED ON DISTRIBUTED ACOUSTIC MONITORING	47
<i>F.D. Bairamov, B.F. Bairamov, L.A. Feoktistova, T.V. Rzaeva</i> ABOUT STABILITY IN LARGE OF ONE CLASS OF SYSTEMS WITH DISTRIBUTED AND LUMPED PARAMETERS	50
<i>R.M. Galiev, A.Yu. Barykin, R.F. Ildarkhanov, I.I. Salakhov, F.L. Nazarov, A.I. Imamraziev</i> ANALYSIS AND METHODS OF IMPROVING THE RELIABILITY OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE	54
<i>N.A. Garyaev, F. Ayoub, A.N. Garyaev</i> PROCESSING OF INFORMATION OF A DIGITAL BUILDING MODEL TO DETECT ELEMENTS OF ENGINEERING COMMUNICATIONS WITH AN EXPIRED SERVICE LIFE	57
<i>V.V. Garyaeva, A.N. Garyaev</i> INFORMATION PROCESSING DURING BUILDING DESIGN AUTOMATION USING GENERATIVE DESIGN TECHNOLOGY	61

<i>G.A. Gerasimova, K.I. Kalashnikov</i> CREATING AN OPTIMAL MICROCLIMATE IN A GREENHOUSE	64
<i>A.A. Golubnichiy, A.D. Yablontseva</i> FORMATION OF "WHITE LISTS" TO CREATE A UNIVERSAL SYSTEM OF RECOGNITION OF TURKIC LANGUAGES BUILT ON THE EXPANDED CYRILLIC ALPHABETS	67
<i>T.G. Dmitrieva, G.G. Khamnaeva</i> INTENSIVE DEVELOPMENT OF REMOTE SENSING SYSTEMS	71
<i>Yu.Zh. Dondokov, A.V. Bazan, V.A. Baldanova</i> RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF ROAD TRANSPORT	74
<i>N.I. Zonov, D.V. Moiseev</i> AUTONOMOUS GEO-SATELLITES NAVIGATION. PART III. MATHEMATICAL MODELS OF NAVIGATION PROCESS BY USING ASTRONAVIGATION	77
<i>N.I. Zonov, D.V. Moiseev</i> AUTONOMOUS GEO-SATELLITES NAVIGATION. PART IV. THE NUMERICAL SIMULATION RESULTS OF NAVIGATION PROCESSES USING ASTROMEASUREMENTS	83
<i>N.I. Kondakova, T.M. Komendanova, N.A. Hlebnikov, A.V. Bazan</i> WATER SUPPLY SYSTEMS OF THE COMPLEX OF ENGINEERING STRUCTURES AND DEVICES	89
<i>E.N. Leonov, R.A. Kudryashov</i> MICROTURBINE GENERATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES FOR THEIR CONNECTION TO THE ELECTRICAL NETWORK	92
<i>A.N. Maximov, A.A. Alexandrov, V.D. Romanov</i> THE METHOD OF READING FRAMES FROM VIDEO CAMERAS AND IMPLEMENTING ALGORITHMS FOR PROCESSING VIDEO IMAGES IN PROGRAMS IN THE LANGUAGES OF THE IEC 61499 STANDARD	96
<i>I.F. Nafikov, I.I. Nureev, S.V. Vasiliev, A.N. Pikulev, N.V. Dorogov</i> PROMISING METHODS FOR PROCESSING THE RESULTS OF TRAJECTORY MEASUREMENTS OF DRONES FLIGHT	99
<i>I.F. Nafikov, I.I. Nureev, S.V. Vasiliev, A.N. Pikulev, N.V. Dorogov</i> LASER TOOLS AS THE BASIS FOR TRAJECTORY MEASUREMENTS OF DRONE FLIGHT	103
<i>A.S. Polyanina</i> SYNTHESIS OF STABLE MOVEMENT IN THE STRUCTURAL SCHEME OF WALKING ROBOTS CONTROL ELEMENTS	107
<i>R.R. Raupov, V.V. Afanasiev</i> PHASE-SHIFT KEYING NOISE MASKING BY DISCRETE-NONLINEAR MULTI-SCROLL JERK CIRCUIT SIGNALS	111
<i>L.O. Fedosova</i> PREPARATION OF SYNTHETIC DATA FOR DIAGNOSTICS OF TECHNICAL OBJECTS USING NEURAL NETWORKS	114
<i>A.S. Filatov, E.E. Kuklina, I.V. Nikolaeva</i> APPLICATION OF ROBOTIC TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE	118
<i>S.V. Kharlashina, D.K. Lobanov, T.G. Oreshenko, N.V. Shtabel, E.G. Baranova</i> COMPATATIVE ANALYSIS OF THE CURRENT LEVELING'S METHODS	121
<i>Sh.T. Yusupov, N.D. Baldanov</i> RESEARCH OF INFORMATION SUPPORT IN LAND USE	126
<i>V.D. Yakovleva, A.S. Semiusova</i> APPLICATION OF ELECTROTOMOGRAPHY METHODS IN THE STUDY OF THE STATE OF HYDRAULIC STRUCTURES	130

2.3.3. (05.13.06) — TECHNICAL SCIENCES — AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION

<i>G.A. Gareeva, D.K. Sadykov, Y.A. Yashina, E.I. Akhatova, D.R. Grigoreva</i> DEVELOPMENT OF SOFTWARE COMPONENTS FOR AUTOMATING CALCULATIONS OF PRODUCT INVENTORY STANDARDS	133
<i>V.A. Egorov, P.M. Tsymbalov</i> CONTROL SYSTEM FOR MULTI-AXIS POSITIONAL ELECTRIC DRIVE OF FORMING AND PRESSING MACHINE	137

<i>S.V. Kostin</i> EFFICIENCY EVALUATION OF AUTOMATIC KINEMATIC PROBLEMS SOLUTION FOR WASTE SORTING DELTA-ROBOT	142
<i>S.V. Kunev, M.O. Davydov</i> AUTOMATION OF THE PROCESS OF DETERMINING THE ERROR DURING VERIFICATION OF GAS METER	145
<i>E.N. Leonov, I.N. Gladkov</i> MAIN REQUIREMENTS FOR VIRTUAL POWER PLANTS WHEN INTEGRATION INTO POWER SYSTEMS USING INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES	148
<i>T.G. Oreshenko, D.K. Lobanov, E.G. Baranova, S.V. Kharlashina</i> AUTOMATION OF THE PROCESSES OF JOINT TRACKING AND ELECTRONIC BEAM CONTROL TO REDUCE POROING	152
<i>A.V. Penyaz, P.R. Cherepanova, Ya.I. Shamlitsky</i> ANALYSIS OF SOFTWARE TOOLS FOR ORGANIZING NETWORK COMMUNICATION	160
<i>N.G. Semenova, A.M. Semenov, L.A. Vlatskaya</i> FUZZY CONTROL OF THE MODES OF OPERATION OF THE WIND-DIESEL COMPLEX	164
<i>L.A. Simonova, V.N. Gilman</i> A SYSTEM APPROACH TO THE AUTOMATED FORMATION OF ERRORS OF THE STRUCTURAL ELEMENTS OF THE POWER SKIVING TECHNOLOGICAL PROCESS	169
<i>L.A. Simonova, V.N. Gilman</i> MODELING OF ERRORS OF A TECHNOLOGICAL EQUIPMENT SYSTEM ON THE EXAMPLE OF POWER SKIVING	173

2.3.5. (05.13.11) — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS

<i>T.N. Titova</i> FINDING THE NORMAL FORM OF THE QUADRATIC HAMILTONIAN	177
---	-----

2.3.5. (05.13.11) — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS

<i>V.I. Kurir</i> METHODS OF 3D PARAMETRIZATION OF THE BLADE OF A RADIAL-AXIAL FRANCIS HYDRAULIC TURBINE	182
<i>A.V. Lazdin, A.A. Smirnova</i> MULTITHREADED APPROACH FOR MODELING NON-DETERMINISTIC DISCRETE-EVENT SYSTEMS	188
<i>D.V. Ogorodnikov, A.I. Kononova, A.V. Gorodilov, P.A. Treschanovsky</i> ALGORITHMS FOR IMPLEMENTING NETWORK CONNECTION REDUNDANCY PROTOCOLS IN DOMESTIC INDUSTRIAL SWITCHES	193
<i>M.Y. Romashikhin</i> THE USE OF FPGAS FOR WORKING WITH AUDIO SIGNALS	196
<i>A.B. Sorokin, R.E. Semenov, L.M. Zheleznyak</i> VIRTUAL PUBLICATION MONITORING ROBOT	200
<i>M.Yu. Schrader, A.D. Tarasov, A.M. Osipova, O.V. Antonova, I.A. Synotov</i> MOBILE APP AS AN ELEMENT OF EDUCATION DIGITALIZATION	203

2.3.6. (05.13.19) — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — METHODS AND SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY, INFORMATION SECURITY

<i>E.V. Burkova, A.A. Rychkova</i> SOME ASPECTS OF CATEGORIZING A HIGHER EDUCATION INSTITUTION AS A SUBJECT OF CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE	207
--	-----

ABSTRACTS	210
------------------	-----

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ — 1.2.2. (05.13.18)**

1.2.2. (05.13.18)

¹А.Ю. Барыкин канд. техн. наук, ¹Р.М. Галиев канд. техн. наук,
²Э.М. Мухаметдинов канд. техн. наук, ¹Д.И. Нуретдинов канд. техн. наук,
¹Р.Х. Тахавиев, ³А.М. Фролов канд. техн. наук

Набережночелнинский институт
ФГАОУ ВО «Казанский (Поволжский) федеральный университет»,
автомобильное отделение,
¹кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта»,
aleks-jb@mail.ru,
²кафедра «Сервис транспортных систем»,
³кафедра «Механика и конструирование»,
Набережные Челны

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ НАГРУЖЕННОСТИ БАЛКИ
ВЕДУЩЕГО МОСТА В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

В статье предложены пути исследования рабочих режимов нагружения балки ведущего моста грузового автомобиля. На основании данных дорожных испытаний обоснована необходимость учёта влияния факторов окружающей среды. Приведены расчётные зависимости, позволяющие оценить степень воздействия внешних факторов на прочность и безотказность ведущих мостов.

Ключевые слова: *грузовой автомобиль, неподрессоренная масса, балка ведущего моста, нагрузочный режим, коэффициент динамичности, температура воздуха, реакция опорной поверхности*

Ходовая часть автомобиля испытывает воздействие разнообразных нагрузок, особенно при эксплуатации в зимнее время года. Согласно требованиям, предъявляемым при конструировании, балка ведущего моста должна быть достаточно жёсткой при ограниченных массовых и габаритных параметрах [1]. Необходимость выполнения таких условий вызвана тем, что балка является базовой деталью для привода ведущих колёс, а в ряде конструкций – базовой деталью главной передачи. Поэтому стабильность размерных цепей, люфтов и натягов, предусматриваемых в конструкции, является залогом надёжной работы трансмиссии при воздействии внешних факторов [2].

На современных грузовых автомобилях применяются, как правило, неразъёмные балки ведущих мостов типа «банджо» (рис. 1). По технологии изготовления они чаще всего представляют собой штампованные конструкции из листовой низкоуглеродистой стали. Обеспечение прочности и жесткости такой балки достигается проведением проектировочных расчётов, учитывающих различные режимы движения автомобиля.

При этом традиционные расчётные методики не учитывают в должной мере влияние условий эксплуатации. Специфика работы подвижного состава автомобильного транспорта в Российской Федерации предполагает воздействие значительных перепадов температур и подвижности воздушных потоков, существенное изменение сцепных свойств и рельефа опорной поверхности, определяемое состоянием проезжей части и наличием атмосферных осадков.

Анализ причин неисправностей и отказов ходовой части грузовых автомобилей КАМАЗ показывает, что в ряде случаев тяжёлые условия эксплуатации являются причиной сокращения ресурса деталей и механизмов [3, 4]. При этом одновременное воздействие различных факторов может существенно повысить нагруженность, вследствие чего расчётный запас прочности окажется явно недостаточным.



Рис. 1 – Балка среднего ведущего моста автомобиля КАМАЗ
в зимних условиях эксплуатации

В условиях зимней эксплуатации грузовых автомобилей необходимо принимать во внимание следующие весомые факторы нагруженности непродессоренной части автомобиля.

- Значительные нагрузки на базовые детали, в частности, на балку ведущего моста, от действия тяговых сил. Движение в условиях значительного сопротивления внешних сил, характерного для зимних дорог, совершается за счёт реализации значительной суммарной силы тяги, создающей попутно изгибные и крутящие нагрузки на детали.

- Широкий диапазон амплитуд и частот вертикальных опорных реакций на колёсах, определяемый как неровностями дороги, так и уровнем повышения жёсткости подвески вследствие влияния на упругие элементы отрицательных температур воздуха.

- Ослабление прочностных параметров деталей вследствие явления хладноломкости, проявляющегося по мере усиления подвижности и понижения температуры атмосферного воздуха.

- Возникновение температурных градиентов в различных зонах базовых деталей, вызванных нагревом от работающих пар трения и трансмиссионного масла, с одной стороны, и охлаждением от направленных потоков воздуха, с другой стороны.

Воздействие одного из факторов может не привести к ускоренному отказу деталей, а их сочетание в определённых дорожно-климатических условиях способствует понижению уровня безотказности. Данную проблему необходимо принимать во внимание при выборе методики расчёта и определении размеров и конфигурации деталей, материала, способов упрочнения. При возможности обогрева деталей следует учесть возникающие температурные градиенты, исходя из расчёта теплового баланса соответствующих узлов [5].

Расчёт балки ведущего моста в автомобильной науке проводят для частных случаев прямолинейного движения, заноса и динамического нагружения от вертикальных реакций [1, 6]. Такая методика позволяет оценить воздействие передаваемых усилий или реакций дороги в различных ситуациях. Однако влияние окружающей среды не принимается во внимание, что может привести к неточности в расчётах. Для автомобилей, эксплуатируемых в умеренном и арктическом климате, следует учитывать снижение нагрузочной способности деталей из-за чрезмерного охлаждения и динамических нагрузок.

Кроме того, в эксплуатации возможны случаи сложного нагружения деталей, когда при заносе автомобиля боковая реакция определяется не только состоянием проезжей части, но и наличием опорных препятствий (бордюрных камней и др.). Вероятность отказа вследствие поломки или деформации деталей в такой ситуации существенно повышается.

На основании проведённых исследований эксплуатационной надёжности ходовой части грузовых автомобилей предлагаются следующие расчётные зависимости, основанные на

классической методике [1] и позволяющие уточнить значения нагрузочных факторов при движении в сложных условиях.

Максимальный изгибающий момент в вертикальной плоскости балки моста при заносе определяется по формуле:

$$M_{iy\max} = R_z \cdot l + R_y \cdot k_{dy} \cdot (1 - \lambda \cdot T_{at}) \cdot r_k,$$

где R_z – нормальная реакция опорной поверхности; R_y – боковая реакция на колесе; l – расстояние между плоскостями симметрии колеса и опорной площадки упругого элемента (рессоры); k_{dy} – коэффициент динамичности при боковом контакте; λ – коэффициент, учитывающий снижение прочности балки в зимних условиях; T_{at} – температура воздуха; r_k – радиус качения колеса.

Изгибающий момент в вертикальной плоскости балки моста при динамическом нагружении и прямолинейном движении определяется по формуле:

$$M_{idin} = R_z \cdot k_{dx} \cdot (1 - \lambda \cdot T_{at}) \cdot l,$$

где k_{dx} – коэффициент динамичности при наезде на препятствие.

Коэффициент λ определяется по данным эксплуатационных испытаний в зависимости от материала детали, уровня температурных градиентов и степени подвижности атмосферного воздуха.

Применение предложенных зависимостей позволит, по мнению авторов, повысить точность расчётов и уменьшить вероятность отказов ведущих мостов грузовых автомобилей.

Список литературы

1. Вахламов В.К. Автомобили : Конструкция и элементы расчёта : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. К. Вахламов. – Москва: Издательский центр «Академия», 2006. – 480 с. – Текст: непосредственный.
2. Жуманов Р.М. Исследование нагруженности ведущих мостов грузового автомобиля / Р. М. Жуманов. – Текст: непосредственный // Вестник науки. – 2021. Т. 4. – № 12 (45). – С. 199-204.
3. Барыкин А.Ю. Оценка факторов, определяющих условия эксплуатации привода колёс / А. Ю. Барыкин, М. М. Мухаметдинов. – Текст: электронный // Архитектурно-строительный и дорожный комплексы: проблемы, перспективы, новации. Материалы Международной научно-практической конференции, 7-9 декабря 2016. – Омск: СибАДИ, 2016. – С. 541-545. – Режим доступа <http://bek.sibadi.org/fulltext/ed2224.pdf>
4. Лоскутов М.А. Причины выхода из строя ведущих мостов большегрузных автомобилей в процессе эксплуатации / М. А. Лоскутов, Н. П. Мамаков, М. М. Мухаметдинов, В. А. Токарев. – Текст: непосредственный // Гуманитарные, естественно-научные и технические решения современности в условиях цифровизации. Материалы XII Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Южный университет «ИУБИП», ООО «Издательство ВВМ», 2021. – С. 223-225.
5. Барыкин А.Ю. Оценка затрат энергии в процессе зимней эксплуатации ведущего моста грузового автомобиля / А.Ю. Барыкин, Р.Х. Тахавиев. – Текст: непосредственный // Энергосбережение. Наука и образование: сборник докладов Международной конференции. – Набережные Челны: ИПЦ Набережночелнинского института К(П)ФУ, 2017. – С. 52-57.
6. Оsepчугов В.В. Автомобиль: Анализ конструкций, элементы расчета: Учебн. для студ. вузов по спец. «Автомобили и автомобильное хозяйство» / В. В. Оsepчугов, А. К. Фрумкин. – Москва: Машиностроение, 1989. – 304 с. – Текст: непосредственный

1.2.2. (05.13.18)

¹А.Г. Гягяева, ²Д.В. Кондратов, ³Л.И. Могилевич

¹Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации,
Саратов, gyagaevaa@mail.ru,

²Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Институт проблем точной механики и управления
Российской академии наук (ИПТМУ РАН),
Саратовский национальный исследовательский государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского,
Саратов, kondratovdv@yandex.ru,

³Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Саратов, mogilevichli@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ ГИДРОУПРУГОСТИ НЕЛИНЕЙНОЙ ПЛАСТИНЫ В УСЛОВИЯХ ВИБРАЦИЙ

В работе представлено решение задачи гидроупругости взаимодействия геометрически нелинейной пластины с вязкой несжимаемой жидкостью в условиях колебаний. Была обозначена необходимость исследования задач гидроупругости геометрически нелинейных пластин с вязкой несжимаемой жидкостью в условиях колебаний. Построена математическая модель механической системы и приведен ход решения.

Ключевые слова: *вязкая несжимаемая жидкость, упругая геометрически нерегулярная пластина, абсолютно жесткое тело.*

В современном мире огромную роль в жизни человека играют различные конструкции, в частности - тонкостенные конструкции, взаимодействующие с вязкой несжимаемой жидкостью, которые используются в машиностроении, приборостроении, авиационной и космической промышленности [1-11]. Такие конструкции, подверженные вибрациям от внешних источников в рабочих режимах, чаще всего выполняются тонкостенными для минимизации веса.

Использование вязкой несжимаемой жидкости, расположенной между элементами конструкции позволяет уменьшить критические показатели вибрации элементов конструкций в рабочих режимах. Таким образом, решение задач гидроупругости нелинейных пластин в условиях вибраций достаточно актуально и востребовано в настоящее время.

Решением задач взаимодействия гидроупругости геометрически нелинейных пластин с вязкой несжимаемой жидкостью в условиях колебаний занимались многие российские и зарубежные ученые. Скородумов Е.С., Кондратов Д.В., Кузнецова Е.Л., Могилевич Л.И., Попов В.С. в [1] изучали динамику вибрирующих колебаний упругих конструкций, на примере плоской ребристой пластины, и абсолютно жесткого штампа, взаимодействующих с жидкостью, найденные ими аналитические решения позволяют исследовать напряженно-деформированное состояние пластины, давление в жидкости, а также амплитудно-частотные характеристики штампа и частотозависимую функцию распределения прогибов ребристой пластины-полоски.

Агеевым Р.В., Могилевичем Л.И., Поповым В.С. в своих работах [2] исследовали установившиеся гармонические колебания двух пластин, взаимодействующих со слоем вязкой жидкости для случая пульсирующего потока. Динамика взаимодействия пластины переменной толщины с пульсирующим слоем вязкой жидкости, в том числе в размерном и безразмерном виде, исследовалась в [3]

Коллективом авторов [4] проводился натурный эксперимент по исследованию динамических процессов гидроупругости ребристой пластины с пульсирующим слоем вязкой несжимаемой жидкости и абсолютно твердым подвижным демпфером, были сформулированы законы движения вибратора и прогиб ребристой пластины. Блинковой О.В. и Кондратовым Д.В. в [5] проводился анализ математической модели динамики взаимодействия многослойных пластин с вязкой сжимаемой жидкостью в щелевом канале, где первая пластина является абсолютно жесткой и совершает гармонические колебания в вертикальной плоскости, вторая представляет собой упругую трехслойную пластину с легким несжимаемым наполнителем.

Динамическая задачи гидроупругости пластины в плоской постановке с сильновязкой несжимаемой жидкостью, установленной на упругом основании Винклера решалась в работе Блинковой А.Ю., Ковалевой И.А. и Поповым В. С. [6], с применением метода возмущений ими были найдены гидродинамические параметры слоя вязкой жидкости и прогибы пластины.

С.А. Бочкарев и С.В. Лекомцев в [7] проводили анализ аэроупругой устойчивости пластины при взаимодействии с текущей жидкостью, где деформации пластины определяли с помощью теории, основанной на гипотезах Тимошенко. Исследование динамического взаимодействия тонкостенных тонкостенных пластин и цилиндрических оболочек с неподвижной или текущей вязкой сжимаемой жидкостью, с использованием метода конечных элементов проводилось в работе [8]. В работе [9] коллективом исследователей R. G. Mukharlyamov, M. Amabili, R. Garziera, K. Riabova исследовалась устойчивость нелинейных колебаний двухгранных неглубоких оболочек с прямоугольной границей, подвергаемых гармоническому возбуждению, на теориях оболочек Доннелла и Новожилова.

Нелинейные вынужденные колебания прямоугольных пластин, несущих центральную сосредоточенную массу с использованием нелинейной теории пластин фон Кармана являлись объектом исследования М. Amabili [10]. В работе [11] исследован «метод динамического анализа оболочечных конструкций, частично заполненных жидкостью», основанный на определении давления жидкости из системы сингулярных интегральных уравнений, дифференциальные уравнения переходной задачи решаются численно методом Рунге-Кутты 4-го и 5-го порядков.

Однако остаются малоисследованными задачи гидроупругости взаимодействия геометрически нерегулярных нелинейных пластин с вязкой несжимаемой жидкостью в условиях вибрации.

Построим модель механической системы (Рис. 1), состоящий из 1 - абсолютно жесткого тела (вибратор); 2 - упругая ребристая, прямоугольная пластина (статор) и 3 - вязкая несжимаемая жидкость.

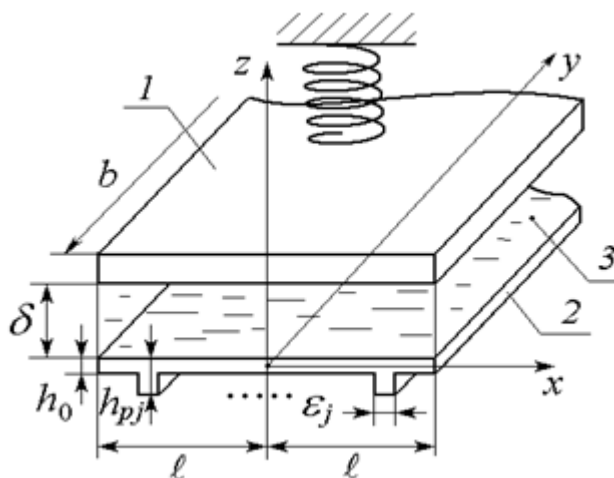


Рис. 1 – Модель механической системы
(1 - вибратор; 2 - статор; 3 - вязкая несжимаемая жидкость).

Вибратор имеет ширину 2ℓ и длину $b \gg 2\ell$ и совершает в вертикальной плоскости колебания по гармоническому закону $z = \delta(t) = \delta_0 + z_m f_2(\omega t)$. При этом частота его колебаний ω , а амплитуда колебаний вибратора z_m .

Внутренняя поверхность статора, находящаяся в контакте с жидкостью, является плоской, а внешняя поверхность имеет n ребер жесткости. Толщина статора на участках, где отсутствуют ребра жесткости, равна h_0 . Высота j -го ребра равна h_{pj} , а его ширина ε_j .

Статор на торцах имеет шарнирное опирание.

Вязкая несжимаемая жидкость 3 полностью заполняет щелевой зазор между абсолютно твердым вибратором и упругим геометрически нерегулярным статором. На торцах сторон b имеются торцевые уплотнители, и истечение жидкости через эти торцы отсутствует. При этом предполагается, что на торцах 2ℓ сторон торцевые уплотнители отсутствуют, и жидкость из щелевых зазоров вдоль сторон 2ℓ (вдоль оси x) может свободно истекать в окружающую жидкость, постоянный уровень давления в которой равен p_0 . Кроме того, на левом и правом торцах считаются заданными законы пульсации давления над постоянным уровнем p_0 . Вибратор имеет подвес, который обладает упругой жесткостью. Опора находится под воздействием виброускорения (т.е. считается установленной на вибрирующем основании).

Для решения задачи анализа динамики гидроупругости нелинейных геометрически нерегулярных пластин в условиях вибраций были выбраны безразмерные переменные.

Учитывая, что $b \gg 2\ell$ и рассматривая упрощенную задачу ($\frac{\partial}{\partial y} \ll \frac{\partial}{\partial x}$), введена декартова система координат $Oxyz$, связанная с координатной поверхностью статора, и следующие безразмерные переменные и малые параметры:

$$\zeta = \frac{z - h_0/2}{\delta_0}, \xi = \frac{x}{\ell}, \tau = \omega t, V_z = z_m \omega U_\zeta, V_x = \frac{z_m \omega}{\psi} U_\xi, U = u_m U_1, W = w_m U_3, \\ p = p_0 - \rho \ddot{z}_0 (z - \delta_0 - \frac{h_0}{2} - z_m f_2(\omega t)) + \frac{\rho \nu z_m \omega}{\delta_0 \psi^2} P, \quad (1)$$

где $\psi = \delta_0 / \ell \ll 1$ – относительная толщина слоя жидкости, $\lambda = z_m / \delta_0 \ll 1$ – относительная амплитуда колебаний вибратора, δ_0 – средняя толщина слоя жидкости в зазоре, V_x, V_z – компоненты скорости жидкости; U, W – продольное перемещение и прогиб упругой пластины; ρ, ν – плотность и коэффициент кинематической вязкости жидкости, p – давление жидкости.

Математическая модель представляет собой уравнения динамики жидкости, описывающая поведения вязкой несжимаемой жидкости и соответствующие граничные условия, а также уравнений динамики нелинейной нижней ребристой пластины с граничными условиями свободного опирания пластины. Полученная математическая модель будет исследоваться методом возмущений.

Уравнения динамики жидкости, описывающие поведение вязкой несжимаемой жидкости в нулевом приближении по ψ приведены ниже:

$$\frac{\omega \delta_0^2}{\nu} \left[\frac{\partial U_\xi}{\partial \tau} + \lambda \left(U_\xi \frac{\partial U_\xi}{\partial \xi} + U_\zeta \frac{\partial U_\xi}{\partial \zeta} \right) \right] = - \frac{\partial P}{\partial \xi} + \frac{\partial^2 U_\xi}{\partial \zeta^2}, \quad (2) \\ \frac{\partial P}{\partial \zeta} = 0, \quad \frac{\partial U_\xi}{\partial \xi} + \frac{\partial U_\zeta}{\partial \zeta} = 0,$$

В качестве граничных условий задачи выступают:

- условия прилипания жидкости к вибратору и пластине

$$U_{\xi}=0, U_{\zeta}=\frac{df_z(\tau)}{d\tau} \text{ при } \zeta=1+\lambda f_z(\tau),$$

$$U_{\xi}=0, U_{\zeta}=\frac{w_m}{z_m} \frac{\partial U_3}{\partial \tau} \text{ при } \zeta=\lambda \frac{w_m}{z_m} U_3, \quad (3)$$

- условия свободного торцевого истечения жидкости:

$$P=0 \text{ при } \xi=\pm 1; \quad (4)$$

Проводя решение уравнений (2) с учетом граничных условий (3) и (4), были получены выражения для параметров слоя вязкой несжимаемой жидкости в нулевом приближении по λ :

$$P=\frac{1}{2}(\xi^2-1)\left[2\varepsilon^2\alpha(\omega)\frac{d^2f_z}{d\tau^2}12\gamma(\omega)\frac{df_z}{d\tau}\right]+\frac{w_m}{z_m}\int\int\left[2\varepsilon^2\alpha(\omega)\frac{\partial^2U_3}{\partial\tau^2}+12\gamma(\omega)\frac{\partial U_3}{\partial\tau}\right]d\xi d\zeta+\\ +\frac{1}{2}(\xi-1)\frac{w_m}{z_m}\int\int\left[2\varepsilon^2\alpha(\omega)\frac{\partial^2U_3}{\partial\tau^2}+12\gamma(\omega)\frac{\partial U_3}{\partial\tau}\right]d\xi d\zeta \quad (5)$$

Тогда уравнений динамики нелинейной нижней ребристой пластины в безразмерных переменных с учетом решения (5) приняли вид:

$$\frac{Eh_0}{1-\mu_0^2}\left\{\frac{u_m}{l^2}\cdot\frac{\partial^2U_1}{\partial\zeta^2}+\frac{w_m^2}{l^3}\cdot\frac{\partial U_3}{\partial\zeta}\cdot\frac{\partial^2U_3}{\partial\zeta^2}+\sum_{j=1}^n\left[\left(\frac{u_m}{l^2}\cdot\frac{\partial^2U_1}{\partial\zeta^2}+\frac{w_m^2}{l^3}\cdot\frac{\partial U_3}{\partial\zeta}\cdot\frac{\partial^2U_3}{\partial\zeta^2}\right)k_{1j}+\right.\\ \left.+\frac{w_m}{l^3}\cdot\frac{\partial^3U_3}{\partial\zeta^3}\cdot\frac{h_0}{2}k_{2j}\right]\Delta\Gamma_{xj}\Big\}=\rho_0h_0\omega^2\frac{\partial^2}{\partial\tau^2}\left[u_mU_1+\sum_{j=1}^n\left(u_mU_{1k_{1j}}+\frac{\partial U_3}{\partial\zeta}\cdot\frac{w_m}{l}\cdot\frac{h_0}{2}k_{2j}\right)\Delta\Gamma_{xj}\right]-\\ -\frac{\rho h_0\omega^2z_m}{\text{Re}}\left[-\zeta\left(\text{Re}\frac{\alpha-1}{2}\cdot\frac{d^2f_z}{d\tau^2}+6\gamma\frac{df_z}{d\tau}\right)+\frac{w_m}{z_m}\int\left(\text{Re}\frac{\alpha-1}{2}\cdot\frac{d^2U_3}{d\tau^2}+6\gamma\frac{dU_3}{d\tau}\right)d\zeta-\\ -\frac{w_m}{2z_m}\int\int\left(\text{Re}\frac{\alpha-1}{2}\cdot\frac{d^2U_3}{d\tau^2}+6\gamma\frac{dU_3}{d\tau}\right)d\zeta d\zeta\right] \quad (6)$$

$$-\frac{Eh_0}{1-\mu_0^2}\left\{\frac{w_m}{l^4}\cdot\frac{h_0^2}{12}\cdot\frac{\partial^4U_3}{\partial\zeta^4}+\sum_{j=1}^n\left[\frac{w_m}{l^4}\cdot\frac{\partial^4U_3}{\partial\zeta^4}\cdot\frac{h_0^2}{12}k_{3j}+\left(\frac{u_m}{l^3}\cdot\frac{\partial^3U_1}{\partial\zeta^3}+\frac{w_m^2}{l^4}\cdot\frac{\partial U_3}{\partial\zeta}\cdot\frac{\partial^3U_3}{\partial\zeta^3}+\right.\\ \left.+\frac{w_m^2}{l^4}\cdot\left(\frac{\partial^2U_3}{\partial\zeta^2}\right)^2\right)\frac{h_0}{2}k_{2j}\right]\Delta\Gamma_{xj}\Big\}+\frac{Eh_0}{1-\mu_0^2}\left\{\frac{w_m}{l^2}\cdot\frac{\partial^2U_3}{\partial\zeta^2}\cdot\left(\frac{u_m}{l}\cdot\frac{\partial U_1}{\partial\zeta}+\frac{1}{2}\cdot\frac{w_m^2}{l^2}\cdot\left(\frac{\partial U_3}{\partial\zeta}\right)^2\right)+\right.\\ \left.+\frac{w_m}{l}\cdot\frac{\partial U_3}{\partial\zeta}\cdot\left(\frac{u_m}{l^2}\cdot\frac{\partial^2U_1}{\partial\zeta^2}+\frac{w_m^2}{l^3}\cdot\frac{\partial U_3}{\partial\zeta}\cdot\frac{\partial^2U_3}{\partial\zeta^2}\right)+\sum_{j=1}^n\Delta\Gamma_{xj}\cdot\left[\frac{u_m}{l^2}\cdot\frac{\partial^2U_3}{\partial\zeta^2}\cdot\right.\\ \left.\cdot\left(\frac{u_m}{l}\cdot\frac{\partial U_1}{\partial\zeta}+\frac{1}{2}\cdot\frac{w_m^2}{l^2}\cdot\left(\frac{\partial U_3}{\partial\zeta}\right)^2\right)+\frac{w_m}{l}\cdot\frac{\partial U_3}{\partial\zeta}\cdot\left(\frac{u_m}{l^2}\cdot\frac{\partial^2U_1}{\partial\zeta^2}+\frac{w_m^2}{l^3}\cdot\frac{\partial U_3}{\partial\zeta}\cdot\frac{\partial^2U_3}{\partial\zeta^2}\right)\right]k_{1j}+\\ \left.+\left[\frac{w_m^2}{l^4}\cdot\left(\frac{\partial^2U_3}{\partial\zeta^2}\right)^2+\frac{w_m^2}{l^4}\cdot\frac{\partial U_3}{\partial\zeta}\cdot\frac{\partial^3U_3}{\partial\zeta^3}\right]\cdot\frac{h_0}{2}k_{2j}\right\}=\rho_0h_0\omega^2\frac{\partial^2}{\partial\tau^2}\{w_mU_3+z_0(\tau)-\\ -\frac{w_m}{l^2}\cdot\frac{\partial^2U_3}{\partial\zeta^2}\cdot\frac{h_0^2}{12}+\sum_{j=1}^n\left[(w_mU_3+z(\tau))k_{1j}-\frac{u_m}{l}\cdot\frac{\partial U_1}{\partial\zeta}\cdot\frac{h_0}{2}k_{2j}-\frac{w_m^2}{l^2}\cdot\frac{\partial^2U_3}{\partial\zeta^2}\cdot\frac{h_0^2}{12}k_{3j}\right]\}\Delta\Gamma_{xj}+\\ +p_0+\rho\delta_0\omega^2\frac{\partial^2z_0}{\partial\tau^2}+\frac{pl\omega^2z_m}{\text{Re}\psi}\left[\frac{1}{2}(\xi^2-1)\left(\text{Re}\alpha\frac{\partial^2z}{\partial\tau^2}+12\gamma\cdot\frac{\partial z}{\partial\tau}\right)+\right.\\ \left.+\frac{w_m}{z_m}\int\int\left(\text{Re}\alpha\frac{\partial^2U_3}{\partial\tau^2}+12\gamma\cdot\frac{\partial U_3}{\partial\tau}\right)d\zeta d\zeta+\frac{1}{2}(\xi-1)\cdot\frac{w_m}{z_m}\int\int\left(\text{Re}\alpha\frac{\partial^2U_3}{\partial\tau^2}+12\gamma\cdot\frac{\partial U_3}{\partial\tau}\right)d\zeta d\zeta\right] \quad (7)$$

Граничные условия свободного опирания (закрепления балки-полоски):

$$U_3 = 0, \quad \frac{\partial^2 U_3}{\partial \xi^2} = 0 \text{ при } \xi = 1 \text{ и } U_3 = 0, \quad \frac{\partial^2 U_3}{\partial \xi^2} = 0 \text{ при } \xi = -1;$$

Будем решать систему (6)-(7) методом заданных форм совместно с методом Бубнова-Галеркина в нулевом приближении, где

$$U_1 = (Q^0 + Q(\tau)) \cdot \sin\left(\frac{2n-1}{2}\pi\xi\right) \text{ и } U_3 = (R^0 + R(\tau)) \cdot \cos\left(\frac{2n-1}{2}\pi\xi\right)$$

получим следующую систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} & (Q(\tau) + Q^0) \cdot \frac{Eh_0}{1-\mu_0^2} \cdot \frac{u_m}{l^2} \cdot \left(\frac{2n-1}{2}\pi\right)^2 \cdot \{k_{1j}Y_1 - 1\} + \\ & + (R^0 + R(\tau))^2 \cdot \frac{Eh_0}{1-\mu_0^2} \cdot \frac{w_m^2}{l^3} \cdot \left\{ \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{2n-1}{2}\pi\right)^2 - \left(\frac{2n-1}{2}\pi\right)^3 \cdot k_{1j}Y_2 \right\} + \\ & - (R^0 + R(\tau)) \cdot \frac{Eh_0}{1-\mu_0^2} \cdot \frac{w_m}{l^3} \cdot \frac{h_0}{2} \cdot \left(\frac{2n-1}{2}\pi\xi\right)^3 \cdot k_{2j}Y_1 + \frac{\partial^2 Q(\tau)}{\partial \tau^2} \cdot \rho_0 h_0 \omega^2 u_m \{1 - k_{1j}Y_1\} + \\ & + \frac{\partial^2 R(\tau)}{\partial \tau^2} \cdot \left\{ \rho_0 h_0 \omega^2 \frac{w_m}{l} \cdot \left(\frac{2n-1}{2}\pi\right) \frac{h_0}{2} \cdot k_{2j}Y_1 + \frac{\rho h_0 \omega^2 w_m}{\text{Re}} \cdot \text{Re} \frac{\alpha - 1}{2} \cdot \frac{2}{(2n-1)\pi} \right\} + \\ & + \frac{\partial R(\tau)}{\partial \tau} \cdot \frac{\rho h_0 \omega^2 w_m}{\text{Re}} \cdot 6\gamma \cdot \frac{2}{(2n-1)\pi} - \frac{\rho h_0 \omega^2 z_m}{\text{Re}} \cdot \left(\frac{2}{(2n-1)\pi}\right)^2 \cdot \left(\text{Re} \frac{\alpha - 1}{2} \cdot \frac{d^2 f_z}{d\tau^2} + 12\gamma \cdot \frac{df_z}{d\tau} \right) \quad (8) \\ & - (Q^0 + Q(\tau)) \cdot \frac{u_m}{l^3} \cdot \frac{h_0}{2} \cdot \left(\frac{2n-1}{2}\pi\right)^3 \cdot k_{2j}Y_3 + (R^0 + R(\tau))^2 \cdot \frac{h_0}{2} \cdot \frac{w_m^2}{l^4} \cdot \left(\frac{2n-1}{2}\pi\right)^4 \cdot (2k_{2j}Y_2 + 2k_{2j}Y_4) + \\ & - (Q^0 + Q(\tau)) \cdot (R^0 + R(\tau)) \cdot \frac{u_m}{l^3} \cdot \left(\frac{2n-1}{2}\pi\right)^2 \cdot \left\{ \frac{2}{3} w_m + \left(\frac{2n-1}{2}\pi\right) \cdot \left\langle u_m \cdot k_{1j}Y_4 + w_m \cdot k_{1j}Y_2 \right\rangle \right\} \\ & + (R^0 + R(\tau))^3 \cdot \left(\frac{2n-1}{2}\pi\right)^4 \cdot \frac{w_m^2}{l^4} \cdot \left\{ \left(\frac{u_m}{2} + w_m\right) k_{1j}Y_5 - \frac{3}{8} w_m \right\} = \\ & = \frac{\partial^2 R(\tau)}{\partial \tau^2} \cdot \rho_0 h_0 \omega^2 w_m \cdot \left\{ 1 + k_{1j}Y + \frac{1}{l^2} \cdot \frac{h_0^2}{12} \cdot \left(\frac{2n-1}{2}\pi\right)^2 + \frac{w_m}{l^2} \cdot \frac{h_0^2}{12} \cdot \left(\frac{2n-1}{2}\pi\right)^2 \cdot k_{3j}Y_3 \right\} + \\ & + \frac{\partial^2 z_0(\tau)}{\partial \tau^2} \cdot \left(\frac{2}{(2n-1)\pi}\right) \cdot \left\{ \rho_0 h_0 \omega^2 + 2\rho \delta_0 \omega^2 \right\} - \frac{\partial^2 Q(\tau)}{\partial \tau^2} \cdot \rho_0 h_0 \omega^2 \cdot \frac{u_m}{l} \cdot \frac{h_0}{2} \cdot \left(\frac{2n-1}{2}\pi\right) \cdot k_{2j}Y_3 - \\ & - \cos(\tau + \phi) \cdot \left\{ \rho_0 h_0 \omega^2 z_m \cdot k_{1j}Y + 2 \cdot \left(\frac{2}{(2n-1)\pi}\right)^3 \cdot \frac{pl\omega^2 z_m^2}{\text{Re}\psi} \cdot \text{Re}\alpha_6 \right\} + \\ & + \sin(\tau + \phi) \cdot \frac{pl\omega^2 z_m^2}{\text{Re}\psi} \cdot 12\gamma \cdot \left(\frac{2}{(2n-1)\pi}\right)^3 + 2 \cdot \left(\frac{2}{(2n-1)\pi}\right) \cdot \{p_0 + p_1\} \quad (9) \end{aligned}$$

где

$$Y_1 = \int_{-1}^1 \Delta \Gamma_{xj} \cdot (-1) \cdot \sin^2\left(\frac{2n-1}{2}\pi\xi\right) d\xi, \quad Y_2 = \int_{-1}^1 \Delta \Gamma_{xj} \cos\left(\frac{2n-1}{2}\pi\xi\right) \cdot (-1) \cdot \sin^2\left(\frac{2n-1}{2}\pi\xi\right) d\xi,$$

$$Y_3 = \int_{-1}^1 \Delta \Gamma_{xy} \cos^2 \left(\frac{2n-1}{2} \pi \xi \right) d\xi, Y_4 = \int_{-1}^1 \Delta \Gamma_{xy} \cos^3 \left(\frac{2n-1}{2} \pi \xi \right) d\xi,$$

$$Y_5 = \int_{-1}^1 \Delta \Gamma_{xy} \cos^2 \left(\frac{2n-1}{2} \pi \xi \right) \sin^2 \left(\frac{2n-1}{2} \pi \xi \right) d\xi, Y_6 = \int_{-1}^1 \Delta \Gamma_{xy} \cos \left(\frac{2n-1}{2} \pi \xi \right) d\xi.$$

Представленная нелинейная система обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка с заданными начальными условиями (например, нулевыми) может решаться численными методами, например, методом Рунге-Кутты 4-5 порядка, что позволит определить поведение прогиба упругой геометрически нерегулярной нелинейной пластины.

Список литературы

1. Скородумов Е.С. Колебания геометрически нерегулярной пластины и штампа, взаимодействующих друг с другом через слой вязкой жидкости / Е.С. Скородумов, Д.В. Кондратов, Е.Л. Кузнецова, Л.И. Могилевич, В.С. Попов // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 11:- Тула: Изд-во ТулГУ, 2016, С.37- 53.
2. Агеев Р.В., Могилевич Л.И., Попов В.С. Колебания двух пластин, взаимодействующих с ламинарным пульсирующим слоем вязкой жидкости / Р.В. Агеев, Л.И. Могилевич, В.С. Попов // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона.- 2015.- №5.- С. 262-265.
3. Агеев, Р.В., Попов В.С., Попова А.А. Взаимодействие пульсирующего слоя жидкости с упругой пластиной переменной толщины / Р. В. Агеев, В. С. Попов, А. А Попова // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона.- 2014.- №4.- С. 209-213.
4. Быкова Т.В., Грушенкова Е.Д., Могилевич Л.И., Скородумов Е.С. Динамика взаимодействия упругой геометрически нерегулярной пластины со слоем вязкой жидкости и абсолютно твердым подвижным вибратором опоры/ Т. В. Быкова, Е.Д. Грушенкова, Л.И. Могилевич, Е.С. Скородумов // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках.- 2017.- № 1.- С. 64-77.
5. Блинкова О.В., Кондратов Д.В. Математическая модель взаимодействия сдавливаемого слоя вязкой сжимаемой жидкости с упругой трехслойной пластиной с легким несжимаемым заполнителем / О.В. Блинкова, Д.В. Кондратов // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках.- 2018. -№ 1. -С. 4-11.
6. Блинкова А.Ю., Ковалева И.А., Попов В.С. Математическое моделирование динамики взаимодействия сильновязкой жидкости с пластиной на упругом основании / А. Ю. Блинкова, И. А. Ковалева, В. С. Попов // Прикладная математика и механика (Ульяновск).-2017.-№11.- С. 51-57.
7. Бочкарев С.А., Лекомцев С.В. Аэроупругая устойчивость пластины, взаимодействующей с текущей жидкостью / С. А. Бочкарев, С.В. Лекомцев // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер.Физ.-мат. Науки.- 2016.- Т. 20.- № 3.-С.552-556.
8. Бочкарёв С.А., Каменских А.О., Лекомцев С.В., Сенин А.Н. Теоретическое и экспериментальное исследование тонкостенных конструкций, взаимодействующих с вязкой жидкостью // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2020. № 1. С. 6-19.
9. Mukharlyamov R.G., Amabili M., Garziera R., Riabova K. Stability of Non-Linear Vibrations of Doubly Curved Shallow Shells / R. G. Mukharlyamov, M. Amabili, R. Garziera, K. Riabova // Bulletin of PFUR. Series Mathematics. Information Sciences. Physics.- No 2.- 2016. -Pp. 53–63.
10. Amabili M. Geometrically nonlinear vibrations of rectangular plates carrying a concentrated mass / M. Amabili // Journal of Sound and Vibrations.-2010.-Vol. 329.-PP. 4501-4514.
11. Gnitko V., Naumenko V., Ogorodnik U., Strelnikova E.A. Free and forced vibrations of shell structures interacting with liquid / V. Gnitko, V. Naumenko, U. Ogorodnik, E.A. Strelnikova // WIT Transactions on Modelling and Simulation. Сер. "Boundary Elements and Other Mesh Reduction Methods XXXIV".- 2012.- P. 83-95.

*1.2.2. (05.13.18)***С.В. Ерохин канд. техн. наук, М.Р. Миссюрин**

Национальный исследовательский московский государственный строительный университет,
кафедра прикладной математики,
Москва, ErokhinSV@mgsu.ru

О РАСЧЕТЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗКАХ

В работе приведены рекомендации и методики построения элементов моделей высотных зданий с целью расчета механической устойчивости конструкций при ветровых нагрузках. Особое внимание уделено возможности реализации методов в программных комплексах.

Ключевые слова: *математическое моделирование, механическая устойчивость высотных зданий, ветровые нагрузки.*

Общее описание модели и требования к расчетам

Проблема расчета механической устойчивости при ветровых нагрузках рассматриваются на примере проекта многофункционального жилого комплекса в г. Москве. В силу уникальной высотности здания (43 этажа), расчёт ветровых нагрузок согласно СП не применим, следовательно, необходимо произвести отдельное конечно-объемное моделирование данного частного случая в соответствующем программном комплексе ANSYS.

В части требований к расчётам на прогрессирующее обрушение, расчет по прочности и устойчивости следует производить на особое сочетание нагрузок и воздействий, включающее постоянные и длительные временные нагрузки, а также воздействие на конструкцию высотных корпусов Комплекса локальных (гипотетических) разрушений.

Постоянные и длительные временные расчетные нагрузки следует принимать с коэффициентами сочетания нагрузок и коэффициентами надежности по нагрузкам, равными единице.

В качестве локального (гипотетического) разрушения следует рассматривать разрушение (удаление) несущих конструкций одного (любого) этажа высотных корпусов Комплекса на участке, ограниченном кругом площадью до 80 м² (диаметром 10 м).

Также согласно данным условиям, в связи с уникальной высотностью здания (более 100 м), расчетные значения ветровых нагрузок должны приниматься на основе результатов продувок моделей сооружений в аэродинамических трубах или по рекомендациям, разработанным специализированными организациями, т.е. необходимы дополнительные исследования в части воздействия ветра.

Создание модели

Численное решение при расчете ветровых воздействий можно описать как подбор интегральных невязок в узлах задаваемой модели программно- алгоритмического комплекса [1]. Для этого в комплексе формируется рабочая область, строится геометрическая модель, на основе которой создается сетка с оптимальным разрешением. После задается пограничный слой сетки для уточнения результатов в важных зонах модели.

Численный расчет проводился в программном комплексе ANSYS и использовался расчетный пакет ANSYS CFX. Благодаря данному пакету можно симулировать ветровые воздействия с разными параметрами, включая и сверхзвуковые воздействия.

Для численного расчета строится сетка методом конечных элементов (МКЭ). Такой выбор обоснован следующим образом: сложные дифференциальные уравнения заменяются приближенными алгебраическими формулами или, иначе говоря, конечно-разностными аппроксимациями, вычисляемыми в заранее определенных узлах функции (узлах расчетной сетки).

В основе всех комплексов конечно-элементного анализа задач гидро-газодинамики лежит уравнение Навье-Стокса (1).

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} * \nabla) \vec{v} + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{f} \quad (1)$$

В нашем случае, необходимо использовать, вытекающий из МКЭ, метод конечных объемов (МКО). Имеем следующее объяснение МКО: при работе, ориентированной на решении трехмерных задач для областей геометрии используются ячейки расчетной сетки.

Перед началом вычисления первыми шагами становится построение геометрии и создание с наложением ее на исследуемую модель.

Помимо геометрии модели необходимо построить расчетную область, внутри которой будет производиться ветровое воздействие на объект (рис. 1). Расчетная область должна быть построена в соответствии со следующими рекомендациями, чтобы расчетная область не влияла на итоговые результаты: $A \geq 5 \times H_{\max}$, $B \geq 5 \times H_{\max}$, $C \geq 15 \times H_{\max}$, $D \geq 6 \times H_{\max}$, где $H_{\max}$ – наибольший из размеров объекта. На основе рекомендаций были получены характерные размеры области: $A = 742,5$ м; $B = 742,5$ м; $C = 2227,5$ м; $D = 891$ м.

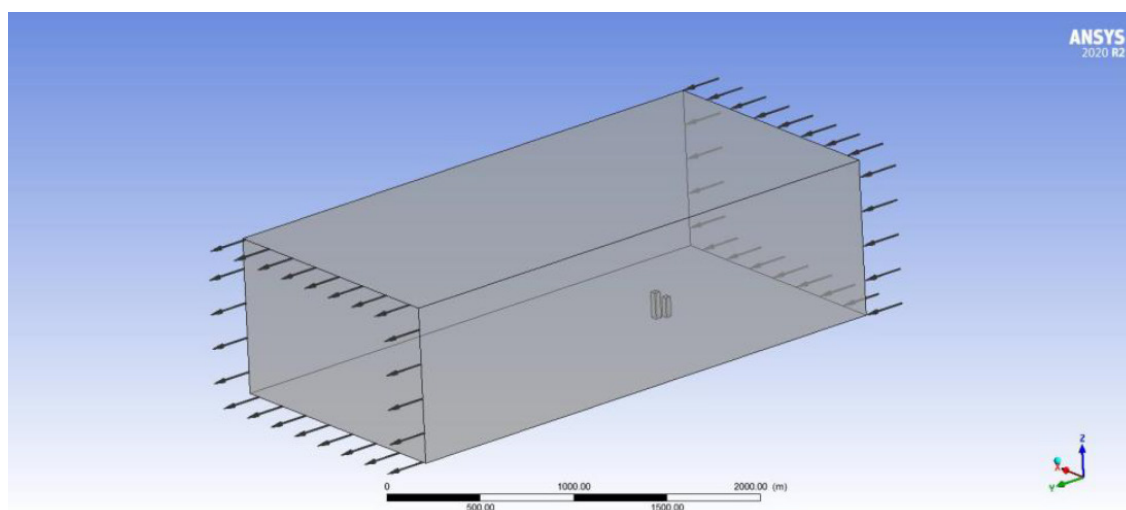


Рис. 1 – Построение расчётной области для одного из углов атаки ветра

После того как геометрия построена, происходит процесс создания блоков. Он необходим для правильности создания сетки здания. Модель визуально делится на простые геометрические фигуры и под каждую такую фигуру строится блок во внутренней части здания.

Затем на геометрию накладывается сетка для дальнейшего вычисления методом конечных объемов (МКО). Создаются граничные области с уникальными названиями, согласующиеся с физическим смыслом задачи. Строится расчетная сетка для полученной расчетной области, позволяющая моделировать течение в пограничном слое.

Расчет ветровых нагрузок

Во время численного моделирования использовался метод осреднения Рейнольдса (RANS) [2], а в качестве модели турбулентности модель Ментера

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j} &= \rho \bar{f}_i + \frac{\partial}{\partial x_j} [-\bar{\rho} \delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j}] \\ \frac{Dk}{Dt} &= \nabla * ((v + \sigma_k v_T) \nabla k) + P_k - \beta^* \omega k \\ \frac{D\omega}{Dt} &= \nabla * ((v + \sigma_\omega v_T) \nabla \omega) + \frac{\gamma}{v_T} P_k - \beta \omega^2 + (1 - F_1) \frac{2\sigma_\omega}{\omega} (\nabla k) * (\nabla \omega) \end{aligned} \quad (2)$$

Решатель AnsysCFX реализует метод конечных объемов- численный метод интегрирования систем дифференциальных уравнений, основанный на дискретизации законов сохранения.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \bar{v}) = 0 \quad \text{уравнение неразрывности}$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \eta \Delta v_x$$

$$\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \eta \Delta v_y$$

$$\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} + \eta \Delta v_z \quad (3)$$

Максимальное число итераций следует задавать в количестве около 300. Если за это время решение разойдется, то и за большее число итераций оно будет расходиться. Меньше ставить тоже невыгодно, так как решение может быть неверным [3].

Численный расчет производится путем замещения сложных дифференциальных уравнений алгебраическими формулами или, иначе говоря, конечно-разностными аппроксимациями, вычисляемыми в заранее определенных узлах функции (узлах расчетной сетки) [4-5]. График сходимости представлен на рис. 2.

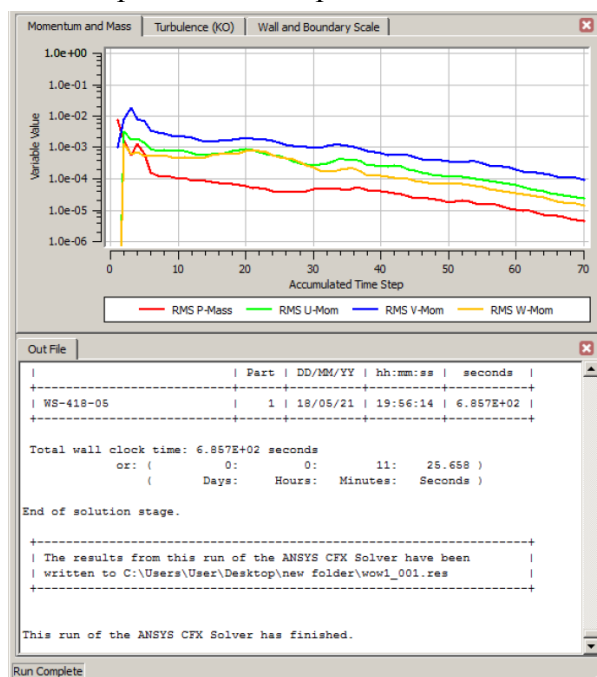


Рис. 2 – График сходимости

Для структурирования данных можно создать визуализацию обтекания, шкалу давления и добавить точки мониторинга [6-7] на разных плоскостях (рис. 3).

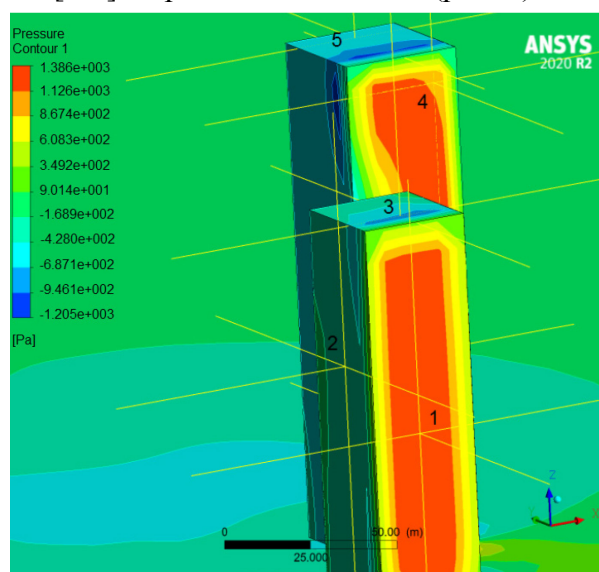


Рис. 3 – Распределение давления и расстановка точек мониторинга

Список литературы

1. Реттер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. / Стройиздат, 1984. — 294 с.
2. Поддаева О.И., Кубенин А.С., Чурин П.С. Архитектурно-строительная аэродинамика: учебное пособие. М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. Москва: НИУ МГСУ, 2015. —88 с.
3. Симиу Э., Воздействие ветра на здания и сооружения. / Стройиздат, 1984. — 360 с.
4. Попов Н.А. Рекомендации по уточненному динамическому расчету зданий и сооружений на действие пульсационной составляющей ветровой нагрузки. / М.: Казань., 2000. — 43 с.
5. American Society of Civil Engineers. Minimum design loads for buildings and other structures. ANSI/ ASCE 7-98, ASCE. New York, 2000 – P. 43.
6. Поддаева О.И., Буслаева Ю.С., Грибач Д.С. Экспериментальное исследование ветровых нагрузок на многофункциональный высотный жилой комплекс. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014.
7. Поддаева О.И., Дуничкин И.В. Расчетно-экспериментальные исследования ветровых воздействий для жилых комплексов в Москве // Промышленное и гражданское строительство. 2016.

1.2.2. (05.13.18)

С.А. Капустин, М.С. Нечаева, А.С. Раевский, И.А. Вдовиченко

Нижегородский государственный университет им. Р.Е. Алексеева,
Институт ядерной энергетики и технической физики,
кафедра «Физика и техника оптической связи»,
Нижний Новгород, Kapustin_1994@mail.ru

АЛГОРИТМ И СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ С ТОРЦА ОТКРЫТОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

В работе предлагается метод формирования заданного поля излучения с торца круглого открытого диэлектрического волновода. Метод основан на решении системы двух интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода относительно тангенциальных к плоскости апертуры компонент напряжённостей электрического и магнитного полей.

Ключевые слова: интегральные уравнения, задача об излучении, пространственный фильтр.

Отрезки открытых диэлектрических волноводов (ОДВ) находят применение в качестве излучающих элементов антенн осевого излучения, в частности, облучателей радиоинтерферометров [1], представляющих собой конусообразно расширяющиеся отрезки диэлектрических волноводов. При этом актуальной является задача формирования заданного поля излучения с торца ОДВ. Для её решения предлагается произвести синтез поля на излучающей апертуре ОДВ.

Излучающую поверхность, которой, в частности, может являться торец ОДВ, представим как плоскость S_0 , по которой протекают электрические и магнитные токи с плотностями $\vec{j}^e$ и $\vec{j}^m$, соответственно (рис. 1).

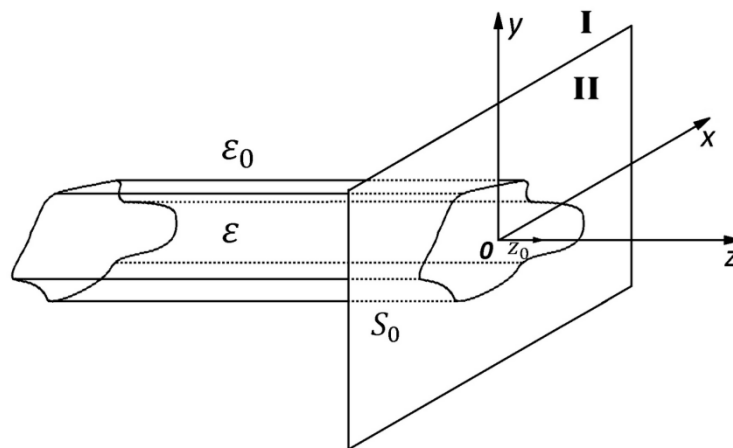


Рис. 1 – Излучающая поверхность S_0

Согласно принципу Гюйгенса-Френеля [2] плотности поверхностных токов на S_0 связаны с полями соотношениями:

$$\vec{j}_\tau^e = [\vec{z}_0, \vec{H}], \quad \vec{j}_\tau^m = -[\vec{z}_0, \vec{E}]. \quad (1)$$

В однородной среде при использовании калибровки Лоренца: $\text{div} \vec{A} = -\epsilon\mu \frac{\partial \varphi}{\partial t}$ векторные потенциалы, создаваемые электрическими и магнитными токами, удовлетворяют [3] волновым уравнениям:

$$\Delta \vec{A}^e - \epsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{A}^e}{\partial t^2} = -\mu \vec{j}^e, \quad (2)$$

$$\Delta \vec{A}^m - \varepsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{A}^m}{\partial t^2} = \varepsilon \vec{j}^m, \quad (3)$$

решения которых имеют вид:

$$\vec{A}^e = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \vec{j}^e \frac{e^{-ik\vec{r}}}{r} dV, \quad \vec{A}^m = -\frac{\varepsilon}{4\pi} \int_V \vec{j}^m \frac{e^{-ik\vec{r}}}{r} dV, \quad (4)$$

где $\vec{r}$ – радиус-вектор, соединяющий элементарный ток на поверхности S_0 с точкой наблюдения, $\vec{R}$ – радиус-вектор точки наблюдения. Модули векторов $\vec{r}$ и $\vec{R}$ связаны соотношением:

$$r = \sqrt{R^2 + \rho^2 - 2\rho R \cos \gamma},$$

где ρ – модуль радиус-вектора $\vec{\rho}$ элементарного тока на поверхности S_0 , γ – угол между векторами $\vec{\rho}$ и $\vec{R}$.

Когда поле излучения создается поверхностными токами, векторные потенциалы (4) вычисляются по формулам:

$$\vec{A}^e = \frac{\mu}{4\pi} \int_{S_0} [\vec{z}_0, \vec{H}] \frac{e^{-ik\vec{r}}}{r} dS, \quad (5)$$

$$\vec{A}^m = \frac{\varepsilon}{4\pi} \int_{S_0} [\vec{z}_0, \vec{E}] \frac{e^{-ik\vec{r}}}{r} dS, \quad (6)$$

которые записаны с учетом (1).

Тангенциальные компоненты полей, в области II вычисляются [4] по формулам:

$$\vec{E}_\tau^{(II)} = \left[-i\omega \vec{A}^e + \frac{1}{\varepsilon} \text{rot} \vec{A}^m, \vec{z}_0 \right], \quad (7)$$

$$\vec{H}_\tau^{(II)} = \left[i\omega \vec{A}^m + \frac{1}{\mu} \text{rot} \vec{A}^e, \vec{z}_0 \right]. \quad (8)$$

На излучающей поверхности S_0 должны выполняться граничные условия:

$$\vec{E}_\tau|_{S_0} = \vec{E}|_{S_0}^{(II)}, \quad \vec{H}_\tau|_{S_0} = \vec{H}|_{S_0}^{(II)}, \quad (9)$$

где $\vec{E}_\tau$ и $\vec{H}_\tau$ – это поля на поверхности S_0 , связанные с токами на этой поверхности соотношениями (1).

Граничные условия (9) после подстановки в них компонент поля (7), (8) с учетом (5) и (6) приводят [5] к уравнениям:

$$\begin{cases} \vec{E}_\tau = \frac{1}{4\pi} \left[-i\omega \mu \int_{S_0} \vec{H}_\tau \frac{e^{-ik\vec{r}}}{r} dS + \text{rot} \left(\int_{S_0} \vec{E}_\tau \frac{e^{-ik\vec{r}}}{r} dS \right), \vec{z}_0 \right]; \\ \vec{H}_\tau = \frac{1}{4\pi} \left[i\omega \varepsilon \int_{S_0} \vec{E}_\tau \frac{e^{-ik\vec{r}}}{r} dS + \text{rot} \left(\int_{S_0} \vec{H}_\tau \frac{e^{-ik\vec{r}}}{r} dS \right), \vec{z}_0 \right], \end{cases} \quad (10)$$

которые образуют систему двух векторных интегро-дифференциальных уравнений относительно тангенциальных компонент электрического и магнитного полей на излучающей поверхности S_0 .

Система уравнений (10) для случая круглой излучающей апертуры распадается [4] на две автономные системы интегральных уравнений относительно компонент поля: E_ρ и H_φ , H_ρ и E_φ , соответственно:

$$\begin{cases} E_\rho = -\frac{i\omega\mu}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty H_\varphi \frac{e^{-ikr_0}}{r_0} \rho d\rho d\varphi_0, \\ H_\varphi = -\frac{i\omega\varepsilon}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty E_\rho \frac{e^{-ikr_0}}{r_0} \rho d\rho d\varphi_0, \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} E_\varphi = -\frac{i\omega\mu}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty H_\rho \frac{e^{-ikr_0}}{r_0} \rho d\rho d\varphi_0, \\ H_\rho = -\frac{i\omega\varepsilon}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty E_\varphi \frac{e^{-ikr_0}}{r_0} \rho d\rho d\varphi_0, \end{cases} \quad (12)$$

где r_0 определяется как $r_0 = \sqrt{R^2 + \rho^2 - 2\rho R \cos(\varphi - \varphi_0)}$, где φ_0 – азимутальная координата элемента излучающей апертуры.

В уравнениях (11), (12) компоненты поля представляются в виде автономных разложений, удовлетворяющих условию Зоммерфельда при $\rho \rightarrow \infty$. Связь между коэффициентами этих разложений устанавливается системой интегральных уравнений (11), (12), то есть, в конечном итоге, системой уравнений Максвелла, из которой получена система указанных интегральных уравнений.

В том случае, когда на основе уравнений (11), (12) решается задача синтеза функции источника, создающего заданное поле излучения, эта система уравнений превращается в систему неоднородных интегральных уравнений Фредгольма 1-ого рода. При этом в левых частях уравнений (11), (12) стоят заданные функции поля, а под интегралами – разложения полей по базису, в качестве которого предлагается в решаемой задаче взять набор полей собственных волн рассматриваемого ОДВ.

Суть предлагаемого метода формирования заданного поля излучения заключается в следующем. Сначала решается Задача 1. Пусть требуется обеспечить заданную зависимость поля излучения в виде функции

$$E_\rho(R, \varphi) = Ae^{-\gamma R/a} \cos \varphi, H_\varphi(R, \varphi) = A\sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} e^{-\gamma R/a} \cos \varphi \quad (13)$$

Подставляем эту функцию в левую часть системы (11). Поля под интегралами представляем в виде разложений

$$E_\rho = \sum_{m=1}^M A_{1m} E_\rho^{(m)}, H_\varphi = \sum_{m=1}^M A_{1m} H_\varphi^{(m)} \quad (14)$$

по полям волн HE_{1m} и EH_{1m} ОДВ, имеющих азимутальную зависимость поля пропорциональную $\cos \varphi$. Для того чтобы практически реализовать в многомодовом ОДВ такой набор волн, предлагается выполнить конусообразный переход на него с одномодового ОДВ, в котором возбуждается основная волна HE_{11} с соответствующей линейной поляризацией.

В разложениях (14) предел суммирования M определяется числом учитываемых волн, которое зависит от радиуса излучающей апертуры ОДВ. Решение системы интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода производится методом коллокаций. Полученные уравнения записываются при стольких значениях радиальной координаты ρ_i в пределах излучающей апертуры, сколько требуется при заданном количестве искомых амплитудных коэффициентов волн ОДВ для образования системы уравнений с квадратной матрицей.

Для того чтобы сформировать на излучающей апертуре нужное распределение поля, предлагается поместить на торец ОДВ пространственный фильтр в виде диэлектрической пластины из поглощающего материала с коэффициентом поглощения, являющимся функцией радиальной координаты $f(\rho)$. Чтобы найти $f(\rho)$, нужно сначала решить Задачу 2, аналогичную Задаче 1. В ней предлагается, предварительно экспериментально измерив поле

излучения $F_{\text{изм}}$, произвести его аппроксимацию непрерывной функцией, подставить эту функцию в левую часть системы (11). Затем нужно произвести решение такой задачи по аналогии с решением Задачи 1. Результатом будут являться реальные значения амплитудных коэффициентов волн ОДВ. Затем находим разности между реальными и требуемыми коэффициентами. Коэффициент поглощения в пластине является функцией координат, рассчитанной через разность фактической и требуемой функции распределения поля.

На рисунке 2 представлены нормированные радиальные компоненты электрического поля, полученные в результате решения Задачи 1 и Задачи 2

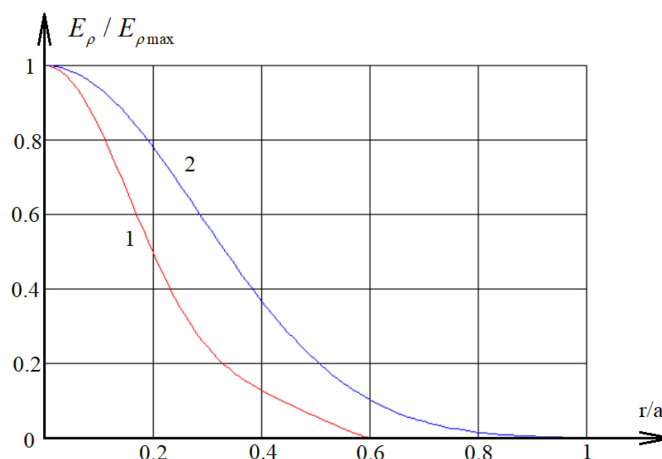


Рис. 2 – Нормированные радиальные компоненты

На рисунке 3 представлена зависимость $f(\rho)$, определяющая профиль коэффициента поглощения диэлектрической пластины.

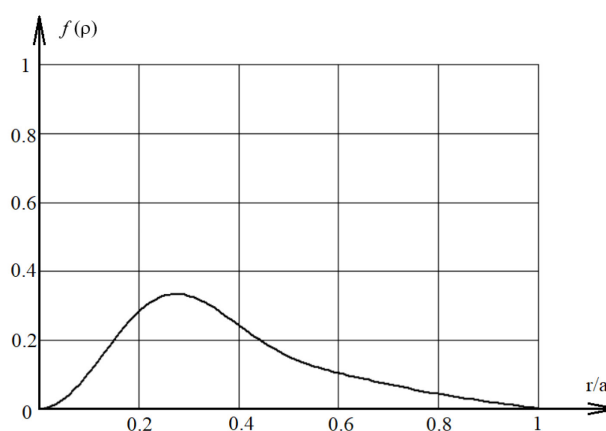


Рис. 3 – Профиль коэффициента поглощения

Список литературы

1. Канаков В.А., Лупов С.Ю., Орехов Ю.И., Родионов А.В. Методы извлечения информации о перемещении границ раздела в газодинамических экспериментах с использованием радиоинтерферометров миллиметрового диапазона длин волн. Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2008. Т. 51. № 3. С. 234-246.
2. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. – М.: Радио и связь, 1988.
3. Неганов В.А., Осипов О.В., Раевский С.Б., Яровой Г.П. Электродинамика и распространение радиоволн. Под редакцией В.А. Неганова и С.Б. Раевского. – М.: Радиотехника, 2009, 743 с.
4. Малышев Г.С., Раевский А.С., Раевский С.Б., Титаренко А.А. Спектральный метод в самосогласованной задаче об излучении. Антенны, 2016, вып. 4, с. 3-12.
5. Раевский А.С., Раевский С.Б. Самосогласованность краевых задач теории излучения. Антенны, 2014, вып. 2 (201) с. 3-6.

1.2.2. (05.13.18)

С.А. Капустин, А.С. Раевский, А.Ю. Седаков, А.А. Титаренко

Нижегородский государственный университет им. Р.Е. Алексеева,
Институт ядерной энергетики и технической физики,
кафедра «Физика и техника оптической связи»,
Нижний Новгород, Kapustin_1994@mail.ru

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА КОЛЛОКАЦИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЗАДАЧАХ РАСЧЕТА НЕРЕГУЛЯРНЫХ ВОЛНОВОДОВ

Рассмотрена процедура применения метода расчета нерегулярных волноводов, основанного на интегральной записи леммы Лоренца. Алгебраизация интегральных уравнений осуществляется на основе метода коллокаций, в качестве узлов коллокаций выбираются точки, в которых располагаются вспомогательные источники.

Ключевые слова: лемма Лоренца, интегральные уравнения, метод интегро-дифференциальных уравнений.

В монографии [1] предложен метод, основанный на обобщенной записи леммы Лоренца

$$\oint_S \left\{ \left[\vec{E}_1, \vec{H}_2 \right] - \left[\vec{E}_2, \vec{H}_1 \right] \right\} d\vec{S} = \int_V \left(\vec{j}_1^e \vec{E}_2 - \vec{j}_2^e \vec{E}_1 - \vec{j}_1^m \vec{H}_2 + \vec{j}_2^m \vec{H}_1 \right) dV,$$

которая связывает системы токов $\vec{j}_1^e, \vec{j}_1^m, \vec{j}_2^e, \vec{j}_2^m$ с полями $\vec{E}_1, \vec{H}_1$ и $\vec{E}_2, \vec{H}_2$, соответственно, внутри отрезка направляющей структуры, позволяющий сводить краевые задачи для нерегулярных волноводов к системам интегро-дифференциальных уравнений.

Краевая задача формулируется для пространства, ограниченного поверхностью $\bar{S}$, описываемой непрерывной функцией $R(r, \varphi, z)$, где r, φ, z – цилиндрические координаты, рисунок 1 [2,3]. Проводящая поверхность $\bar{S}$ образует направляющую структуру. Соответствующая поверхности $\bar{S}$ продольная координата $z \in (-\infty, \infty)$. Внутри указанного пространства расположены источники:

$$\vec{j}_1^{e,m}, \vec{j}_2^{e,m}, \dots, \vec{j}_N^{e,m}, \quad (1)$$

которые создают, соответственно, поля:

$$\vec{E}_1, \vec{H}_1; \vec{E}_2, \vec{H}_2, \dots, \vec{E}_N, \vec{H}_N. \quad (2)$$

Таким образом, имеем N неоднородных краевых задач в пространстве, ограниченном поверхностью $S = \bar{S} + S_1 + S_2$, где $\bar{S}$ – боковая поверхность выделенного объема, $S_{1,2}$ – торцевые поверхности (поперечные сечения волновода), ограничивающие с двух сторон объем V .

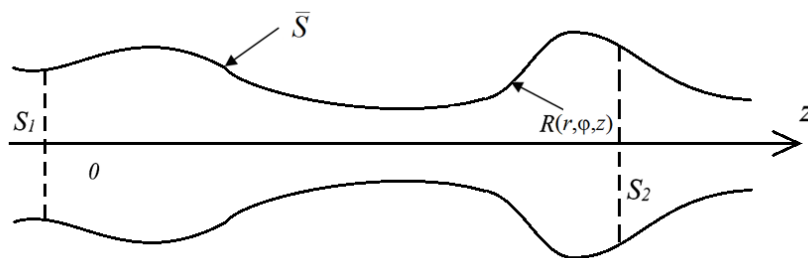


Рис. 1 – Пространство, ограниченное поверхностью $\bar{S}$

Источники (1) находятся в конечной области V , под которой можно понимать: продольно-нерегулярный волновод (в частности, периодически-нерегулярный); нерегулярный участок волноводного тракта; волноводный переход и т.п. Таким образом, имеем задачу о возбуждении поля множеством источников. Поле образуется совокупностью полей собственных волн, связанных нерегулярностями волновода и удовлетворяющих граничному условию:

$$\vec{E}_\tau|_{\bar{S}} = 0, \quad (3)$$

и соответствующих собственным волнам рассматриваемого волновода. Поля, на которые не накладывается условие (3), удовлетворяют условию излучения на бесконечности.

Волны $\vec{E}_i, \vec{H}_i$ могут быть как направляемыми волноводными волнами, так и волнами, излучаемыми в открытое пространство. При этом пространства, соответствующие различным краевым задачам, имеют одну общую область V , в которой распределены источники (1), создающие поля (2) то есть указанные пространства объединяются областью источников.

Поля первой категории (обозначим их как $\vec{E}_k, \vec{H}_k$), удовлетворяющие граничному условию (3), соответствуют собственным волнам нерегулярного экранированного волновода. Поля второй категории, удовлетворяющие условию излучения, на поверхности $\bar{S}$ могут принимать любые конечные значения. Их обозначим как $\vec{E}_n, \vec{H}_n$. Поля $\vec{E}_k, \vec{H}_k$ будем полагать искомыми решениями краевой задачи, поля $\vec{E}_n, \vec{H}_n$ будем рассматривать как вспомогательные. Источники, создающие поля первой категории, обозначим как $\vec{j}_k^{e,m}$, источники создающие поля второй категории, обозначим как $\vec{j}_n^{e,m}$.

Выбирая в качестве источников $\vec{j}_n^{e,m}$ элементарные диполи $\vec{j}_n^{e,m} = \vec{I}_n^{e,m} \delta(\vec{r} - \vec{r}_{jn}^{e,m})$, где $\vec{r}_{jn}^{e,m}$ — координаты вспомогательных источников, устремляя торцевые поверхности в бесконечности и используя свойства δ -функции, приводим лемму Лоренца к виду:

$$\int_{\bar{S}} [\vec{H}_k \vec{E}_n] d\vec{S} = -I_n^e E_k(\vec{r}_{jn}^e) + I_n^m H_k(\vec{r}_{jn}^m). \quad (4)$$

Амплитуды вспомогательных источников, входящие в обе части (4), в процессе решения уравнений сокращаются, поскольку $\vec{E}_n \sim I_n^{e,m}$.

Согласно задаче о возбуждении волн экранированного волновода источники $\vec{j}_k^{e,m}$ создают в общем случае бесконечные наборы собственных волн, поэтому поля $\vec{E}_k$ и $\vec{H}_k$ следует представлять [2] в виде:

$$\vec{E}_k = \sum_{v=0}^{\infty} A_v \vec{E}_v; \quad \vec{H}_k = \sum_{v=0}^{\infty} B_v \vec{H}_v \quad (5)$$

для каждого фиксированного « k », то есть для каждого источника.

Используя метод коллокаций, алгебраизацию уравнения (4) можно производить, подставляя в них поля в виде (5) и записывая их в точках вспомогательных источников, число которых берется в соответствии с числом членов в суммах (5). Поля $\vec{E}_v, \vec{H}_v$ в каждом сечении z записываются как поля волновода сравнения, соответствующего этому сечению. Суммирование в (5) ведется по полям волновода сравнения длиной dz , удовлетворяющим в пределах этого волновода граничным условиям (3). Непрерывность поля по продольной координате обеспечивается самим интегральным уравнением (4).

Каждому источнику $\vec{j}_k^{e,m}$ соответствует свой набор полей (5), определяющий k -ю волну нерегулярного волновода. Номер собственной волны нерегулярного волновода определяется порядковым номером корня трансцендентного дисперсионного уравнения.

Метод интегро-дифференциальных уравнений является пригодным для расчета как неограниченных продольно-нерегулярных экранированных направляющих структур, так и отдельных нерегулярных (плавных и скачкообразных) участков волноводного тракта [2].

Рассмотрим гофрированный волновод, рисунок 2а, поверхность которого описывается функцией $a(z) = r_0[1 + \Delta \cos(2\pi z/D)]$, где $\Delta = \delta/2r_0$; δ – глубина гофра; r_0 – средний (по глубине гофра) радиус волновода.

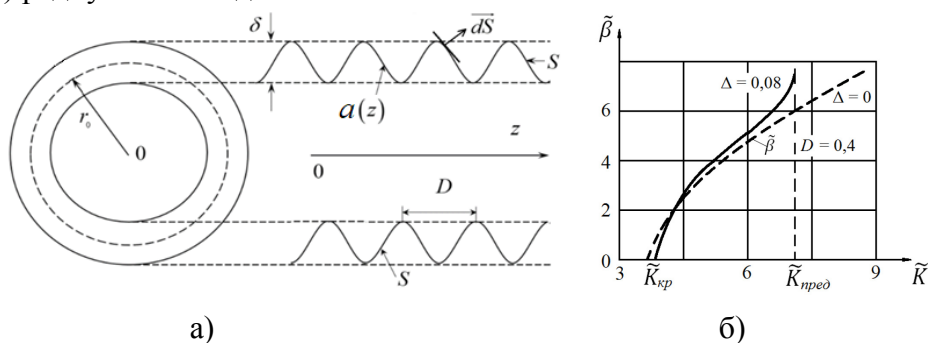


Рис. 2 – Гофрированный волновод

В связи с периодичностью направляющей структуры поле представляется набором пространственных гармоник. В m -м приближении имеем $2m+1$ неизвестных амплитудных коэффициентов. При $m \rightarrow \infty$ решение рассматриваемой задачи становится инвариантным по отношению к размещению вспомогательных источников. Перемещая последние в сечении $z = 0$ (используя коллокацию по вспомогательным источникам), записываем уравнение (4) в $(m+1)$ точках (r, φ) . В результате получаем систему $(2m+1)$ линейных однородных алгебраических уравнений относительно коэффициентов A_m . Запись условия нетривиальности её решений дает дисперсионное уравнение симметричных H -волн, решаемое в плоскости (ω, β_0) . Решение уравнения (4) в виде

$H_z = \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m J_0(\alpha_m r) \exp(-i\beta_m z)$, где $\alpha_m = \sqrt{\epsilon\mu\omega^2 - \beta_m^2}$; $\beta_m = \beta_0 + \frac{2\pi m}{D}$; D – период гофра;

$m=0;1;2..$; $J_0(\alpha_m r)$ – функция Бесселя, соответствует симметричным волнам H_{0q} круглого периодически нерегулярного волновода. Для волноводов с другими поперечными сечениями общий вид записи решения сохранится. Изменятся лишь базисные функции поперечных координат. Так в эллиптическом волноводе [1] это будут функции Матье, в прямоугольном – тригонометрические функции и т.п.

В высоких приближениях выбор места расположения вспомогательных источников оказывает достаточно слабое влияние на ход дисперсионных зависимостей. Это свидетельствует об инвариантности решения задачи по отношению к месту расположения вспомогательных источников и в высоком приближении делает обоснованной ее алгебраизацию. В низких приближениях выбор места расположения вспомогательных источников влияет на точность результатов.

Рассмотрим процедуру расчета характеристик передачи скачкообразного сочленения двух круглых экранированных волноводов, рис.3а. На стык двух волноводов из $z \rightarrow -\infty$ со стороны волновода I падает волна H_{01} единичной амплитуды. В результате дифракции этой волны на стыке в волноводе I образуется бесконечный набор симметричных отраженных волн магнитного типа с коэффициентами отражения R_m , в волноводе II – бесконечный набор прошедших волн того же типа с коэффициентами прохождения B_r .

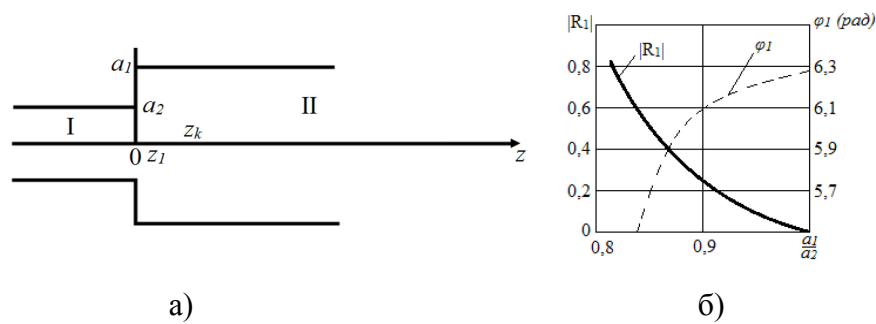


Рис. 3 – Стык двух полубесконечных волноводов

Записываем продольные компоненты векторов Герца, которыми можно представить поля в регулярных волноводах I и II, в виде:

$$\begin{aligned}
 \Pi_{z_1}^h &= J_0(a_1 r) e^{-i\beta_1 z} + \sum_{m=1} R_m J_0(a_m r) e^{i\beta_m z}; \\
 \Pi_{z_2}^h &= \sum_{n=1} B_n J_0(a_n r) e^{-i\beta_n z} \cdot \beta_{m,n}^2 = \omega^2 \varepsilon_0 \mu_0 - a_{m,n}^2.
 \end{aligned} \quad (6)$$

где a_m – m -й корень уравнения $J'_0(a_m r_1) = 0$, a_n – n -й корень уравнения $J'_0(a_n r_2) = 0$; $r_1 = a_1$; $r_2 = a_2$. Компоненты поля, выраженные через векторы Герца (6) подставляем в уравнение (4). Получаем интегральное уравнение, которое связывает искомые поля $H_{I,II}$ в стыкуемых волноводах с полями $\vec{E}$, создаваемыми вспомогательными магнитными источниками $\vec{j}_2^m$, имеющими амплитуду I_2^m . В качестве вспомогательных источников выберем элементарные магнитные диполи, расположенные вдоль оси волноводов в точках с координатами z_k . Подставляя в (4) в качестве $H_{I,II}$ поля, выражаемые через векторы Герца (6), и проинтегрировав по всей поверхности S исследуемой структуры, получаем систему из k алгебраических уравнений (k – число вспомогательных источников). В случае конечного числа вспомогательных источников их координаты z_k выбираются из условия наилучшего выполнения закона сохранения энергии. На рис. 3б приведены результаты расчета модуля $|R_1|$ и фазы ϕ_1 коэффициента отражения волны H_{01} от высоты ступеньки a_1/a_2 при $(2\pi a_2)/\lambda = 5,0$. Алгоритм расчета такого сочленения может быть ключевым элементом автоматизированной программы анализа характеристик передачи произвольных нерегулярных участков цилиндрического тракта при их ступенчатой аппроксимации.

Список литературы

1. Иларионов Ю.А. Расчет гофрированных и частично заполненных волноводов / Ю.А. Иларионов, С.Б. Раевский, В.Я. Сморгонский. – М.: Сов. радио, 1980. – 200 с.
2. Раевский А.С. Метод интегральных уравнений для расчета нерегулярных волноводов на основе обобщенной леммы Лоренца / А.С. Раевский, С.Б. Раевский, А.Ю. Седаков, А.А. Титаренко // Радиотехника и электроника. – 2019. – т. 64. – № 11. – с. 1079-1087.
3. Устройства СВЧ- и КВЧ- диапазонов. Методы расчета. Алгоритмы. Технология изготовления. / Ю.А. Иларионов, А.С. Раевский, С.Б. Раевский, А.Ю. Седаков. – М.: Радиотехника, 2013, – 751 с.

1.2.2. (05.13.18)

¹М.В. Таланов, ²В.М. Таланов

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева,
институт электроники и светотехники,

¹кафедра электроники и электротехники,

²кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, mvtal@mail.ru

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В БЕЗДАТЧИКОВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

В работе предлагается регрессионная модель для определения параметров асинхронного электродвигателя в режиме короткого замыкания. Предложенный алгоритм оценки параметров может быть использован для микропроцессорной реализации режима автоматического определения параметров электродвигателя для бездатчиковых систем управления электроприводом [1, 2, 3].

Ключевые слова: регрессионная модель, идентификация параметров электродвигателя, асинхронный электродвигатель, бездатчиковая система управления.

Дифференциальные уравнения асинхронного электродвигателя, записанные по току статора и потокоцеплению ротора, для неподвижной системы координат (α, β), на которых базируется предложенная в работе регрессионная модель, имеют вид:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ \psi_{r\alpha} \\ \psi_{r\beta} \\ \omega_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{K_s} & 0 & \frac{L_m}{L_{\sigma s} L_r T_r} & \frac{\omega_r L_m}{L_{\sigma s} L_r} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{K_s} & -\frac{\omega_r L_m}{L_{\sigma s} L_r} & \frac{L_m}{L_{\sigma s} L_r T_r} & 0 \\ \frac{L_m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & -\omega_r & 0 \\ 0 & \frac{L_m}{T_r} & \omega_r & -\frac{1}{T_r} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ \psi_{r\alpha} \\ \psi_{r\beta} \\ \omega_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_{\sigma s}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_{\sigma s}} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{s\alpha} \\ u_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (1)$$

где $u_{s\alpha}, u_{s\beta}$ – проекции фазных напряжений обмоток статора в неподвижной системе координат (α, β), $i_{s\alpha}, i_{s\beta}$ – проекции токов в обмотках статора в неподвижной системе координат (α, β), $\psi_{r\alpha}, \psi_{r\beta}$ – проекции потокоцепления ротора в неподвижной системе координат (α, β), ω_r – угловая скорость вращения ротора, $L_{\sigma s} = \sigma L_s$ – переходная индуктивность статора, где $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$ – коэффициент рассеяния, L_s – индуктивность обмотки статора; L_m – индуктивность намагничивания; $L_r = L_{rl} + L_m$ – индуктивность обмотки ротора, где L_{rl} – индуктивность рассеяния обмотки ротора; $T_r = \frac{L_r}{R_r}$ – постоянная времени ротора; $K_s = \frac{L_{\sigma s}}{R_s + R_r \left(\frac{L_m}{L_r} \right)^2}$ – комбинированный параметр, где R_s – активное сопротивление обмотки статора, R_r – активное сопротивление обмотки ротора.

Для упрощения дальнейших выкладок запишем систему уравнений (1) в виде:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ b_{31} & b_{32} \\ b_{41} & b_{42} \\ b_{51} & b_{52} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{11} \\ y_{21} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Запишем производную по току статора $i_{s\alpha}$:

$$\frac{dx_1}{dt} = a_{11}x_1 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4x_5 + b_{11}y_{11} \quad (3)$$

Запишем производную по потокоцеплению ротора $\psi_{r\alpha}$:

$$\frac{dx_3}{dt} = a_{31}x_1 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4x_5 \quad (4)$$

Повторно продифференцируем уравнение (3) по времени. Поскольку производная от скорости ротора по времени равна нулю согласно системе (1), т.е. $\frac{dx_5}{dt} = 0$, то получаем, что:

$$\frac{d^2x_1}{dt^2} = a_{11}\frac{dx_1}{dt} + a_{13}\frac{dx_3}{dt} + b_{11}\frac{dy_{11}}{dt} \quad (5)$$

Подставим в полученное выражение уравнение (4):

$$\frac{d^2x_1}{dt^2} = a_{11}\frac{dx_1}{dt} + a_{13}a_{31}x_1 + a_{13}a_{33}x_3 + a_{13}a_{34}x_4x_5 + b_{11}\frac{dy_{11}}{dt} \quad (6)$$

Повторно продифференцируем уравнение (5) по времени, чтобы избавиться от слагаемых с x_5 :

$$\frac{d^3x_1}{dt^3} = a_{11}\frac{d^2x_1}{dt^2} + a_{13}a_{31}\frac{dx_1}{dt} + a_{13}a_{33}\frac{dx_3}{dt} + b_{11}\frac{d^2y_{11}}{dt^2} \quad (7)$$

Выразим $\frac{dx_3}{dt}$ из (5) и подставим в (7). Затем приводим подобные слагаемые и проинтегрируем левую и правую часть уравнения. Таким образом, можно записать предлагаемую регрессионную модель:

$$\frac{d^2x_1}{dt^2} = (a_{11} + a_{33})\frac{dx_1}{dt} + (a_{13}a_{31} - a_{11}a_{33})x_1 + (-a_{33}b_{11})y_{11} + b_{11}\frac{dy_{11}}{dt} \quad (8)$$

где x_1 – проекция вектора тока статора на ось α неподвижной системы координат (α, β) $i_{s\alpha}$; y_{11} – проекция вектора напряжения статора на ось α неподвижной системы координат (α, β) $u_{s\alpha}$.

Запишем связь параметров асинхронного электродвигателя и коэффициентов уравнения (8):

$$\begin{aligned} \frac{1}{T_r} &= a_{33} \\ L_s &= L_r = \frac{1}{b_{11}} + \frac{a_{13}a_{31}}{a_{33}^2b_{11}} \\ L_m &= \sqrt{\frac{a_{13}a_{31}}{a_{33}^2b_{11}} \left[\frac{1}{b_{11}} + \frac{a_{13}a_{31}}{a_{33}^2b_{11}} \right]} \\ L_{sl} = L_{rl} &= \left[\frac{1}{b_{11}} + \frac{a_{13}a_{31}}{a_{33}^2b_{11}} \right] - \sqrt{\frac{a_{13}a_{31}}{a_{33}^2b_{11}} \left[\frac{1}{b_{11}} + \frac{a_{13}a_{31}}{a_{33}^2b_{11}} \right]} \\ R_r &= a_{33} \left[\frac{1}{b_{11}} + \frac{a_{13}a_{31}}{a_{33}^2b_{11}} \right] \\ R_s &= -a_{11}\frac{1}{b_{11}} - a_{33} \left[\frac{1}{b_{11}} + \frac{a_{13}a_{31}}{a_{33}^2b_{11}} \right] \left[\sqrt{\frac{a_{13}a_{31}}{a_{33}^2b_{11}} \left[\frac{1}{b_{11}} + \frac{a_{13}a_{31}}{a_{33}^2b_{11}} \right]} \frac{1}{\frac{1}{b_{11}} + \frac{a_{13}a_{31}}{a_{33}^2b_{11}}} \right]^2 \end{aligned}$$

Запишем уравнение (9) в операторной форме и составим передаточную функцию:

$$W(p) = \frac{x_1}{y_{11}} = \frac{b_{11}p + (-a_{33}b_{11})}{p^2 + (-[a_{11} + a_{33}])p + (-[a_{13}a_{31} - a_{11}a_{33}])} \quad (9)$$

На рисунке 1 показана имитационная модель, при помощи которой моделировался режим короткого замыкания для экспериментального определения параметров асинхронного электродвигателя.

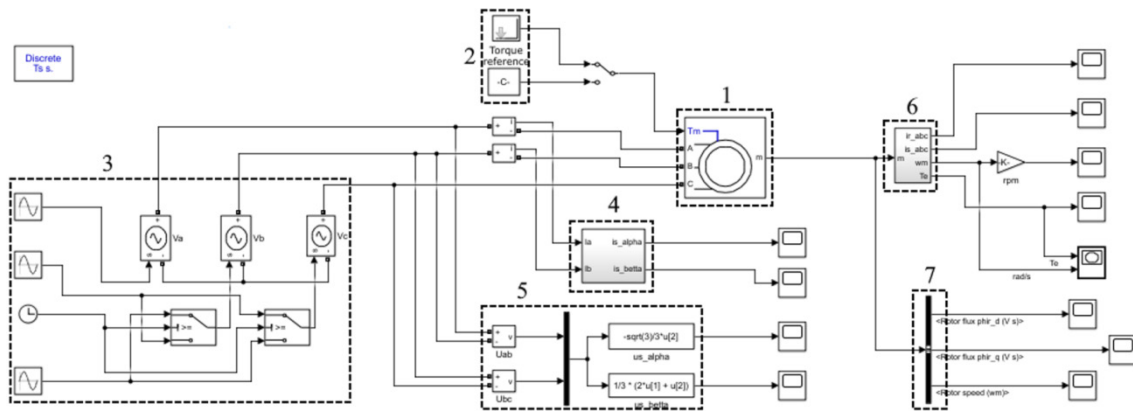


Рис. 1 – Имитационная модель асинхронного электродвигателя:

- 1) модель асинхронного электродвигателя; 2) блок моделирования нагрузки;
- 3) источник 3-х фазного напряжения; 4) блок измерения тока короткого замыкания $i_{s\alpha}, i_{s\beta}$;
- 5) блок измерения напряжения $u_{s\alpha}, u_{s\beta}$; 6) блок измерения скорости ω_r ;
- 7) блок измерения потокосцепления статора и ротора

Рассчитаем параметры схемы замещения электродвигателя RA132MB2 по паспортным данным [4].

Таблица 1 – Параметры схемы замещения электродвигателя RA132MB2

Мощность, кВт	11
Номинальная скорость вращения, об/мин	2905
Сопротивление обмотки статора, Ом	0.4291
Сопротивление обмотки ротора, Ом	0.3751
Индуктивность рассеяния обмотки статора, Гн	0.0018
Индуктивность рассеяния обмотки ротора, Гн	0.0018
Индуктивность намагничивания, Гн	0.0924
Инерция, кгм ²	0,0195
Коэффициент вязкого трения	0.0025
Количество пар полюсов	1

Построим годограф по передаточной функции (9) с параметрами из таблицы 1.

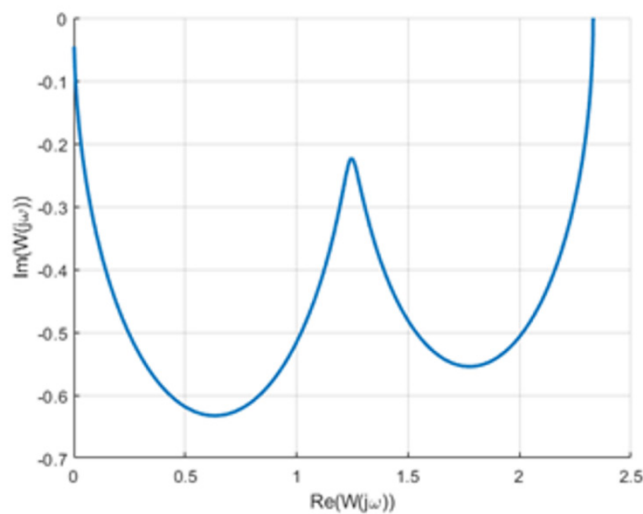


Рис.2 – Годограф передаточной функции

По годографу можно выделить частоту, на которой наблюдается локальный максимум $\omega_{\max}$. Опытным путем было определено, что при частоте питающего напряжения равной $\omega_{\max}$ достигается наилучшая оценка параметров электродвигателя. Зададим частоту

питающего напряжения в имитационной модели, показанной на рисунке 1, равной $\omega_{\max}$ и определим параметры электродвигателя в режиме короткого замыкания методом наименьших квадратов.

Результаты оценки параметров электродвигателя RA132MB2 с помощью регрессионной модели (8) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка параметров электродвигателя RA132MB2

Мощность, кВт	11
Номинальная скорость вращения, об/мин	2905
Сопrotивление обмотки статора, Ом	0.4501
Сопrotивление обмотки ротора, Ом	0.3527
Индуктивность рассеяния обмотки статора, Гн	0.0018
Индуктивность рассеяния обмотки ротора, Гн	0.0018
Индуктивность намагничивания, Гн	0.0912
Инерция, кгм ²	0,0195
Коэффициент вязкого трения	0.0025
Количество пар полюсов	1

Для оценки параметров двигателя использовалась регрессионная модель (8) в форме передаточной функции (9). Выходной сигнал регрессионной модели – это проекция тока короткого замыкания $i_{s\alpha}$ в неподвижной системе координат на ось α неподвижной системы координат (α, β) . Для расчета выходного сигнала в уравнение (9) подставлялась оценка коэффициентов из модели (8), и затем для измеренного напряжения питания была получена оценка тока короткого замыкания. Далее оценка тока сравнивалась с измеренным током статора в режиме короткого замыкания. После получения оценки параметров асинхронного электродвигателя выполнялась проверка на адекватность полученного уравнения регрессии (8) с помощью критерия Фишера. Статистическая значимость каждого коэффициента модели (8) проверялась с помощью критерия Стьюдента.

При расчете параметров, приведенных в таблице 2, был задан уровень значимости регрессионной модели $\alpha = 0,05$. Все коэффициенты уравнения регрессии (8) оказались значимы по уровню $\alpha = 0,05$.

Таким образом, предложенная в работе регрессионная модель позволяет получить оценку параметров асинхронного электродвигателя с заданным уровнем значимости.

Список литературы

1. Talanov M.V., Karasev A.V., Talanov V.M. Implementation of extended Kalman filtering algorithm with improved flux estimator on TMS320F28335 processor for induction sensorless drive // Proceedings of the 6th European Embedded Design in Education and Research Conference 11-12 September 2014. Milan, Italy. IEEE. С. 119-123. doi:<http://dx.doi.org/10.1109/EDERC.2014.6924371>
2. Talanov M.V., Talanov V.M. Software and hardware solution for digital signal processing algorithms testing // E3S Web Conf., Volume 124, 2019, International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems 2019 (SES-2019), Article number 03006. doi:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912403006>
3. Таланов М.В., Таланов В.М. Бездатчиковая система векторного управления асинхронным электродвигателем на основе сигма-точечного фильтра Калмана // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. № 8. С. 39-44.
4. Терехин В.Б., Дементьев Ю.Н. Компьютерное моделирование систем электропривода в Simulink: учеб. пособие для СПО / В.Б. Терехин, Ю.Н. Дементьев. – М.: Изд-во Юрайт, 2019. – 306 с.

1.2.2. (05.13.18)

Е.Г. Царькова

Тверской государственный университет,
 математический факультет,
 Тверь, university69@mail.ru,
 Федеральное казенное учреждение
 «Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний»,
 НИЦ-1, Москва

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В работе осуществлено моделирование искусственной нейронной сети (ИНС) достаточно общей структуры. Задача обучения ИНС сформулирована в виде задачи оптимального управления с нефиксированным временем процесса. Совершен переход к дискретной задаче оптимального управления. Разработан и апробирован алгоритм численного решения задачи обучения динамической нейронной сети.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, обучение нейронной сети, принцип максимума Понтрягина, метод быстрого автоматического дифференцирования, метод проекции градиента.

Искусственные нейронные сети (ИНС) являются способом идентификации взаимосвязей между переменными в автоматизированных системах управления, в том числе, в сложных охранных комплексах, обеспечивающих защиту объектов особой важности. В связи с этим возникает необходимость разработки моделей динамических ИНС со сложной, нетривиальной архитектурой, а также методов оперативной настройки их параметров. В модель динамических ИНС входят неизвестные параметры, определение которых осуществляется при обучении сети. Для решения задачи обучения ИНС может быть использована математическая модель оптимального управления с нефиксированным временем следующего вида. Требуется минимизировать функционал [1]:

$$J(x, w, u, T) = \int_0^T f_0(x(t), w(t), u(t)) dt + \Phi(x(T), T), \quad (1)$$

где $f_0(x(t), w(t), u(t))$ – функция энергии сети, $\Phi(x(T), T)$ – терминальные ограничения. Динамика управляемого процесса описывается системой дифференциальных уравнений [1]:

$$\dot{x}_i(t) = -\beta_i x_i(t) + f_i \left(\int_0^t \sum_{j=1}^n w_{ij}(z) x_j(z) dz \right) + \gamma_i u_i(t), \quad i = 1 \dots n, \quad t \in [0, T], \quad (2)$$

где $x_i(t)$ – функция состояния нейрона i в момент времени t , β_i – скорость собственного затухания i -го нейрона при отсутствии внешнего воздействия, $w_{ij}(t)$ – функции весовых коэффициентов взаимодействия между нейронами i и j в момент времени t , при этом $w_{ii}(t) \equiv 0$, γ_i – параметр, определяющий меру влияния внешнего воздействия на нейрон i , $u_i(t)$ – функция внешнего воздействия на нейрон i в момент времени t . В начальный момент времени $x_i(0) = \Theta_i$. На весовые коэффициенты $w_{ij}(t)$ и внешние воздействия $u_i(t)$ наложены ограничения:

$$|w_{ij}(t)| \leq a_{ij}, \quad |u_i(t)| \leq a_i, \quad i, j = 1 \dots n, \quad n. \text{ в. } t \in [0, T]. \quad (3)$$

Полагаем:

$$f_0(x(t), w(t), u(t)) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} (w_{ij}(t))^2, \quad \Phi(x(T), T) = \sum_{i=1}^n M_i (x_i(T) - A_i)^2 + T. \quad (4)$$

Здесь α_{ij} – параметр, определяющий максимальное значение весовых коэффициентов, M_i – штрафной параметр за нарушение терминальных ограничений, A_i – значение i -ой компоненты целевого вектора. В предложенной постановке задача является задачей оптимального управления с нефиксированным временем процесса. Выполним преобразования:

$$t(\tau) = \xi\tau, \quad \tau \in [0, T_0], \quad t(T_0) = \xi T_0 = T, \quad d(t(\tau)) = \xi d\tau. \quad (5)$$

С учетом введенных обозначений:

$$x(t(\tau)) = \tilde{x}(\tau), \quad w(t(\tau)) = \tilde{w}(\tau), \quad u(t(\tau)) = \tilde{u}(\tau), \quad (6)$$

$$J(\tilde{x}(\tau), \tilde{w}(\tau), \tilde{u}(\tau), t(\tau)) = \int_0^{T_0} \xi \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} (\tilde{w}_{ij}(\tau))^2 d\tau + \sum_{i=1}^n M_i (\tilde{x}_i(T_0) - A_i)^2 + t(T_0), \quad (7)$$

$$\dot{\tilde{x}}_i(\tau) = -\xi\beta_i\tilde{x}_i(\tau) + \xi f_i \left(\xi \int_0^\tau \sum_{j=1}^n \tilde{w}_{ij}(\tilde{z}) \tilde{x}_j(\tilde{z}) d\tilde{z} \right) + \xi\gamma_i\tilde{u}_i(\tau), \quad i = 1 \dots n. \quad (8)$$

Введем следующие переменные:

$$\tilde{y}_i(\tau) = \xi \int_0^\tau \sum_{j=1}^n \tilde{w}_{ij}(\tilde{z}) \tilde{x}_j(\tilde{z}) d\tilde{z}, \quad i = 1 \dots n. \quad (9)$$

Тогда динамические ограничения примут вид:

$$\dot{\tilde{x}}_i(\tau) = -\xi\beta_i\tilde{x}_i(\tau) + \xi f_i(\tilde{y}_i(\tau)) + \xi\gamma_i\tilde{u}_i(\tau), \quad i = 1 \dots n, \quad (10)$$

$$\dot{\tilde{y}}_i(\tau) = \xi \sum_{j=1}^n \tilde{w}_{ij}(\tau) \tilde{x}_j(\tau), \quad i = 1 \dots n, \quad \dot{t}(\tau) = \xi. \quad (11)$$

Согласно принципу максимума Понтрягина [2], оптимальные весовые коэффициенты $\tilde{w}_{ij}(\tau)$, управляющие внешние воздействия $\tilde{u}_i(\tau)$ и управление по времени $\bar{\xi}$, определяются, соответственно, из выражений:

$$\tilde{w}_{lp}(\tau) = \begin{cases} a_{lp}, & \Phi_{lp}(\tau) > a_{lp}, \\ \Phi_{lp}(\tau), & |\Phi_{lp}(\tau)| \leq a_{lp}, \\ -a_{lp}, & \Phi_{lp}(\tau) < -a_{lp}, \end{cases} \quad \Phi_{lp}(\tau) = \frac{\bar{\xi} o_l(\tau) \tilde{x}_p(\tau)}{\lambda_0 2 \bar{\xi} \alpha_{lp}}, \quad l = 1 \dots n, \quad p = 1 \dots n, \quad (12)$$

$$\tilde{u}_l(\tau) = \begin{cases} a_l, & \bar{\xi} p_l(\tau) \gamma_l > 0, \\ -a_l, & \bar{\xi} p_l(\tau) \gamma_l < 0, \end{cases} \quad \tilde{u}_l(\tau) \in [-a_l, a_l], \quad \bar{\xi} p_l(\tau) \gamma_l = 0, \quad l = 1 \dots n. \quad (13)$$

Выполним дискретную аппроксимацию задачи оптимального управления с использованием правила левых прямоугольников и схемы Эйлера. Полагаем $\Delta\tau = T_0 / q$, $\tau_k = k\Delta\tau$, $k = 0 \dots q$, $t^k = T_0$. Получаем дискретную задачу оптимального управления:

$$I(t, \tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{u}, \tilde{w}, \xi) = \sum_{k=1}^{q-1} \Delta\tau \xi \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} (\tilde{w}_{ij}^k)^2 + \sum_{i=1}^n M_i (\tilde{x}_i^q - A_i)^2 + t^q \rightarrow \min, \quad (15)$$

$$\tilde{x}_i^{k+1} = \tilde{x}_i^k - \Delta\tau \xi \beta_i \tilde{x}_i^k + \Delta\tau \xi f_i(\tilde{y}_i^k) + \Delta\tau \xi \gamma_i \tilde{u}_i^k, \quad k = 0 \dots q-1, \quad i = 1 \dots n, \quad (16)$$

$$\tilde{y}_i^{k+1} = \tilde{y}_i^k + \Delta\tau \xi \sum_{j=1}^n \tilde{w}_{ij}^k \tilde{x}_j^k, \quad t^{k+1} = t^k + \Delta\tau \xi, \quad k = 0 \dots q-1, \quad i = 1 \dots n, \quad (17)$$

где $\tilde{x}_i^k = \tilde{x}_i(\tau_k)$, $\tilde{y}_i^k = \tilde{y}_i(\tau_k)$, $\tilde{w}_{ij}^s = \tilde{w}_{ij}(t_s)$, $\tilde{u}_i^s = \tilde{u}_i(s)$, $i, j = 1 \dots n$, $k = 0 \dots q$, $s = 0 \dots q-1$.

Для рассматриваемой задачи построена функция Лагранжа и сформулированы необходимые условия оптимальности [3]. Находим градиент:

$$\frac{\partial L}{\partial \tilde{u}_l^m} = -\Delta \tau \xi p_l^{m+1} \gamma_l, \quad m=1 \dots q-1, \quad l=1 \dots n, \quad (18)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \tilde{w}_{lp}^m} = \lambda_0 2 \Delta \tau \xi \alpha_{lp} \tilde{w}_{lp}^m - \Delta \tau \xi o_l^{m+1} \tilde{x}_p^m, \quad m=0 \dots q-1, \quad l=1 \dots n, \quad p=1 \dots n, \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \xi} = & \lambda_0 \sum_{k=0}^{q-1} \Delta \tau \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \left(\tilde{w}_{ij}^k \right)^2 + \sum_{k=1}^{q-1} \sum_{i=1}^n p_i^{k+1} \left(\Delta \tau \beta_i x_i^k - \Delta \tau f_i(\tilde{y}_i^k) - \Delta \tau \gamma_i \tilde{u}_i^k \right) + \\ & + \sum_{k=1}^{q-2} \sum_{i=1}^n o_i^{k+1} \left(\Delta \tau \sum_{j=1}^n \tilde{w}_{ij}^k \tilde{x}_j^k \right) - \sum_{k=1}^{q-1} q^{k+1} \Delta \tau. \end{aligned} \quad (20)$$

Получены выражения для вычисления сопряженных переменных:

$$p_l^m = p_l^{m+1} - \Delta \tau \xi \beta_l p_l^{m+1} + \Delta \tau \xi \sum_{i=1}^n o_i^{m+1} \tilde{w}_{il}^m, \quad l=1 \dots n, \quad m=0 \dots q-1, \quad (21)$$

$$p_l^q = -\lambda_0 2 M_l (\tilde{x}_l^q - A_l), \quad o_l^q = 0, \quad q^k = q^{k+1}, \quad q^q = -\lambda_0, \quad (22)$$

$$o_l^m = \xi \Delta \tau p_l^{m+1} \frac{df_l(\tilde{y}_l^m)}{d\tilde{y}_l^m} + o_l^{m+1}, \quad l=1 \dots n, \quad m=0 \dots q-1, \quad k=0 \dots q-1. \quad (23)$$

Использован метод проекции градиента в сочетании с методом быстрого автоматического дифференцирования [4]. На рисунке 1 приведена схема разработанного и апробированного вычислительного алгоритма.

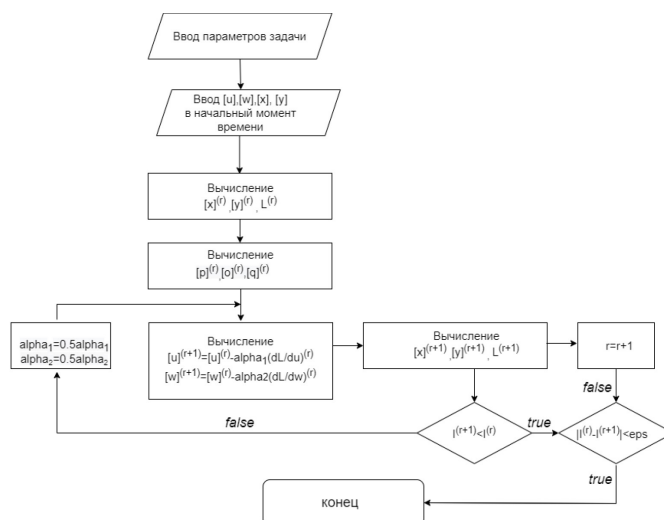
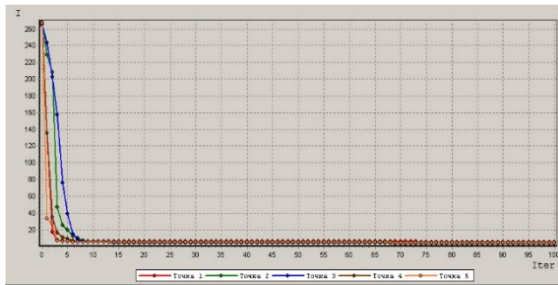
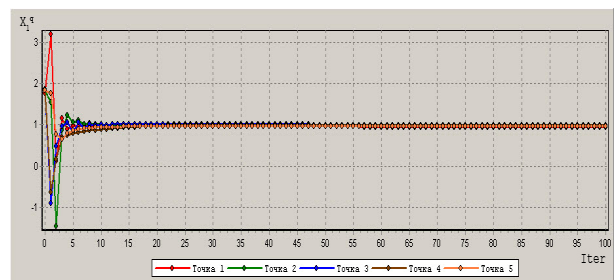
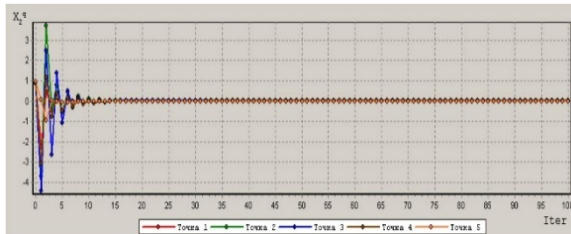
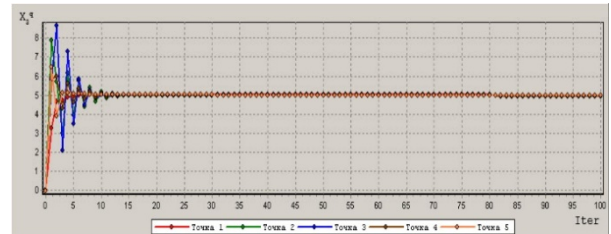


Рис. 1 – Схема алгоритма построения численного решения задачи

На рисунках 2-5 отражены зависимости от числа итераций (*Iter*) значений минимизируемого функционала и конечных точек траекторий, полученных с применением приведенного алгоритма, при следующих значениях параметров: $n=3$, $q=5$, $T_0=1$, $\alpha=0.1$, $\epsilon=0.000001$, $N_{\max}=1000$, $a_i=0.1$, $a_{ij}=0.5$, $M_i=10$, $\alpha_{ij}=0.1$, $x^0=(2, 1, 0)$, $x^q=(1, 0, 5)$.

Рис. 2 – Зависимость I ($Iter$)Рис. 3 – Зависимость x_1^q ($Iter$)Рис. 4 – Зависимость x_2^q ($Iter$)Рис. 5 – Зависимость x_3^q ($Iter$)

Наибольшую скорость сходимости метод показывает при отсутствии интегрального слагаемого в минимизируемом функционале; увеличение значения штрафа интегрального слагаемого приводит к значительному снижению точности попадания траектории в заданную конечную точку.

Предложенный подход к обучению ИНС может быть использован для управления сложными объектами, идентификация параметров которых осуществляется на основе статистических данных, полученных в ходе пассивных наблюдений [5]. Приведенный алгоритм применим при моделировании и обучении широкого класса динамических нейронных сетей для их использования в автоматизированных системах защиты охраняемых объектов.

Список литературы

1. Андреева Е.А., Кратович П.В. Оптимизация нейронных сетей. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2015. – 116 с.
2. Андреева Е.А., Колмановский В.Б., Шайхет Л.Е. Управление системами с последействием. – М.: Наука, 1992. – 336 с.
3. Андреева Е.А., Цирулева В.М. Вариационное исчисление и методы оптимизации. – М.: Высшая школа, 2006. – 584 с.
4. Евтушенко Ю.Г. Методы решения экстремальных задач и их применение в системах оптимизации. – М.: 1982. – 432 с.
5. Галушкин А.И. Нейронные сети. Основы теории. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 496 с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ — 2.3.1. (05.13.01)***2.3.1. (05.13.01)***Р.Р. Абдулов, Н.Е. Кувшинов, А.В. Степура, Г.А. Морозов, Н.Е. Стахова**

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
Институт радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, OGMorozov@kai.ru

**АЛГОРИТМ ИМИТАЦИИ ЦИКЛА «ДЕНЬ-НОЧЬ»
ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН АРБУЗА**

В работе представлены результаты синтеза алгоритма имитации цикла «день-ночь» для предпосевной обработки семян арбуза. На примере семян арбуза, выращиваемых в Астраханской области, предложен способ стимуляции семян сельскохозяйственных культур, заключающийся в том, что семена обрабатывают в воде при контрастных температурах 20°C и 40°C в течение 30 минут с одновременным облучением СВЧ-полем, энергия которого ведет не только к нагреву воды, но и возбуждению внутренних дипольных связей семян. Обработанные при контрастных температурах семена подвергают дополнительной обработке световым излучением различной яркости также в течение 30 минут. Таким образом реализован циклический час предпосевной обработки, который эквивалентен одним суткам естественной обработки (имитация режима «ночь-день»). Обсуждены вопросы разработки информационных моделей реализации технологического процесса предпосевной обработки семян арбуза, который позволил в 10 раз сократить его длительность при увеличении длины проростков в 1,5 раза по сравнению с естественным. Отмечена необходимость дополнительного использования инфразвуковой обработки семян параллельно со световой.

Ключевые слова: семена арбуза; предпосевная обработка семян; алгоритма имитации цикла «день-ночь»; влаготепловая обработка; обработка электромагнитным полем СВЧ; обработка световым полем; обработка инфразвуковым полем.

Введение. Известны различные способы предпосевной подготовки семян арбуза: сортирование; калибрование по размерам; сортирование по плотности; гидротермическое аэрирование; обработка микроудобрениями; протравливание; прогревание; проращивание и др. К недостаткам этих способов относятся низкая их эффективность и высокая стоимость. Все эти способы не позволяют производить высев семян в ранние агротехнические сроки [1].

Солнечный обогрев семян в воде считается наиболее эффективным и способствует повышению урожайности арбузов. Его проводят в солнечную погоду на открытой площадке в течение 5-7 дней. Однако применение обогрева осложняется тем, что прогреть семена необходимо перед посевом. Весенний же период отличается неустойчивыми погодными условиями. Дождливая погода не позволяет проводить подобные мероприятия, а при сильном освещении семена могут впасть в состояние вторичного или индуцированного покоя. Кроме того, этот способ требует больших затрат времени.

Сымитировать этот метод можно совокупностью специальных методов. Среди них можно выделить обработку семян в плазме – солнечное освещение во всем спектре от УФ до ИК. Искусственно созданная плазма по природе воздействия похожа на солнечный свет. Солнечный свет в различных зонах атмосферы образуются температурные градиенты и тепловые неустойчивости, порождающие инфразвуковые колебания атмосферы, которые при

естественной подготовке воздействуют на обрабатываемые семена. Сверхвысокочастотный нагрев увлажненных семян, основанный на явлении диэлектрической поляризации, объединяет в себе воздействие двух полей – электромагнитного и теплового. Идеология имитации «день-ночь» требует построения управляемого адаптивного комплекса, информационная структура которого будет полностью отражать все физические процессы, которые происходят в природе, но со значительным сжатием по времени.

Синтез алгоритма методом аналогий. Решение подобных задач, было выполнено в НИЦ ПРЭ, ныне, НИИ ПРЭФЖС КНИТУ-КАИ, для обработки семян сосны и ели [2].

Были определены закономерности реакции семян на воздействие тепловых и информационных полей различной интенсивности и диапазонов (рис. 1). Эти закономерности проявляются в пределах каждого из видов полей и диапазонов вне зависимости от типа культуры. И, соответственно, построены две модели - тепловая и информационная.

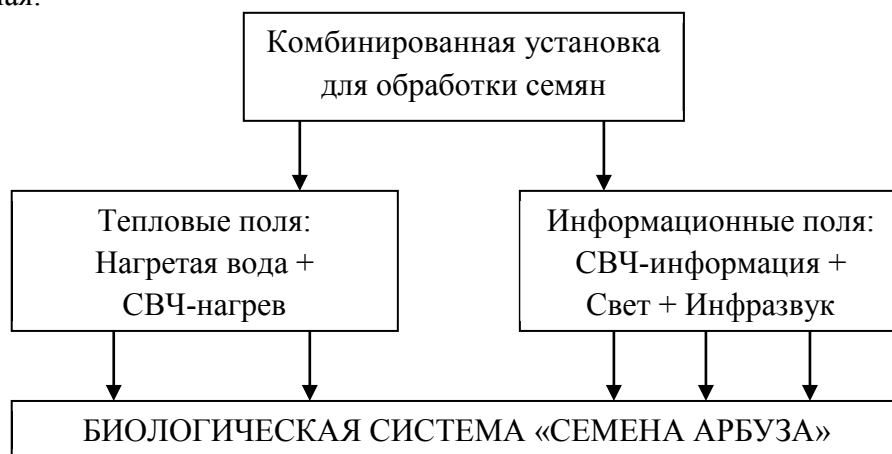


Рис. 1 – Тепловая и информационная модели предпосевной обработки

Тепловая модель предполагает нагрев массы семян за счет тепла воды (ночь), токов проводимости и смещения, вызываемых дополнительным СВЧ-нагревом (день), что соответствует естественным условиям прорастания. Для информационной модели СВЧ-поля, света и инфразвука, как дополнительных внешних факторов, управляющих условиями прорастания (только день) предложено моделировать естественные условия прорастания вместе с температурой, используя в качестве воздействия тепло, которое является для семян важнейшим фактором, стимулирующим процессы прорастания и жизнедеятельности.

Получена зависимость, которая положена в основу программного управления посевными свойствами семян, что показано на рис. 2 в условных осях: «время-дни» и «время-секунды».

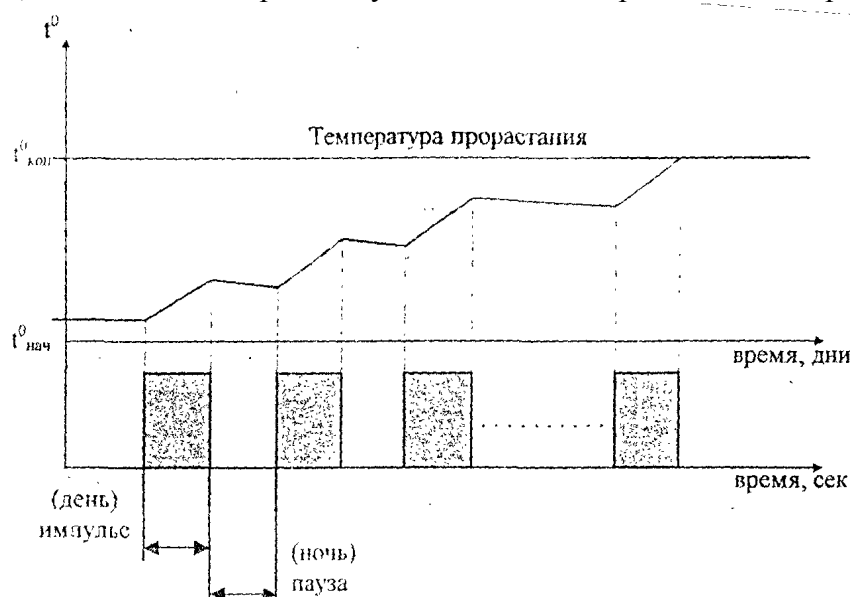


Рис. 2 – Моделирование естественных условий прорастания

Определены режимы обработки семян различными полями. Информационная модель рассматривает реакцию биологической системы «Семена арбуза» на воздействие полей (день) через взаимодействие двух комплексных полей внешнего и собственного. Процессы, происходящие внутри биологической системы, представляются через обмен информацией между системами воздействий, и регистрировались специальными методами и средствами измерений [3-6].

Обсуждение результатов. Максимальный стимуляционный эффект воздействия на семена арбуза для повышения всхожести, усиления энергии прорастания и жизнеспособности семян, а также роста проростков и развития их корневой системы заключается в том, что для семян, обработанных водой контрастных температур 20°C и 40°C попеременно каждой в течение 30 минут, совместно с СВЧ-излучением. Длительность СВЧ-облучения определяется количеством воды, в котором находятся семена, с учетом двух факторов: не пересушить семена и обеспечить проникновение СВЧ поля внутрь семян через слой воды для оказания на них информационного воздействия. Кроме того, необходим направленный увеличенный поддерживаемый оптимальное время транспорт ионов воды, микроэлементов металлов, кислорода и других полезных веществ, поступающих через мембраны в клетки семян для усиления обменных процессов в них и выброса отработанного материала после окончания СВЧ-облучения. Для большего насыщения семян энергией, необходимой для усиления физических и химических процессов жизнедеятельности их клеток, семена подвергают световому и инфразвуковому облучению в течении 30 минут без использования СВЧ воздействия, что обеспечивает релаксацию семян от него (вылежка), не прекращая других воздействий в других диапазонах.

Заключение. Синтезирован алгоритм имитации цикла «день-ночь» для предпосевной обработки семян арбуза в тепловых, СВЧ, световых и инфразвуковых полях, реализация которого позволяет в 10 раз сократить его длительность при увеличении длины проростков в 1,5 раза по сравнению с естественным процессом, что показано экспериментально на опытных делянках.

Список литературы

1. *Листопад Г.Е., Абезин В.Г., Раков Е.Ю. и др.* Рекомендации по возделыванию, уборке и переработке бахчевых культур для многоцелевого использования. Волгоград, 1998. - 56 с.
2. *Морозов Г.А. и др.* Микроволновая обработка семян хвойных пород деревьев: достигнутые результаты и направления перспективных исследований // Известия Самарского НЦ РАН. 2011. Т. 13. № 4-4. С. 1197-1202.
3. *Морозов О.Г. и др.* Двухчастотный метод определения параметров резонансных датчиков СВЧ-диапазона // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: РиИС. 2014. № 1 (20). С. 76-86.
4. *Морозов Г.А. и др.* Резонансные методы мониторинга технологических процессов отверждения полимеров в функционально адаптивных СВЧ-реакторах // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1-2. С. 568-572.
5. *Морозов Г.А. и др.* Коаксиальные брэгговские СВЧ-структуры в сенсорных системах // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2014. Т. 17. № 3. С. 65-70.
6. *Морозов Г.А., Морозов О.Г.* Микроволновые технологии. Результаты и новые задачи // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2006. Т. 9. № 3. С. 82-91.

2.3.1. (05.13.01)

Р.Р. Абдулов, Н.Е. Кувшинов, А.В. Степура, Г.А. Морозов, Н.Е. Стахова

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
Институт радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра радиопотоники и микроволновых технологий,
Казань, OGMorozov@kai.ru

**СТЕНД ИМИТАЦИИ ЦИКЛА «ДЕНЬ-НОЧЬ»
ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН АРБУЗА**

В работе представлены результаты разработки стенда для алгоритма имитации цикла «день-ночь» для предпосевной обработки семян арбуза. В стенде с принудительной подачей семян в воде контрастных температур достигается высокая равномерность обработки рабочей массы, отсутствие участков локального перегрева. Семена обрабатывают в воде при контрастных температурах 20°C и 40°C в течение 30 минут с одновременным облучением СВЧ-полей, а также дополнительно комбинацией СВЧ, световых и инфракрасных полей, также в течение 30 минут. Смесь семян и воды при соответствующей температуре поступают в приемный бункер. Затем проходят экранный модуль и попадают в канал обработки, размещенный в металлическом экране цилиндрической формы, являющейся корпусом СВЧ, светового и инфракрасного модуля. Внутри экрана подводится СВЧ энергия от генераторов СВЧ, света и инфракрасного излучения. Канал и экран имеют вертикальное расположение, что обеспечивает надежное движение смеси семян и воды. В настоящее время реализация предложенной схемы для обработки семян и воды требует дополнительных исследований по технологии.

Ключевые слова: *семена арбуза; предпосевная обработка семян; алгоритм имитации цикла «день-ночь»; стенд; водотермическая обработка; обработка электромагнитным полем СВЧ; обработка световым полем; обработка инфразвуковым полем.*

Введение. В ходе исследований предложен способ стимуляции семян арбуза, заключающийся в том, что семена арбуза обрабатывают в воде при контрастных температурах 20°C и 40°C в течение 30 минут (имитация режима «ночь-день» при естественной предпосевной обработке) с одновременным облучением СВЧ-полем, энергия которого ведет не только к нагреву воды, но и возбуждению внутренних дипольных связей семян [1]. Обработанные при контрастных температурах семена арбуза подвергают дополнительной обработке световым и инфразвуковым излучением в течение 30 мин. Таким образом реализован циклический час предпосевной обработки, который эквивалентен одним суткам естественной обработки в воде и облучением солнцем.

Предложено устройство для реализации способа, которое обеспечивает повышение всхожести семян, энергии прорастания, ускорения роста проростков и развития их корневой системы.

Известны способы стимуляции семян, в которых на семена арбуза, помещенные в воду, воздействуют взрывной волной [2], но в этом случае наблюдаются механические повреждения семян и могут травмироваться их зародыши, что приводит к ухудшению посевных, а затем и хозяйственно-ценных качеств выросших из них растений. Наиболее близким к предложенному устройству является устройство, в котором семена подвергаются водотермической обработке совместно с СВЧ [3]. Однако в этом устройстве отсутствует источник светового и инфракрасного облучения семян, аналог солнца в указанных диапазонах, после водотермической обработки.

Максимальный стимуляционный эффект воздействия на семена арбуза для повышения всхожести, усиления энергии прорастания и жизнеспособности семян, а также роста проростков и развития их корневой системы заключается в том, что для семян, обработанных водой контрастных температур 20°C и 40°C в течение 30 минут, совместно с СВЧ-излучением, дополнительно включается направленный увеличенный поддерживаемый оптимальное время транспорт ионов воды, микроэлементов металлов, кислорода и других полезных веществ, поступающих через мембраны в клетки семян для усиления обменных процессов в них и выброса отработанного материала для большего насыщения семян энергией, необходимой для усиления физических и химических процессов жизнедеятельности их клеток, путем светового и инфразвукового облучения семян в течении 30 минут.

Структурная схема стенда. В стенде (рис. 1) с принудительной подачей семян в воде контрастных температур достигается высокая равномерность обработки рабочей массы, отсутствие участков локального перегрева.

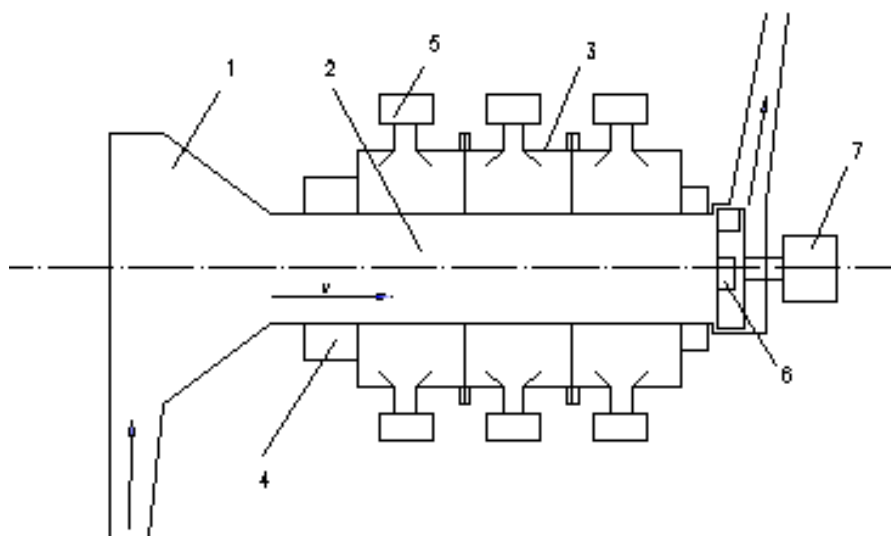


Рис. 1 – Структурная схема стенда:

- 1 – приемный бункер; 2 – канал обработки; 3 – модуль физического воздействия;
4 – экранный модуль; 5 – генератор СВЧ, светового излучения, инфракрасного излучения;
6, 7 – устройства обеспечения равномерного движения потока

Смесь семян и воды при соответствующей температуре поступают в приемный бункер 1. Затем проходят экранный модуль 4 и попадают в канал обработки 2, размещенный в металлическом экране цилиндрической формы 3, являющейся корпусом СВЧ, светового и инфракрасного модуля. Внутри экрана подводится СВЧ энергия от генераторов СВЧ, света и инфракрасного излучения. Канал 2 и экран 3 имеют вертикальное расположение, что обеспечивает надежное движение смеси семян и воды.

Смесь семян и воды проходит зону облучения 3-х генераторов разной физической природы, расположенных под 120° друг к другу в плоскости поперечного сечения канала. Питание генераторов модуля осуществляется от 3-х фазной сети поэтому их работа сдвинута по фазе силовой сети 120°, что развязывает воздействие различных физических полей на смесь воды и семян. В целом установка содержит несколько генераторных модулей, ярусами, располагающимися на экране. Модули соседних ярусов питаются в противофазе силовой сети.

Обработанная смесь семян и воды из рабочего канала дозированно принимаются разгрузочным ротором, приводимым в движение мотором.

Описанная схема установки, безусловно, сложнее и дороже, чем стоимость естественной обработки. Однако для реализации высокой производительности она будет иметь серьезные преимущества, поскольку длительность обработки в 1 час, равна суткам естественной обработки. Равномерная подача смеси семян и воды при большой мощности источников

СВЧ, световой и звуковой энергии позволит обеспечить высокое качество обработки. Изоляция канала обработки от окружающей среды позволит легче осуществить меры по защите человека-оператора от физических облучений, воздействующих на воду и семена.

Заключение. Применение разработанной схемы обработки семян и воды позволяет осуществить ее как в открытых системах, с использованием облучающих устройств и открытых линий, так и в замкнутых металлических объемах, трубопроводах с использованием только открытых линий и элементов на их основе.

В качестве канала обработки, разработанного стенда, могут использоваться: диэлектрические волноводы, несимметричные полосковые линии, щелевые, компланарные и т.д. Общее требование к таким линиям – это наличие у них необходимого поля рассеяния, что достигается выбором поперечных размеров и структурой заполнения, методами измерений [4-6].

Конструкции этих элементов должны быть невыступающие, чтобы не препятствовать движению жидкости. В канале обработки в данном случае таким условиям отвечают именно конформные конструкции линий передач и излучающих элементов, совмещенные со стенками желоба. Сечение линий, изменение их погонных параметров рассчитываются из требуемого закона распределения мощности потерь в обрабатываемой среде и зависят от состава обрабатываемого материала и диапазона частот.

В настоящее время реализация предложенной схемы для обработки семян и воды требует дополнительных исследований по технологии, разработке и изготовлению необходимых линий передач, стойких к агрессивной среде (вода и возможные химикаты).

Список литературы

1. Листопад Г.Е., Абезин В.Г., Раков Е.Ю. и др. Рекомендации по возделыванию, уборке и переработке бахчевых культур для многоцелевого использования. Волгоград, 1998. - 56 с.
2. Новожилков К.В., Тютчев С.Л., Баталов Т.С., Мартыненко В.И. и др. Авторское свидетельство 1513643 А1, МПК4 А01 С1/08. Способ предпосевной обработки семян / Заявлено 04.08.1987. Опубликовано 01.12.1999. Бюл. 37.
3. Галифанов Г.Г., Редженков О., Агаджанов Г.М., Нурсахатов О.С. Патент 2058699 С1, МПК6 А01 С1/10, А 01 N35/00. Способ предпосевной обработки семян / Заявлено 14.08.1982. Опубликовано 27.04.1996. Бюл. 20.
4. Морозов О.Г. и др. Двухчастотный метод определения параметров резонансных датчиков СВЧ-диапазона // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: РиИС. 2014. № 1 (20). С. 76-86.
5. Морозов Г.А. и др. Резонансные методы мониторинга технологических процессов отверждения полимеров в функционально адаптивных СВЧ-реакторах // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1-2. С. 568-572.
6. Морозов Г.А. и др. Коаксиальные брегговские СВЧ-структуры в сенсорных системах // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2014. Т. 17. № 3. С. 65-70.

*2.3.1. (05.13.01)***Д.В. Алексеев, В.И. Баязитова, Л.М. Сарварова, А.А. Василец, Р.Л. Галиуллин**

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
Институт радиоэлектроники, фотоники и цифровых технологий,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, OGMorozov@kai.ru

**МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ ДВИЖЕНИЯ
НА ОСНОВЕ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ**

Постепенно добавление полос движения становится все более частым управленческим решением с увеличением количества транспортных средств на дорогах. Однако это решение уже не является оптимальным решением проблемы пробок на дорогах. Одним из практических решений является более эффективное использование существующей инфраструктуры и более эффективное управление. Эффективное управление дорожным движением требует использования технологии наблюдения для определения размера трафика, который определяет характеристики и поведение транспортных средств на дороге (например, скорость транспортного средства, плотность транспортных средств, размер транспортных средств и т.д.). Несмотря на то, что волоконные решетки Брэгга (ВБР) использовались во многих успешных экспериментах по мониторингу трафика до сих пор не было предложено стандартного решения для реализации мобильных систем контроля плотности на базе ВБР и их разновидностей. В этой работе мы проектируем мобильную платформу, включающую датчики ВБР, особенностью которых является наличие в них фазового сдвига, и возможность применения для них радиофотонного опроса, который существенно выигрывает у классического оптико-электронного по скорости и точности.

Ключевые слова: волоконные брэгговские решетки, фазовый сдвиг, распределенные сенсорные сети, переносной сенсор, мониторинг плотности дорожного движения.

Постановка задачи. ВБР способны быть нервными узлами волоконных инфраструктурных систем в силу многих преимуществ этих серийно производимых датчиков. К преимуществам ВБР относятся присущая им возможность демодуляции информации с кодированием по длине волны, нечувствительность к электромагнитным помехам, конфигурируемость с возможностью мультиплексирования (до нескольких десятков каскадно включенных датчиков на разных длинах волн в одном оптическом волокне можно опрашивать, используя только одну единицу оборудования – интеррогатор), пассивный и молниезащитный, коррозионностойкий характер, а также небольшой размер.

Наиболее важным аспектом во всех практических применениях ВБР являются конструкции и методы установки датчиков [1]. Что касается этого аспекта, необходимо учитывать множество параметров, которые неизбежно повлияют на конечный результат: механические свойства и размеры измерительной платформы, расстояние между ВБР и поверхностью дороги, материал, используемый для защиты и покрытия датчика, количество последовательно соединенных датчиков, расстояние между датчиками, измерительная длина и тип оптического волокна, используемого для построения платформы и т.д. Кроме того, до сих пор в таких платформах использовались только классические ВБР и методы их мультиплексирования [2-4]. Таким образом, применение ВБР с фазовым сдвигом и радиофотонных методов их опроса, надлежачая долговременная калибровка сенсорной системы для повышения разрешающей способности измерений, быстроедействие для отслеживания различий между измеренными и реальными значениями целевого физического параметра (например, деформации, скорости), снижения стоимости канала опроса являются сложной задачей, требующей новых исследований.

Преимущества ВБР с фазовыми сдвигами. Оценки, проведенные нами, и результаты, приведенные в работах других авторов [5], показали, что величина разрешающей способности датчика деформации в конфигурации интерферометра Фабри-Перо (ИФП) из двух ВБР больше, чем на базе классической ВРБ. Реально достижимая полуширина резонансного спектра датчика в конфигурации ИФП составляет по данным [5] 0,025 нм, а для ВРБ – 0,5 нм. Это значит, что разрешающая способность ИФП датчика в 20 раз лучше, чем у датчика на одной ВРБ. Развивая данный подход можно использовать для создания датчика на основе ВРБ с фазовым π -сдвигом, которая представляет собой простейший ИФП с длиной резонатора, не превышающей Λ – периода решетки. Полуширина резонансного пика такого типа решеток может достигать 0,005 нм [5], что свидетельствует о возможном увеличении разрешающей способности измерений на два порядка по сравнению с датчиком на одной ВРБ.

Радиофотонный опрос датчиков на ВБР с фазовыми π -сдвигами. Рассмотрим следующие алгоритмы построения системы.

1. Четыре ВБР с полосой пропускания 0,5 нм равномерно расположенные по длине мобильной платформы с шагом по длине волны 3 нм.
2. Четыре ИФП с полосой пропускания окна прозрачности 0,025 нм равномерно расположенные по длине мобильной платформы с шагом по длине волны 3 нм.
3. Четыре ВБР с фазовым π -сдвигом и полосой пропускания окна прозрачности 0,005 нм равномерно расположенные по длине мобильной платформы с шагом по длине волны 3 нм.
4. Четыре ВБР с фазовым π -сдвигом и полосой пропускания окна прозрачности 0,005 нм равномерно расположенные по длине мобильной платформы с шагом по длине волны 0,8 нм.

Для случаев 2-4 возможно определение разностной частоты биений между центральными длинами волн с целью определения факт проезда автомобиля над датчиком. Данный подход является радиофотонным и требует не прямого определения длины волны, а прямого определения частоты биений. При этом порядок погрешности с единиц пм (единиц МГц), падает до единиц Гц (точнее кГц, что определяется шириной линии лазера), т.е. становится ниже практически на три порядка.

Как указывалось в [6], в случае 4 ВБР имеют П-образную форму, в силу высокого коэффициента связи мод, и окна прозрачности в зоне фазового π -сдвига с полосой пропускания 50 МГц. Поскольку мобильная платформа должна работать в условиях ± 40 °С, ширина ВБР должна составлять 0,8 нм при ее температурной чувствительности 10 пм/°С. При этом даже в крайней ситуации, которая практически невозможна, когда одна решетка находится при температуре +40 °С, а вторая при –40 °С, окно прозрачности одной решетки не перекрывается отражающей частью соседней. В случае температуры 0 °С окна прозрачности разнесены на 100 ГГц друг от друга. Данные частоты определяют требования к трансиверу. Ширина полосы излучения ЛШД должна составлять около 4 нм, что не является проблемой для любого SOA источника. Полоса пропускания фотоприемника не должна быть меньше 100 ГГц, что возможно при использовании GaAs фотоприемников сетей связи 100G, широко применяемых сегодня на магистральных сетях связи.

С другой стороны, необходимо рассмотреть сдвиг окон прозрачности ВБР в силу деформации, вызванной наездом на одну или несколько ВБР автомобиля. По данным работ [2-4] диапазон изменения деформационного сдвига длины волны составляет от +300 до –500 пм при этом чувствительность используемых ВБР была повышена в 3 раза за счет конструктивных решений. Обычные ВБР имеют чувствительность к деформации 1 пм/мк. В этом случае величина отклика составит ± 100 пм или 0,1 нм. Тогда полоса фотоприемника может быть выбрана более узкой – в 40 ГГц (с полуторакартным запасом) [6].

Экспериментальные данные были подтверждены в ходе испытаний проведенных во дворе НИИ ПРЭФЖС КНИТУ-КАИ. При этом было принято решение рассмотреть возможность применения еще одного типа ВБР – адресных [7], с целью дальнейшего упрощения интеррогатора и исключения коллизий, связанных с возможностью совпадения частот биений для различных ситуаций проезда нескольких автомобилей одновременно.

Заключение. В этой работе была эскизно представлена мобильная измерительная платформа, содержащая четыре последовательно соединенные ВБР с фазовым π -сдвигом. Представлен радиофотонный подход как эффективный метод обнаружения транспортных средств во время обычного транспортного потока по частотам биений между окнами прозрачности решеток. Данная платформа позволяет с одной стороны избавиться от дорогостоящего оптико-электронного интеррогатора, с другой стороны повышения разрешающей способности измерений. Как развитие платформы предложено использование в ее составе адресных ВБР.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках исполнения обязательств по программе Приоритет-2030.

Список литературы

1. Интеллектуальная система управления дорожным движением "INCOEL SMART TRAFFIC" // Умный город. URL: russiasmartcity.ru (дата обращения: 08.04.2022).
2. Kara De Maeijer P., Van den Bergh W., Vuye C. Fiber Bragg grating sensors in three asphalt pavement layers // Infrastructures. 2018. №3. p. 16. P. 16.
3. Fridrich M. et al. Portable Optical Fiber Bragg Grating Sensor for Monitoring Traffic Density // Applied Sciences. 2019. №9. P. 4796.
4. Yuksel K. et al. Implementation of a mobile platform based on fiber Bragg grating sensors for automotive traffic monitoring // Sensors. 2020. №20. P. 1567.
5. Морозов О.Г. и др. Модуляционные методы измерений в оптических биосенсорах рефрактометрического типа на основе волоконных решеток брэгга с фазовым сдвигом // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 3 (10). С. 3-13.
6. Баязитова В.И., Василец А.А. Система контроля трафика движения с использованием волоконно-оптических решеток Брэгга с фазовым сдвигом // Инженерный вестник Дона. 2020. № 8 (68). С. 31-39.
7. Морозов О.Г., Сахабутдинов А.Ж. Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах // Компьютерная оптика. 2019. №4. С. 535-543.

2.3.1. (05.13.01)

Д.В. Алексеев, В.И. Баязитова, Л.М. Сарварова, А.А. Василец, Р.Л. Галиуллин

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
Институт радиоэлектроники, фотоники и цифровых технологий,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, OGMorozov@kai.ru

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В этой статье обсуждается метод обнаружения транспортных потоков с использованием распределенного акустического мониторинга (РАМ) оптического волокна (от англ. DAS). В отличие от традиционного метода обнаружения транспортного потока, РАМ обнаруживает сигнал вибрации дорожного полотна с помощью оптоволоконного кабеля, проложенного вдоль дороги. Технология РАМ может обеспечить полностью распределенную акустическую информацию по длине всего оптоволокну, и, таким образом, внешние акустические сигналы с произвольной точки дороги могут быть обнаружены и локализованы. Для решения проблем построения систем РАМ для контроля плотности движения предложено создать массив трехкомпонентных адресных волоконных брэгговских структур (ТАВБС) в оптическом волокне. Внедрение РАМ на основе ТАВБС устранят недостатки существующих решений, а именно: значительно уменьшат сложность зондирования и системы опроса, а также позволят мультиплексировать все датчики на своей адресной частоте и обеспечить простоту обработки измерительного сигнала в радиочастотном диапазоне.

Ключевые слова: *распределенный акустический мониторинг, трехкомпонентные адресные волоконные брэгговские структуры, полотно дороги, распределенные сенсорные сети, плотность дорожного движения.*

Введение. Методы распределенного мониторинга оптического волокна, основанные на РАМ, успешно применяются в широком диапазоне приложений для измерения деформации, вибраций, благодаря преимуществам получения большого массива данных в широком динамическом диапазоне. Однако сверхслабые по амплитуде сигналы рассеяния представляют собой неизбежную проблему, которая приводит к низкой скорости измерения (ниже нескольких герц) и низкому пространственному разрешению (~ 1 м). Для решения указанной проблемы используются новые технические решения, такие как методы OCDR и OFDR со сканированием в частотной области, основанные на оптической интерференции. Эти методы обеспечивают более высокое пространственное разрешение (в субмиллиметровом диапазоне); однако, обладают и существенными недостатками, такими как сверхвысокая стоимость, высокая сложность системы и уменьшенный динамический диапазон измерений.

Альтернативой этим методам являются квази-распределенные датчики РАМ на основе ВБР, которые имеют большие по амплитуде сигналы отражения в оптическом волокне, и могут быть использованы для получения нескольких физических параметров в дискретных локальных точках, разнесенных на несколько миллиметров друг от друга. Как правило, обычные датчики на основе ВБР можно одновременно мультиплексировать при высоких скоростях измерения (порядка килогерц). Однако ВБР должны быть выполнены таким образом, чтобы гарантировать заданный диапазон измерений, ограниченный интеррогатором, и отсутствие перекрытия спектров ВБР между собой.

Для решения проблем построения квази-распределенных систем РАМ измерения вибраций дорожного полотна было предложено создать массив ТАВБС [1, 2] на оптическом волокне, которое вдувалось в установленный вдоль дороги кабель или его трубку. Внедрение РАМ на основе ТАВБС устраняет недостатки существующих решений [3], а именно: уменьшат сложность зондирования и систему опроса для определения плотности движения.

Структурная схема системы. Структурная схема системы акустической/вибрационной сенсорики РАМ на массиве ТАВБС показана на рис. 1.

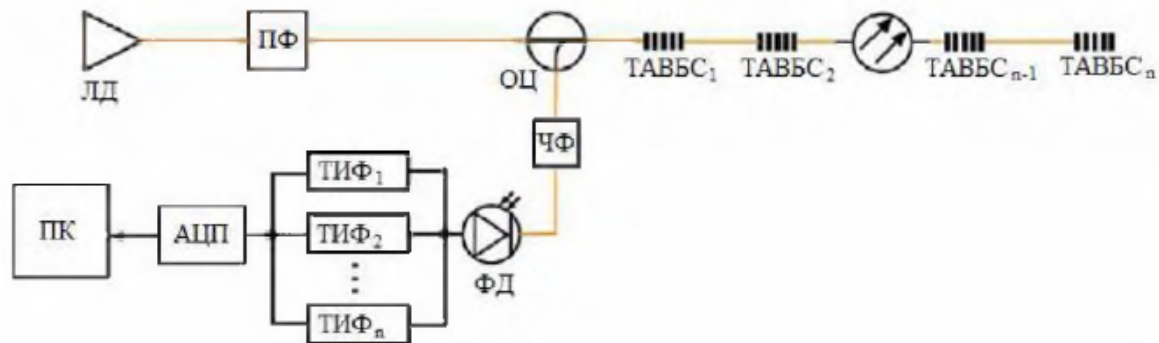


Рис. 1 – Структурная схема системы акустической/вибрационной сенсорики

ТАВБС с одной и той же центральной частотой Брэгга, но со строго разными частотами адресов позволяет унифицировать опрос системы. Его оптические компоненты представляют собой матрицу датчиков ТАВБС, расположенных вдоль оптического волокна (ТАВБС₁ – ТАВБС_n); непрерывный лазер источник (ЛД) с полосой излучения, соответствующей максимальному диапазону температурных сдвигов длины волны Брэгга, возможных в системе, формируемой либо самим ЛД, либо с помощью полосового фильтра (ПФ); оптический циркулятор (ОЦ); частотный фильтр с наклонной характеристикой в амплитудно-частотной плоскости (ЧФ); и фотоприемник (ФД).

Электронные компоненты представляют собой модуль аналого-цифрового преобразования (АЦП); набор трехкомпонентных избирательных фильтров с частотами, равными частотам адреса ТАВБС (ТИФ₁– ТИФ_n), которые могут быть выполнены аппаратно или программно; интеллектуальный блок обработки сигналов (ПК). Объединение компонентов измерительной системы и их простота при высокой скорости сканирования датчиков являются основанием для метрологического и технико-экономического совершенствования РФАСС на основе ТАВБС, предназначенной для контроля вибрации или интенсивности частичных разрядов и температуры вдоль КЛ, что обозначено в ряде документов ФЭС России, как одна из концептуальных задач интеллектуального развития электроэнергетики.

Основная задача системы, включает в себя обнаружение массива ТАВБС, соединенных либо по топологии шины (3π-ВБР), либо последовательно друг за другом (3π-ВБР), широкополосным лазерным излучением с прием отраженного сигнала через оптический циркулятор на фотоприемнике с последующей спектральной фильтрацией сигнала на адресных частотах датчиков, по принципам, изложенным в [4].

Как упоминалось ранее, ТАВБС чувствительна к осевому натяжению/сжатию и температуре. Когда массив ТАВБС на волокне встроен в волоконный кабель (ВК), волокно воспринимает деформации и изменение температуры кабеля, тем самым реализуется квази-распределенный датчик. В [5] приведены результаты разработки волоконно-оптического датчика вибрации и оптоэлектронной схемы для его зондирования, позволяющие обеспечить измерение вибраций в широком диапазоне частот (до 5 кГц). Его отличительной чертой является отказ от дорогих и, в основном, низкоскоростных интеррогаторов, которые являются амплитудными приборами. С другой стороны, определение природы вибрации требует высокой разрешающей способности измерений, особенно в диапазоне 20-2000 Гц.

Из модели ТАВБС [2] понятно, что если деформация ВБР является периодической, динамическое напряжение, которое меняется во времени, а изменение вызвано вибрацией ВК, на котором закреплено волокно, то отклик ТАВБС может быть использован для измерения периода (частоты) вибрации. Для детерминированной вибрации, основными параметрами являются: ускорение, амплитуда, скорость и частота колебаний. Если ускорение и частота вибрации известны, ее амплитуда и скорость могут быть выражены через ускорение. Поэтому ускорение является основным параметром, характеризующим вибрацию. Таким образом, система измерения ускорения ТАВБС может быть разработана, а основной принцип ее работы заключается в следующем: внешний ускорение преобразуется в динамическую деформацию по основным законам ВБР и, если амплитуда динамической деформации не превышает определенных пределов сохраняются классические законы сдвига центральной длины ВБР и сохранение положения адресных компонент. Длина волны Брэгга изменяется при изменении динамической нагрузки на ТАВБС и каждую ее адресную компоненту (ВБР), таким образом ускорение может быть измерено как изменения брэгговской длины волны любой из адресных компонент, либо ТАВБС в целом.

Заключение. Описан новый метод обнаружения и оценки плотности транспортных потоков с использованием РАМ. Был проведен эксперимент по обнаружению данных о дорожной вибрации во дворе НИИ ПРЭФЖС КНИТУ-КАИ. Данные о дорожной вибрации были обработаны и проанализированы с помощью алгоритма, описанного в этой статье. Планируется в дальнейшем решить следующие сложные задачи: различение количества автомобилей по вибрационным сигналам при прохождении через зону обнаружения нескольких автомобилей; различение типа транспортного средства по сигналу вибрации; определение оптимальной зоны обнаружения с минимальными погрешностями обработки данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках исполнения обязательств по программе Приоритет-2030.

Список литературы

1. Морозов О.Г., Сахабутдинов А.Ж. Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах // Компьютерная оптика. 2019. №4. С. 535-543.
2. Аглиуллин Т.А. и др. Многоадресные волоконные брэгговские структуры в радиофотонных сенсорных системах // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 1. С. 6-13.
3. Баязитова В.И., Василец А.А. Система контроля трафика движения с использованием волоконно-оптических решеток Брэгга с фазовым сдвигом // Инженерный вестник Дона. 2020. № 8 (68). С. 31-39.
4. Мисбахов Рус.Ш. и др. Волоконные брэгговские решетки с двумя фазовыми сдвигами как чувствительный элемент и инструмент мультиплексирования сенсорных сетей // Инженерный вестник Дона. 2017. №3. С. 4343.
5. Феофилактов С.В. и др. Волоконно-оптический датчик вибрации "ВИБ-А" // Инженерный вестник Дона. 2018. № 4. С. 5207.

2.3.1. (05.13.01)

¹Ф.Д. Байрамов д-р техн. наук, ²Б.Ф. Байрамов канд. физ.-мат. наук,
³Л.А. Феоктистова канд. техн. наук, ⁴Т.В. Рзаева

Набережночелнинский институт (филиал)
 Казанского (Приволжского) федерального университета,
 кафедра механики и конструирования,
 Набережные Челны, ¹fbairamovd@gmail.com, ²bbairamov@gmail.com,
³LAFeoktistova@kpfu.ru, ⁴tanial4.11@mail.ru

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ В БОЛЬШОМ ОДНОГО КЛАССА СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ И СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Методом функций Ляпунова решается задача устойчивости в большом систем с распределёнными и сосредоточенными параметрами, описываемых линейными дифференциальными уравнениями в частных и обыкновенных производных. При этом исходные уравнения высокого порядка путём введения дополнительных переменных представляются системой уравнений первого порядка. Получены условия устойчивости в большом.

Ключевые слова: системы с распределёнными и сосредоточенными параметрами, устойчивость в большом, метод функций Ляпунова, квадратичные формы.

Постановка задачи. Рассмотрим систему с одним распределённым и другими конечномерными звеньями, возмущённое состояние которой описывается уравнениями

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = A(x) \frac{\partial \varphi}{\partial x} + A_0(x) \varphi, \quad (1)$$

$$B(x) \frac{\partial \varphi}{\partial x} + B_0(x) \varphi = 0, \quad x \in X = (0, 1), \quad (2)$$

$$\frac{dz}{dt} = Fz + F_0 \varphi(0, t) + F_1 \varphi(1, t), \quad (3)$$

$$\Gamma_1 \varphi(0, t) = \Gamma_2 z, \quad \Gamma_3 \varphi(1, t) = \Gamma_4 z, \quad t \in I = (0, \infty), \quad (4)$$

где $\varphi = \varphi(x, t)$ – n –мерный вектор переменных состояния распределённого звена, $z = z(t)$ – m –мерный вектор переменных состояния конечномерных звеньев, $A(x)$, $B(x)$, $A_0(x)$, $B_0(x)$ – матрицы, элементы которых – непрерывные функции, F , F_0 , F_1 , Γ_{1-4} – постоянные матрицы.

С математической точки зрения задача (1) – (4) – это краевая задача для уравнений в частных производных при сложных граничных условиях. Уравнения (1), (2) представляют собой общую форму записи любого линейного гиперболического уравнения в частных производных второго порядка в виде системы уравнений в частных производных первого порядка [1, 2].

Равенства (4) – простые граничные условия. Уравнение динамики (3) конечномерных звеньев, расположенных на обоих концах распределённого звена, содержит граничные значения $\varphi(x, t)$ и представляет собой сложное граничное условие в дифференциальном виде.

Уравнениями типа (1) – (4) описываются, например, системы, имеющие упругие валы; системы, содержащие трубопроводы, в которых необходимо учитывать распределённый характер течения жидкости и др.

Введём меру $\rho = \int_0^1 \varphi^T \varphi dx$, характеризующую возмущённое состояние распределённого

звена.

Пусть заданы области начальных и допустимых текущих возмущений

$$\pi_0 = \left\{ \varphi, z \mid \rho < H_{00}, |z_{0i}| < H_{0i}, i = \overline{1, m} \right\},$$

$$\pi = \left\{ \varphi, z \mid \rho < H_0, |z_i| < H_i, i = \overline{1, m} \right\},$$

где H_{0i}, H_i ($i = \overline{0, m}$) – заданные положительные числа: $H_{0i} \leq H_i$.

Определение. Система (1) – (4) называется устойчивой в большом по переменным ρ, z , если она устойчива в малом по этим переменным и все решения системы (1) – (4) с начальными данными из области π_0 в любой момент времени $t \in I$ остаются в области π .

Рассмотрим устойчивость в большом системы (1) – (4) по переменным ρ, z .

Исследование устойчивости. Для исследования устойчивости в большом используем функцию Ляпунова

$$V = V_1 + V_2 = \int_0^1 \varphi^T(x, t) v(x) \varphi(x, t) dx + z^T(t) Q z(t), \quad (5)$$

где $v(x), Q$ – симметричные матрицы: элементы Q – постоянные, а элементы $v(x)$ – непрерывные ограниченные функции.

Сначала вычислим производную dV/dt в силу уравнений (1) и (3):

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} = & \int_0^1 \left[\varphi^T v \left(A \frac{\partial \varphi}{\partial x} + A_0 \varphi \right) + \left(\frac{\partial \varphi^T}{\partial x} A^T + \varphi^T A_0^T \right) v \varphi \right] dx + \\ & + z^T (QF + F^T Q) z + 2\varphi^T(0, t) F_0^T Q z + 2\varphi^T(1, t) F_1^T Q z. \end{aligned}$$

Далее к этой производной прибавим величину

$$\int_0^1 \left[\varphi^T P \left(B \frac{\partial \varphi}{\partial x} + B_0 \varphi \right) + \left(\frac{\partial \varphi^T}{\partial x} B^T + \varphi^T B_0^T \right) P^T \varphi \right] dx,$$

равную нулю в силу уравнения (2). Здесь $P = P(x)$ – пока произвольная матрица.

Выполним интегрирование по частям и потребуем, чтобы матрицы v, P удовлетворяли уравнению

$$vA + PB = A^T v + B^T P^T. \quad (6)$$

Тогда для производной dV/dt в силу уравнений (1) – (3) получим

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} = & - \int_0^1 \varphi^T w \varphi dx + z^T (QF + F^T Q) z + 2\varphi^T(1, t) F_1^T Q z + 2\varphi^T(0, t) F_0^T Q z + \\ & + \varphi^T(1, t) M(1) \varphi(1, t) - \varphi^T(0, t) M(0) \varphi(0, t), \end{aligned} \quad (7)$$

где

$$w(x) = \frac{dM(x)}{dx} - vA_0 - A_0^T v - PB_0 - B_0^T P^T, \quad M(x) = vA + PB. \quad (8)$$

В силу граничных условий (4) справедливы соотношения

$$\varphi(0, t) = A_2 \varphi(0, t) + \Gamma_2 z, \quad \varphi(1, t) = E \varphi(1, t) = A_1 \varphi(1, t) + \Gamma_4 z, \quad (9)$$

где $A_1 = E - \Gamma_3$, $A_2 = E - \Gamma_1$, E – единичная матрица.

Подставляя в двух последних слагаемых (7) вместо φ и φ^T выражения (9), и требуя, чтобы матрицы v, Q дополнительно удовлетворяли условиям

$$F_1^T Q + A_1^T M(1) \Gamma_4 = F_0^T Q - A_2^T M(0) \Gamma_2 = 0, \quad A_1^T M(1) A_1 = A_2^T M(0) A_2 = 0, \quad (10)$$

производную (7) преобразуем к виду

$$\frac{dV}{dt} = - \int_0^1 \varphi^T w \varphi dx - z^T \omega z, \quad (11)$$

где

$$\omega = - \left(QF + F^T Q \right) - \Gamma_4^T M(1) \Gamma_4 + \Gamma_2^T M(0) \Gamma_2. \quad (12)$$

Уравнения (6), (8), (10), (12) используются для построения матриц $v(x)$, Q при заданных матрицах $w(x)$, ω .

Согласно известным результатам об устойчивости распределённых [3] и конечномерных систем [4] система (1) – (4) будет устойчива в большом по переменным ρ , z , если:

- а) функционал V_1 непрерывен и определён положительно по мере ρ ;
- б) функция V_2 определён положительно;
- в) производная dV/dt (11) в силу системы (1) – (4) неположительна по переменным ρ , z при $t \in I$;
- г) выполняется условие

$$C_1 < C_2, \quad (13)$$

где

$$C_1 = \sup \left\{ V \mid \rho < H_{00}, |z_i| < H_{0i}, i = \overline{1, m}, t = t_0 \right\}, \quad (14)$$

$$C_2 = \inf \left\{ V \mid \rho < H_0, |z_i| < H_i, i = \overline{1, m}, t \in I \right\}. \quad (15)$$

Пусть матрица $v(x)$ определён положительно при $x \in (0, 1)$. Тогда интегральная форма V_1 удовлетворяет условиям

$$\lambda_1 \rho \leq V_1 \leq \lambda_2 \rho, \quad \lambda_1, \lambda_2 - const > 0, \quad (16)$$

т.е. является определён положительно и непрерывной по мере ρ . Здесь

$$\lambda_1 = \inf_{x \in (0, 1)} \lambda_{\min}(x), \quad \lambda_2 = \sup_{x \in (0, 1)} \lambda_{\max}(x),$$

$\lambda_{\min}(x)$, $\lambda_{\max}(x)$ – соответственно минимальное и максимальное собственные числа матрицы $v(x)$. Условие а) выполняется.

Предположим, что матрица Q также определён положительно. Тогда форма V_2 является определён положительно и в силу ограниченности матрицы Q удовлетворяет неравенствам [4]

$$\frac{\Delta z_i^2}{\Delta_i} \leq V_2 \leq \sum_{i, j=1}^m |q_{ij}| |z_i| |z_j|, i = \overline{1, m}, \quad (17)$$

где q_{ij} – элементы матрицы Q ; $\Delta = \det Q$, Δ_i – дополнение к i -тому диагональному элементу Δ . Условие б) также выполняется.

Из (14), (15), (16), (17) следует, что за числа C_1 и C_2 можно принять

$$C_1 = \lambda_2 H_{00} + \sum_{i, j=1}^m |q_{ij}| H_{0i} H_{0j},$$

$$C_2 = \min \left[\lambda_1 H_0, \min_{i=1, m} \frac{\Delta(t) H_i^2}{\Delta_i(t)} \right]$$

и условие (13) выполняется, если

$$\lambda_2 H_{00} + \sum_{i,j=1}^m |q_{ij}| H_{0i} H_{0j} < \min \left[\lambda_1 H_0, \min_{i=1,m} \frac{\Delta(t) H_i^2}{\Delta_i(t)} \right]. \quad (18)$$

Производная (11) будет неположительной по переменным ρ , z , если матрица $w(x)$ неотрицательна при $x \in (0,1)$, а матрица ω неотрицательна.

Таким образом, все вышеуказанные предложения а), б), в), г) выполнены и достаточные условия устойчивости в большой системы (1) – (4) по переменным ρ , z запишутся в виде следующей совокупности:

- 1) матрица $v(x)$ определённо положительна при $x \in X$;
- 2) матрица Q определённо положительна;
- 3) матрицы $w(x)$ и ω неотрицательны;
- 4) выполняется неравенство (18).

Список литературы

1. Байрамов Ф.Д. Устойчивость и оптимальная стабилизация систем с распределёнными параметрами. – М.: Машиностроение, 1995. – 160 с.
2. Байрамов Ф.Д., Байрамов Б.Ф., Галимов Н.С., Фардеев А.Р. Технологические процессы с комбинированным энергопитанием: механика, управление, автоматизация. – Казань: Изд-во Казанского университета, 2016. – 342 с.
3. Сиразетдинов Т.К. Устойчивость систем с распределёнными параметрами. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1987. – 231 с.
4. Малкин И.Г. Теория устойчивости движения. – М.: Наука, 1966. – 530 с.

2.3.1. (05.13.01)

¹Р.М. Галиев канд. техн. наук, ¹А.Ю. Барыкин канд. техн. наук,
¹Р.Ф. Илдарханов канд. техн. наук, ²И.И. Салахов канд. техн. наук,
²Ф.Л. Назаров, ¹А.И. Имамразыев

Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
автомобильное отделение,
¹кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта»,
²кафедра «Автомобили, автомобильные двигатели и дизайн»,
Набережные Челны, radikrabota@mail.ru

АНАЛИЗ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В работе рассматривается конструкция цилиндропоршневой группы дизельного двигателя внутреннего сгорания грузового автомобиля. Проведено исследование процесса выхода из строя деталей цилиндропоршневой группы. Рассматриваются причины возникновения задиров на поверхности поршня и гильзы, а так же факторы, влияющие на преждевременный отказ и износ деталей группы. Приведены предельные износы и овальности цилиндропоршневой группы. На основании проведенных исследований предложены методы повышения надежности двигателя.

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, дизельный двигатель, поршень, гильза цилиндра.*

Разработка и выпуск надежных, конкурентоспособных автомобилей являются основными задачами заводов-изготовителей. Надежность автомобиля – это свойство сохранять по пробегу все параметры, определяющие работоспособность в заданных пределах. Она состоит из следующих частных свойств: безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность. Надежность автомобиля влияет на эффективность технической и коммерческой эксплуатации. Чем реже водитель будет заезжать на техническое обслуживание и ремонт, и меньше будет там находиться, тем выше показатели технической и коммерческой эксплуатации транспортного средства.

Основные трудоемкие отказы современных грузовых автомобилей во время эксплуатации приходятся в основном на двигатель внутреннего сгорания [1, 2]. Это связано со сложностью конструкции, переменными нагрузками, широким диапазоном изменения рабочих температур.

Целью исследования является анализ дефектов, а именно, задиров в цилиндропоршневой группе двигателя внутреннего сгорания, и выявление причин возникновения отказа.

На современных двигателях используются гильзы, изготавливаемые из чугуна, а блок цилиндров - из алюминия. Это объясняется следующими преимуществами перед чугунными блоками:

- меньшая масса;
- лучшая теплоотдача алюминиевого блока, что требует меньшего количества охлаждающей жидкости для нормальной работы двигателя;
- малая трудоемкость при изготовлении;
- более простая технология изготовления;
- высокая ремонтпригодность;
- легкость ремонта, выполняемого без снятия двигателя с автомобиля;
- алюминиевый блок не поддается коррозии.

В процессе эксплуатации автомобиля наблюдаются различные задиры деталей цилиндропоршневой группы.

Причины возникновения задигов на поверхности поршня и гильзы цилиндров двигателя внутреннего сгорания могут быть следующие:

- перегрев двигателя;
- масляное голодание;
- некачественное моторное масло;
- нарушение заданных условий сгорания горючей смеси;
- подтекание топлива из форсунок, что в свою очередь влияет на масляную пленку в гильзах цилиндра;
- недостаточный зазор между поршнем (кольцом) и гильзой цилиндра;
- овальность гильзы.

Надежность детали зависит от следующих основных факторов: конструктивных, эксплуатационных, технологических.

Конструктивные факторы - это формы и номинальные размеры, начальные зазоры и посадки, условия нагрузки и смазки сопрягаемых деталей узла, материалы, применяемые для изготовления деталей.

К технологическим факторам относятся качество механической и термической обработки детали, технология изготовления и сборки узла, агрегата.

К эксплуатационным факторам относятся соблюдение требований эксплуатации, периодичность и качество технического обслуживания, опыт водителя, качество ремонта, применяемых запасных частей и эксплуатационных материалов.

Предельные значения износа и овальности цилиндропоршневой группы, возникающие в процессе эксплуатации, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Предельные значения износа и овальности цилиндропоршневой группы

№ п/п	Дефекты	Предельные размеры износа и овальности, мкм
1	Износ гильз цилиндров	240
2	Овальность гильз цилиндров	100
3	Радиальный износ верхнего компрессионного кольца	120

По износу деталей можно определить остаточный ресурс по техническому состоянию узла (агрегата) автомобиля прямым и косвенным методами [3, 4].

Один из дефектов цилиндропоршневой группы, задиры на поршне и гильзе цилиндра по четырем линиям, показан на рисунке 1. Данный дефект образуется на начальном этапе эксплуатации автомобиля и относится к конструктивным и технологическим факторам. Основная причина такого дефекта, недостаточный зазор между поршнем и гильзой двигателя в результате неправильного допуска трущихся элементов, теплового режима, что в свою очередь влияет на объемное расширение металла и овальность гильзы.

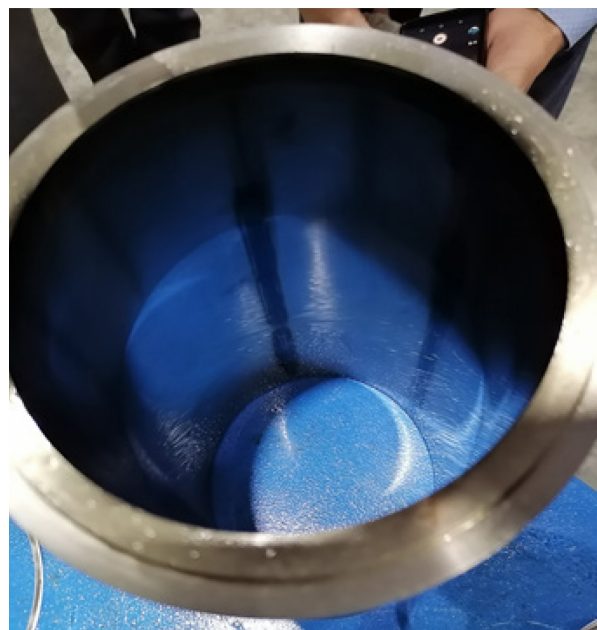
При эксплуатации этот дефект проявляется визуально - белым дымом из сапуна: моторное масло по задиру попадает в камеру сгорания и сгоревшие продукты через цилиндропоршневую группу просачиваются в картер двигателя [5].

Высокая надежность двигателя внутреннего сгорания достигается за счет обеспечения высокой долговечности блока цилиндров (базовой детали), по отношению к нему остальных деталей. Срок службы базовых деталей должен быть не меньше, чем автомобиля в целом. Запас долговечности цилиндропоршневой группы определяется по следующей формуле

$$\theta_{\text{цпг}} = T_{\text{цпг}} / T_{\text{бц}}$$

где $T_{\text{цпг}}$ и $T_{\text{бц}}$ – долговечность цилиндропоршневой группы и блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания.

Чем ближе к единице запас долговечности цилиндропоршневой группы, тем надёжнее узлы, т.е. более точно изготовлена конструкция, отработана технология изготовления и сборки.



а) поршень с задиром

б) гильза цилиндра с задиром

Рис. 1 – Дефекты цилиндропоршневой группы

Проведенные исследования показали, что гильзы внутри блока цилиндров получают овальную форму. Овальность увеличивается при переходе от верхнего торца до нижней части гильзы, причиной этого является технология сборки. Для повышения надежности цилиндропоршневой группы двигателя предлагаются следующие методы: маркировка поршней и гильз цилиндра по полю допуска и сборка с обеспечением достаточного зазора, последующая обкатка, испытание. Указанные мероприятия, по мнению авторов статьи, повышают запас долговечности и уменьшают вероятность отказов цилиндропоршневой группы двигателя во время эксплуатации.

Список литературы

1. Филькин Н.М. Сбор информации для бортовых систем диагностирования о техническом состоянии двигателя при эксплуатации грузового автомобиля / Н.М. Филькин, Р.М. Галиев, Ф.Л. Назаров, Р.А. Хафизов // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. - Ижевск, 2019. - Т.22, №2. - С. 58-64.
2. Баженов Ю.В. Исследование работоспособности двигателей в условиях эксплуатации / Ю.В. Баженов, М.Ю. Баженов // Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств: материалы XVIII Междунар. науч. практ. конф. (24-25 нояб. 2016 г.). - Владимир: Аркаим, 2016, С. 18-23.
3. Галиев Р.М. Анализ и методика определения остаточного ресурса двигателя внутреннего сгорания по цилиндропоршневой группе / Р.М. Галиев, А.Ю. Барыкин, Д.И. Нуретдинов, И.Ф. Илдарханов, И.И. Салахов, Ф.Л. Назаров // Научно-технический вестник Поволжья, 2021. - №11. - С. 16-18.
4. Макарова И.В. Диагностирование и оперативный контроль остаточного ресурса узлов и агрегатов автомобиля / И.В. Макарова, А.Т. Кулаков, Э.М. Мухаметдинов, Л.М. Габсалихова, А.В. Васильев // Транспорт: наука, техника, управление. 2018. № 2. С. 54–60.
5. Галиев Р.М. Методика определения остаточного ресурса двигателя внутреннего сгорания по давлению картерных газов / Р.М. Галиев, А.Ю. Барыкин, Д.И. Нуретдинов, Р.Ф. Илдарханов, В.М. Нигметзянова, Д.К. Шакуров // Научно-технический вестник Поволжья, 2021. - №4. - С. 25-27.

2.3.1. (05.13.01)

Н.А. Гаряев канд. техн. наук, Ф. Айюб, А.Н. Гаряев

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет",
кафедра Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве,
Москва, garyaev@mgsu.ru

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ НА ВЫЯВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ С ИСТЕКШИМ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В работе представлены результаты разработки автоматизированных решений обработки информации цифровых моделей зданий с целью выявления элементов инженерных коммуникаций с истекшим сроком эксплуатации востребованные на этапе эксплуатации строительных объектов.

Ключевые слова: Информационное моделирование, проектирование зданий, управление процессами, цифровая модель здания, управление эксплуатацией здания.

Обеспечение безопасного пребывания людей в зданиях и предотвращения аварий до их возникновения является актуальным вопросом. Поддержание заданного уровня надежности достигается за счёт контроля за инженерными коммуникациями, выявления неполадок до начала возможной аварии и своевременного ремонта. Обследование технического состояния систем инженерного оборудования помогает вовремя выявить неисправности в коммуникациях и устранить их. Этот процесс является важным для любых строительных объектов. Обследование технического состояния систем отопления, в частности металлических труб, должно выполняться на регулярной основе. Применение информационной модели здания позволяет скоординировать все виды работ профилактических работ и наглядно продемонстрировать неполадки в инженерных коммуникациях. Информационная модель позволит определить сроки эксплуатации, результаты предыдущих обследований и замены оборудования, составить анализ оборудования необходимых к проверке, а также узнать паспорта и сертификаты на используемое оборудование. В связи с этим создание методики автоматизированной проверки сводной информационной модели здания на выявление элементов инженерных коммуникаций с истекшим сроком эксплуатации является важной задачей, решение которой позволит существенно сократить финансовые затраты в случае аварийных ремонтов и своевременно выявить неполадки в инженерных коммуникациях, а также позволит обеспечить безопасное пребывание людей в здании.

Разработка стандартов и требований в области информационного моделирования значительно ускоряют процесс внедрения BIM-технологий в России. Однако вопрос проверки сводной информационной модели здания на выявление элементов инженерных коммуникаций с истекшим сроком эксплуатации по средствам BIM-технологий сегодня изучен не так хорошо.

Анализ работ и нормативных документов по теме обработка информации цифровой модели здания на выявление элементов инженерных коммуникаций с истекшим сроком эксплуатации использования мониторинга можно сделать вывод, что данные вопросы изучены недостаточно, поскольку единого метода использования мониторинга инженерных коммуникаций с использованием сводной информационной модели не удалось найти.

На сегодняшний день за мониторинг инженерных коммуникаций отвечает система мониторинга инженерных систем (СМИС). Система хранит данные и значения об элементах в виде отчёта, что не всегда удобно, так как достаточно тяжело передать полную

информацию об объекте. Однако данную систему можно усовершенствовать, воспользовавшись методикой учета сроков эксплуатации инженерных коммуникаций, имеющих начало и конец пригодности к эксплуатации элемента. Своевременные проверки, рассчитанные в предлагаемой методике, позволят предотвратить возможные аварии, а данные полученные с помощью СМИС позволят отобразить неполадки в самой сводной информационной модели, что позволит службам эксплуатации быстро найти и заменить устаревшие элементы.

В данной работе была решена задача разработки методики автоматизированной проверки сводной информационной модели здания на выявление элементов инженерных коммуникаций с истекшим сроком эксплуатации в программном обеспечении Revit (Dynamo).

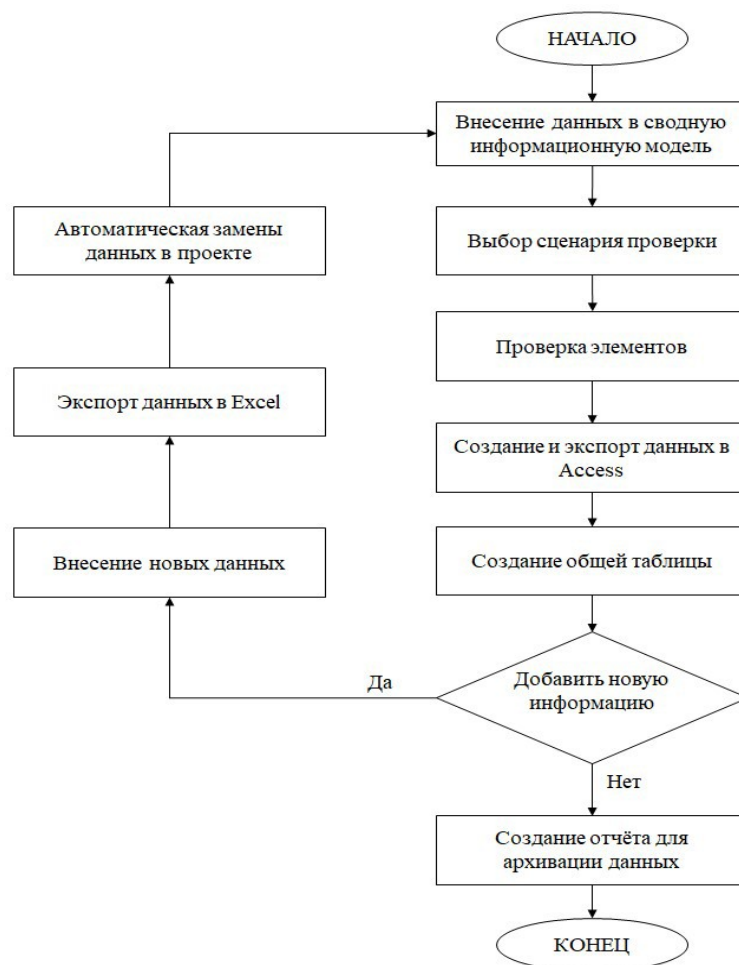


Рис. 1 – Блок-схема автоматизации процесса проверки сводной информационной модели на выявление инженерных коммуникаций с истекшим сроком эксплуатации

Обработка информации цифровой модели здания представлена в виде блок-схемы (Рис. 1).

Информационное обеспечение – важнейший элемент, предназначенный для отражения информации, характеризующей состояние управляемого объекта и являющейся основой для принятия управленческих решений. На основе представленной выше блок схемы, была запрограммирована база данных планирования работ по ремонту или замене инженерных сетей, ведение архива документов по всем элементам сетей и коммуникаций.

Необходимая информация заносится в электронную таблицу Excel, с возможностью последующей выгрузки сводных результатов. Используя возможность полной интеграции Microsoft Excel с системой управления базами данных Microsoft Access было реализовано межпрограммное взаимодействие. Система управления базами данных СУБД Microsoft Access является реляционной системой с встроенным языком программирования VBA реализующим расширенные возможности обработки информации.

Реализованная база данных содержит:

- полную информацию о элементах (наименование, категория, тип);
- информацию о замене оборудования, в случае если была замена;
- дату начала и окончания эксплуатации элементов;
- плановые ремонты;
- данные о местоположении элемента в информационной системе.

В состав данных входят: ID элемента и положение элемента по отношению уровня здания или сооружения.

Проверка разработанного решения по обработке информации цифровой модели здания на выявление элементов инженерных коммуникаций с истекшим сроком эксплуатации осуществлена на цифровой модели системы отопления существующей школы на 640 учебных мест.

В результате выполнения программного скрипта по поиску элементов инженерных систем с истекшим сроком эксплуатации подсвечиваются красным цветом, элементы, у которых срок эксплуатации подходит к завершению подсвечиваются жёлтым цветом и элементы, у которых срок эксплуатации находится в пределах допустимого предела времени, подсвечиваются зеленым цветом. Элементы, которые имеют пустые параметры, не окрашиваются. (Рис. 2):

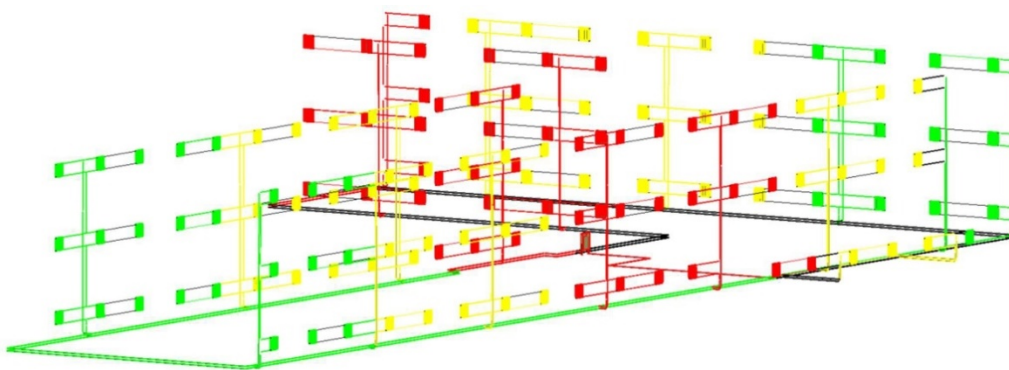


Рис. 2 – Результат работы скрипта

Далее скрипт создает отчёта в Excel (Рис.3).

Спецификация.xlsx - Excel (Сбой активации продукта)									
Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Что вы хотите сделать?									
Общий - % 000 Число									
Условное форматирование - как таблицу -									
Обычный Хороший Вред									
Стили									
1	Наименование	Код	Уровень элемента	Начало эксплуатации	Конец эксплуатации	Плановая проверка	Цвет	Примечание	
2	Оборудование	1	Уровень 1, Elevation	01.01.2019	01.01.2069	01.01.2044			Пуск
3	Оборудование	2	Уровень 1, Elevation	01.01.2019	01.01.2069	01.01.2044			Обнулить
4	Оборудование	3	Уровень 1, Elevation	01.01.2019	01.01.2069	01.01.2044			Очистить таблицу
5	Трубы	4	Уровень 1, Elevation	01.01.2019	01.01.2069	01.01.2044			Копирование информации
6	Соединительные детали трубопроводов	5	Уровень 1, Elevation	01.01.2019	01.01.2069	01.01.2044			
7	Трубы	6	Уровень 1, Elevation	01.01.2019	01.01.2069	01.01.2044			
8	Соединительные детали трубопроводов	7	Уровень 1, Elevation	01.01.2019	01.01.2069	01.01.2044			
9	Трубы	8	Уровень 1, Elevation	01.01.2019	01.01.2069	01.01.2044			
10	Соединительные детали трубопроводов	9	Уровень 1, Elevation	01.01.2019	01.01.2069	01.01.2044			
11	Оборудование	10	Уровень 1, Elevation	01.01.2020	01.01.2025	02.07.2022			
12	Трубы	11	Уровень 1, Elevation	01.01.2020	01.01.2025	02.07.2022			
13	Трубы	12	Уровень 1, Elevation	01.01.2019	01.01.2069	01.01.2044			
14	Соединительные детали трубопроводов	13	Уровень 1, Elevation	01.01.2020	01.01.2025	02.07.2022			
15	Трубы	14	Уровень 1, Elevation	01.01.2020	01.01.2025	02.07.2022			
16	Трубы	15	Уровень 1, Elevation	01.01.2019	01.01.2069	01.01.2044			
17	Трубы	16	Уровень 1, Elevation	01.01.2019	01.01.2069	01.01.2044			
18	Соединительные детали трубопроводов	17	Уровень 1, Elevation	01.01.2019	01.01.2069	01.01.2044			
19	Соединительные детали трубопроводов	18	Уровень 1, Elevation	01.01.2020	01.01.2025	02.07.2022			
20	Трубы	19	Уровень 1, Elevation	01.01.2020	01.01.2025	02.07.2022			
21	Соединительные детали трубопроводов	20	Уровень 1, Elevation	01.01.2020	01.01.2025	02.07.2022			
22	Соединительные детали трубопроводов	21	Уровень 1, Elevation	01.01.2020	01.01.2025	02.07.2022			
23	Соединительные детали трубопроводов	22	Уровень 1, Elevation	01.01.2020	01.01.2025	02.07.2022			
24	Трубы	23	Уровень 1, Elevation	01.01.2019	01.01.2069	01.01.2044			

Рис. 3 – Результат автоматического создания отчёта в Excel.

Таким образом, в результате проделанной работы была решена задача по автоматизации обработки информации цифровой модели здания на выявление элементов инженерных коммуникаций с истекшим сроком эксплуатации, позволяя собирать, упорядочивать и обеспечивать управляющую организацию информацией, которая дает возможность принимать решения по эффективному управлению зданием.

Список литературы

1. *Garyaev N., Garyaeva V.* Big data technology in construction E3S Web of Conferences (см. в книгах). 2019. С. 01032.
2. *Баранова О.М., Гаряев Н.А., Гаряева В.В.* Операционные системы Москва, 2009.
3. *Гаряев П.Н.* Моделирование энергопотребления городских территорий. Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 3. С. 11-13.
4. *Гаряева В.В.* Разработка методики создания имитационной модели обеспечения удаленных объектов материалами и конструкциями Научное обозрение. 2016. № 9. С. 239-251.
5. *Гаряева В.В.* Разработка методики создания имитационной модели обеспечения удаленных объектов материалами и конструкциями Научное обозрение. 2016. № 9. С. 239-251.
6. *Гранкин С.Л., Гаряев Н.А.* История и принципы технологии создания веб-приложений и веб-сервисов ASP.NET Научное обозрение. 2015. № 14. С. 241-244.

2.3.1. (05.13.01)

В.В. Гаряева канд. техн. наук, А.Н. Гаряев

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет",
кафедра Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве,
Москва, garyaevavv@mgsu.ru

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА

В работе представлены результаты анализа и практической реализации подходов к обработке информации при автоматизации строительного проектирования с использованием технологии генеративного дизайна.

Ключевые слова. Обработка информации, генеративный дизайн, информационное моделирование, автоматизация строительного проектирования, искусственный интеллект.

Введение

Генеративный дизайн и искусственный интеллект (ИИ) - две ключевые технологии, которые сегодня выводят системы автоматизации проектирования далеко за пределы возможностей своих предшественников 1980-х годов. Вместо того, чтобы использовать компьютер для документирования проектов, сам компьютер выполняет тяжелую работу, создавая сотни или тысячи вариантов дизайна, которые соответствуют заранее определенным целям [1]. Проектировщик выбирает те, которые лучше всего соответствуют целям проекта, затем уточняет их, чтобы создать наилучшие функциональные решения. Тогда как при традиционном процессе проектирования временные и финансовые ограничения часто приводят к осторожности и следованию тому, что было сделано ранее. Но это означает, что оптимальное решение может быть никогда не найдено.

Актуальность работы

Технологии генеративного дизайна дают преимущество для процессов проектирования благодаря получению множества решений одной задачи путем автоматизированного подбора всех вариантов результатов работы алгоритмов в заданных ограничениях. Это позволяет уменьшить время, затрачиваемое для создания вариантов «вручную», освобождая время для более творческих задач. Совокупность современных факторов, таких как сокращение сроков проектирования и возрастающих мощностей массовой вычислительной техники делает генеративный дизайн реальной и актуальной технологией для автоматизации строительного проектирования.

Перспективы генеративного дизайна

Методика вычислительного проектирования в архитектуре активно изучается многими знаменитыми учебными заведениями по всему миру. Над созданием проектов архитектурных форм, способных без текущего управления человеком реагировать на изменение фактора коррекции конструктивных и объемно-планировочных решений, работает исследовательский группа из Дельфтского технического учебного заведения. Использование в архитектуре и конструкциях принципов строения биологических структур является предметом исследований и проектирования творческих групп исследовательского центра в Лондоне. Лаборатория под руководством. С. Смита, работает над проблемой динамичных само-организующихся систем в архитектуре.

Средства реализации

Для решения задачи, поставленной в данной работе выбрана связка программных комплексов Revit версии 2021 и Dynamo. Revit – программный комплекс, реализующий BIM технологию проектирования объектов капитального строительства, захватывающий все основные разделы проекта. Приложение Dynamo — это программное обеспечение, которое

можно скачать и использовать в однопользовательском режиме, либо в качестве подключаемого модуля для других программ, таких как Revit или Maya. Это средство визуального программирования, доступное для специалистов, не связанных с программированием. С его помощью можно создавать сценарии для работы с геометрией и данными. Dynamo позволяет работать с внешними библиотеками или любой программой Autodesk с API, а также некоторыми сторонними приложениями. В Dynamo набор стандартного функционала не ограничен, так как исходных код является открытым, и пользователи имеют возможность расширять функционал, создавая и добавляя свои узлы.

В этой связке программ Dynamo будет использоваться для создания геометрии объекта и расчета параметров. Revit - для импорта границ проекта, создания вариантов решений задачи с использованием генетического алгоритма в модуле «генеративное проектирование», и импорта геометрии из Dynamo для дальнейшей работы над проектом. Прямая интеграция геометрии из Dynamo в Revit и создание редактируемых объектов в среде информационного моделирования, имеющих атрибутивные и метаданные позволяет исключить повторное создание объектов модели, повторяя контуры нередактируемой геометрии, импортируемой в Revit в расширениях, для которых возможен только визуальное отображение.

Информационное обеспечение процесса обработки информации строительного проектирования с использованием технологии генеративного дизайна

Для работы, описанной выше программы на начальном этапе формирования модели необходимы, данные о границе участка для проектирования. В проект Revit загрузка данных может несколько вариантов загрузки. Первый вариант предполагает загрузку подложек в машиночитаемых форматах: .dwg, .dxf, .fbx, .obj, ifc. Второй вариант - загрузка в проект данных карт в графическом формате, в этом случае возникает необходимость создавать линии границы участка средствами Revit по загруженной подложке (Рис.1).



Рис. 1 – Загруженный топографический план в среде Revit

Выбор решения планировки участка соответствии с оптимальными параметрами происходит в модуле «Генеративное проектирование» в Revit. Создание модели здания происходит в результате воспроизведения скрипта в Dynamo с передачей геометрии в Revit.

Далее, используя готовые скрипты Dynamo можно переходить к генерации вариантов решений, используя модуль «Генеративное проектирование» в Dynamo или в Revit (Рис. 2). Данные модули позволяют осуществлять многокритериальную оптимизацию. Экспортированный в модуль генеративного проектирования скрипт Dynamo назван «Городское планирование», он позволяет принимать значения изменяемых параметров, таких как площадь застройки, количество зданий, сохраняемая площадь озеленения, этажность зданий, общая площадь этажей, цена строительства, ежегодная окупаемость строительства и т.д, или сделать их переменными, оставив решение для алгоритма. Варианты

решений создаются или генерируются системой с использованием алгоритмов и параметров, указанных разработчиком. Созданные решения, измеряются или анализируются на предмет того, насколько хорошо они достигают целей, определенных разработчиком, также проверяются геометрические, так и численные выходные данные. По результатам анализа варианты решений упорядочиваются или ранжируются. После выбора самого приемлемого варианта решения разработчик использует или интегрирует это решение в более широкий проект или проектную работу.

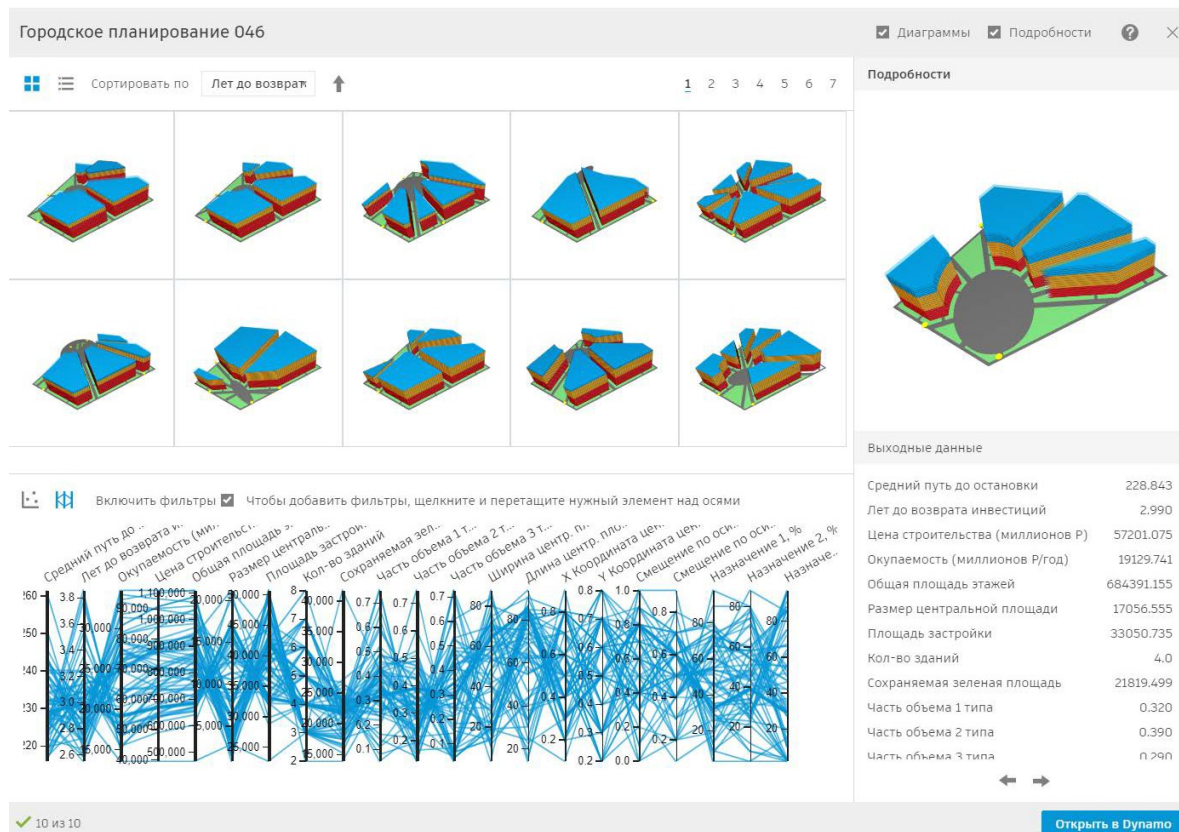


Рис. 2 – Результаты проектирования

Заключение

Результаты работы показывают возможности применения генеративного дизайна для решения задач строительного проектирования. Использование достаточной вычислительной мощности и корректно написанной программы позволяет создавать множество решений для задачи моделирования концептуальной застройки, освобождая проектировщика от рутинных операций создания решений «вручную», оставляя время для отбора наиболее подходящего варианта из множества автономно сгенерированных решений.

Список литературы

1. Горяева В.В., Горяев Н.А. Технологии виртуальной реальности в строительстве. В сборнике: Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы. Сборник материалов семинара, проводимого в рамках VI Международной научной конференции. 2018. С. 43-46.
2. Гранкин С.Л., Горяев Н.А. История и принципы технологии создания веб-приложений и веб-сервисов ASP.NET Научное обозрение. 2015. № 14. С. 241-244.
3. Гранкин С.Л., Горяев Н.А. Применение вычислительной сети физических объектов Научное обозрение. 2015. № 13. С. 159-162.
4. Garyaev N., Garyaeva V. Big data technology in construction E3S Web of Conferences (см. в книгах). 2019. С. 01032.
5. Garyaeva V. Application of BIM modeling for the organization of collective work on a construction project В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2018. С. 05025.

2.3.1. (05.13.01)

¹Г.А. Герасимова, ²К.И. Калашников¹Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,

Якутск, Gerasimova@gmail.com,

²Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,

Институт землеустройства, кадастров и мелиорации,

Улан-Удэ, e-mail: kalashnikovkir@mail.ru

СОЗДАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МИКРОКЛИМАТА В ТЕПЛИЦЕ

Крупное тепличное производство в настоящее время развивается по пути внедрения технологий интенсивного выращивания овощных культур и использования автоматизированных систем управления технологическими процессами на базе микро- и мини ЭВМ. Необходимость автоматизации этого процесса связана с трудоемкостью процесса приготовления растворов, точного поддержания в них заданной концентрации веществ, своевременной подачи, равномерного дозирования по всей площади теплицы при различных возмущениях внешней среды. Чтобы текущая температура воздуха не превышала допустимую агротехническими требованиями, зимние блочные теплицы оснащают роботизированными системами регулирования параметров микроклимата.

Ключевые слова: микроклимат, теплицы, автоматизация.

Современные технологии выращивания овощей и других сельскохозяйственных культур требуют постоянного поддержания определенных режимов микроклимата в теплицах. Создание благоприятной и контролируемой среды для растений в теплицах нового поколения обеспечивает высокое качество продукции и позволяет гарантированно получать высокие урожаи, а значит, достигать высокого уровня рентабельности. Автоматическое регулирование температуры почвы в парниках в отдельных случаях можно осуществить посредством терморегулятора, установленного в воздушном пространстве парника. Передвижные теплицы предназначены обеспечивать овощами население крупных динамических строек (железные дороги, газопроводы), геологические и арктические партии. Выращивание продуктов в закрытом грунте позволяет круглый год получать свежие фрукты и овощи. Теплица защищает их от внешних раздражителей: нестабильной температуры, ветра, осадков и т.д. Но, несмотря на это, возникает необходимость в обеспечении конструкции оборудованием для создания микроклимата. Оборудование подбирается в соответствии с требованиями технологии выращивания определенной культуры, климатических особенностей региона и особенностями конструкции. Но важно, чтобы температура в теплице не опускалась ниже 15° С.

Выращивание продуктов в закрытом грунте позволяет круглый год получать свежие фрукты и овощи. Теплица защищает их от внешних раздражителей: нестабильной температуры, ветра, осадков и т.д. Но, несмотря на это, возникает необходимость в обеспечении конструкции оборудованием для создания микроклимата. Оборудование подбирается в соответствии с требованиями технологии выращивания определенной культуры, климатических особенностей региона и особенностями конструкции. Системы полива необходимы не только для более эффективного развития продуктов, но и рационального использования водных ресурсов. Растения выращивают до стадии бутонизации и затем отправляют на станцию назначения. Там теплицу подключают к внешним инженерным коммуникациям. Для эффективной работы автоматизированной системы необходимо, чтобы относительная влажность воздуха в теплице была не выше 50...60%, то есть теплица должна иметь систему вентиляции, обеспечивающую достаточный

для этого воздухообмен [1-7]. Худшие условия для работы-солнечная погода в середине лета (прямое солнечное освещение максимальной интенсивности и продолжительности). Оптимальным при этом считается воздухообмен $8/\text{m}^3/\text{мин}$ на 1m^3 .

Три основные формы модели в пространстве состояний:

Непрерывная

$$X = AX + BU(t) + CF(t), \quad X(t_0) = X_0; \quad (1)$$

Дискретная

$$X[k+1] = \Phi X[k] + BU[k] + CF[k], \quad X[0] = X_0; \quad (2)$$

Операторная

$$X(p) = W_U(p)U(p) + W_F(p)F(p), \quad (3)$$

где $A = [n \times n]$ – мерная динамическая матрица; n – динамический порядок модели; $X = [n \times 1]$ – мерный вектор состояния; $B = [n \times m]$ – мерная матрица управлений; m – число независимых управлений; $U = [m \times 1]$ – вектор управления; t – время; $C = [n \times r]$ – мерная матрица возмущений; r – число независимых возмущений; $F = [r \times 1]$ – мерный вектор возмущений; k – номер шага; $\Phi = [n \times n]$ – мерная матрица перехода на один шаг; $W_U(p) = \Phi(p)B$, $W_F(p) = \Phi(p)C$ – передаточные матрицы по управлению и возмущению, определенные через операторное изображение матрицы перехода. На рис.1 изображена структурная схема управления комплексной системой регулирования микроклимата.



Ри.1 – Структурная схема управления комплексной системы регулирования микроклимата

При проектировании теплиц и оборудования для них следует учитывать, что потребность в воде и электроэнергии для удовлетворения нужд сельского хозяйства непрерывно растет, а сокращение запасов пресной воды влечет за собой необходимость ее экономии. В данном случае эта цель может быть достигнута снижением нагрева путем уменьшения количества солнечной радиации, поступающей в теплицу через прозрачные ограждения, или изменением режима ее поступления. Для этого служит светоотражающий экран шторного или жалюзийного типа с электроприводом, управляемым командами ЭВМ на основании сигналов от датчиков температуры и количества солнечной радиации.

Список литературы

1. *Кокиева Г.Е.* Покрытие потребности кормов для вскармливания сельскохозяйственным животным путем микробного синтеза/ Г.Е. Кокиева// *Инновационная деятельность в АПК: Состояние, проблемы, перспективы. сборник материалов научно-практической конференции "XIV Ларионовские чтения".* 2020. с. 161-169.
2. *Друзьянова В.П., Кокиева Г.Е.* Анаэробное сбраживание органических отходов сельскохозяйственного производства в сборнике: современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения. Сборник материалов научно-практической конференции «Ларионовские чтения». 2019. с. 109-112.
3. *Кокиева Г.Е., Войнаш С.А.* Развитие технологии внесения удобрений и структура парка машин тракторы и сельхозмашины. 2020. № 3. с. 81-88.
4. *Кокиева Г.Е., Друзьянова В.П.* Исследование автоматизированной системы управления микроклиматом парника. Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 1 (57). С. 70-78.
5. *Кокиева Г.Е., Федорова П.Н.* Оборудование для переработки навоза путём микробного синтеза / *Научно-технический вестник Поволжья.* 2018. № 10. с. 49-51.
6. *Кириллина М.Ф., Кокиева Г.Е.* Модернизация вентиляционной системы в животноводческой ферме с использованием рекуперации тепла, в сборнике: современные проблемы и достижения аграрной науки в Арктике. Сборник научных статей по материалам всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием в рамках «северного форума – 2020» (29–30 сентября 2020 г., Якутск) и международной научной онлайн летней школы – 2020 (6–20 июля 2020 г., Якутск). 2020. с. 18-26.
7. *Кокиева Г.Е., Герасимова Г.А., Гоголева И.В.* Производственные факторы интенсификации процесса микробного синтеза в автоматизированной ферментационной установке / *Научно-технический Вестник Поволжья.* 2018. № 9. с. 42-44.

2.3.1. (05.13.01)

А.А. Голубничий, А.Д. Яблонцева

Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова,
инженерно-технологический институт,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники
и автоматизированных систем,
Абакан, artem@golubnichij.ru

ФОРМИРОВАНИЕ «БЕЛЫХ СПИСКОВ» ДЛЯ СОЗДАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЮРКСКИХ ЯЗЫКОВ, ПОСТРОЕННЫХ НА РАСШИРЕННЫХ КИРИЛЛИЧЕСКИХ АЛФАВИТАХ

В статье рассматриваются особенности построения универсальной системы оптического распознавания символов для тюркских языков, письменность которых построена на основе расширенных кириллических алфавитов. Проводится обзорный анализ основы для построения «белых списков», как набора символов, возможных для построения текстов исходных письменностей. Описываются два алгоритма построения «белых списков» с использованием полного и сокращенного набора символов. Уточняется создание языковых подмоделей для более точного распознавания символов с использованием пяти групп.

Ключевые слова: тюркские языки, оптическое распознавание символов, Tesseract, мультязычные системы распознавания символов, кириллические алфавиты.

Введение

Официальным языком Российской Федерации является русский язык, при этом даже в преамбуле Конституции России утверждается важность многонационального народа России [1]. Одной из основ для сохранения культурного наследия этноса является язык и письменность, как инструмент ее сохранения. Все языки Российской Федерации относятся к 14 языковым семьям, некоторые семьи включают 2-3 языка, при этом тюркская языковая семья содержит 37 языков [2]. Сложность распознавания символов некоторых тюркских языков вызвана рядом факторов: наличие букв, имеющих схожие начертания, малое количество текстов для отдельных письменностей, плохое качество печати исходных текстов. При этом создание максимально точных систем оптического распознавания символов позволит в значительной степени ускорить и автоматизировать процесс оцифровки многих произведений и книг, играющих значительную роль в процессе сохранения культурного наследия и достояния народов России.

Структура тюркских языков и особенности тюркской письменности

Тюркская языковая семья содержит письменность, построенную на одном из четырех алфавитов с определенными расширениями. В настоящее время существует 23 письменности в качестве основы которых выступает кириллица: азербайджанская, алтайская, башкирская, гагаузская, казахская, караимская, каракалпакская, карачаево-балкарская, киргизская, крымскотатарская, кумыкская, ногайская, сойотская, татарская, тофаларская, тувинская, туркменская, узбекская, уйгурская, хакасская, чувашская, шорская, якутская (долганская). Помимо кириллицы письменность многих вышеобозначенных языков представлена на латинице (все кроме сойотской), арабице (14 языков) и иврите (караимская письменность).

Для построения универсальной системы распознавания символов особую роль играют исходные данные, так, например, при создании системы для распознавания двуязычных текстов особо важно включить необходимый дополнительный набор символов. В случае языков, построенных не на кириллице или латинице в чистом виде, важно включать символы, дополняющие исходные наборы. В качестве основного метода решения данной задачи выступают «белые списки», включающие всевозможные варианты для распознавания символов. Перед тем как формировать такие списки необходимо детально рассмотреть письменность всех ранее обозначенных языков (таблица 1).

Таблица 1 – Построение письменности отдельных языков с использованием кириллической базы

Письменность	Буквы добавлены / исключены	Письменность	Буквы добавлены / исключены
азербайджанская	Ғ Ә Ј К Ө У Ы Ч' / Ё Й Ц Щ Ъ Ь Э Ю Я	сойотская	Ғ І Қ Ъ Ң Ө У Ч Ө
алтайская	Ј Н Ӗ Ӧ	татарская	Ә Ж Ң Ө У Ы
башкирская	Ғ З К Ң Ө С Ъ Ө	тофаларская	Ғ І Җ Ъ Ң Ө Ч / Ц
гагаузская	Ӓ Ӗ Ӧ Ӱ	тувинская	Ң Ө У
казахская	Ә Ғ Қ Ң Ө У Ы І	туркменская	Ж Ң Ө У Ә
караимская	Ғъ Дж Къ Нъ Ӗ Ӱ Хъ / Ё	узбекская	Ӱ Қ Ғ Х' / Щ Ы
каракалпакская	Ө Ғ Қ Ң Ө Ӱ Х	уйгурская	Ғ Ъ Ж Қ Ң Ө У / Ё
карачаево-балкарская	Ғъ Дж Къ Нг	хакасская	Ғ І Ӧ Ӱ Ч
киргизская	Ң Ө У	чувашская	Ӓ Ӗ С Ӱ
крымско-татарская	Ғъ Къ Нъ Дж	шорская	Ғ Қ Ӧ Ӱ
кумыкская	Ғъ Ғъ Къ Нг Оь Уь	якутская	Һ Ң Ө У
ногайская	Аь Нь Оь Уь		

Формирование языковых моделей для распознавания символов

В целом, общая схема, используемая для дополнения стандартной кириллицы, при построении письменности тюркских языков представлена на рисунке 1.



Рис. 1 – Структура символов, используемых при построении письменности языка

За исключением азербайджанской, практически все системы письменности строятся на полном наборе кириллических символов с добавлением некоторых дополнительных букв. Таким образом при обучении языковой модели, посредством технологии Tesseract, нет необходимости исключать отсутствующие буквы, а стоит сконцентрировать внимание на расширении списков возможных символов через формирование так называемых «белых списков». Алгоритм составления «белых списков» может быть построен по одному из двух вариантов: создание общего для всех письменностей списка, содержащего все буквы, используемые в алфавите и, создание ряда списков, использующих наиболее идентичные алфавиты для разных письменностей. Так, например, киргизская и тувинская письменность содержит полностью однотипные алфавиты, поэтому работы, посвященные оптическому распознаванию символов с помощью технологии Tesseract для тувинского языка [3], легко можно дополнить исследованиями для киргизского.

Построение белых списков осуществляется с использованием «основы» и «расширения», при этом буквы, не имеющие собственных символов и использующие двухбуквенное обозначение можно исключить из построения модели, как отдельные элементы. Данный подход возможен, по причине того, что при распознавании символов нейронные сети типа LSTM, применяемые в технологии Tesseract 5 помимо распознавания символов используют и контекст. Таким образом, непривычные сочетания для букв русской письменности, такие как *аь*, *оь* и др. в некоторой степени изменяют общий контекст, но не будут требовать использование дополнительных символов при формировании «белых списков».

Второй подход для построения универсальных систем распознавания символов предполагает включение лишь некоторых символов для построения системы и использование более чем одного файла языковых моделей. Логичным в проведении анализа точности построения языковых моделей является разделение письменностей на следующие группы, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Выделение групп для построения языковых моделей тюркских языков

Группа - Принцип формирования	Письменности
I. Без дополнительных букв. Письменности, в которых отсутствуют дополнительные буквы.	крымскотатарская, кумыкская, ногайская, карачаево-балкарская
II. Буквы с умлаутом, краткой и двойным акутом. Письменности в обозначении букв которых используются дополнительные элементы сверху (умлаут, кратка и др.).	алтайская, гагаузская, караимская, каракалпакская, хакасская, шорская, чувашская, узбекская
III. Буквы с нижними выносными элементами. Письменности в обозначении букв которых используются дополнительные элементы снизу (выносные элементы и крюк).	башкирская, каракалпакская, киргизская, сойотская, татарская, тофаларская, тувинская, туркменская, узбекская, уйгурская, чувашская, шорская, якутская
IV. Буквы с лигатурами. Письменности в обозначении букв которых используются лигатуры.	алтайская, башкирская
V. Перечеркнутые буквы и буквы со штрихом. Письменности в обозначении букв которых используются перечеркнутые буквы и буквы со штрихом.	азербайджанская, башкирская, казахская, каракалпакская, киргизская, сойотская, татарская, тофаларская, тувинская, туркменская, узбекская, уйгурская, шорская, якутская

Принцип разделения, как видно из таблицы, ориентируется на схожести новых добавляемых букв. Таким образом, обучаемая языковая модель будет построена на схожести элементов, что позволит сформировать более точные системы распознавания символов, за счет увеличения потенциального количества наборов для обучения.

Заключение

Предлагаемый принцип построения «белых списков» для создания систем распознавания символов позволит создать расширенную языковую модель для тюркских языков, построенных на основе расширенной кириллицы. Два предложенных метода для построения «белых списков» с полным перебором символов и с 5 малыми языковыми моделями, построенными на основе нескольких письменностей, потенциально могут достичь более точных результатов для построения систем типа OCR.

Список литературы

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020) // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://www.pravo.gov.ru>, 04.04.2022.
2. Дыбо А.В. Хронология тюркских языков и лингвистические контакты ранних тюрков. — М.: Академия, 2004. — С. 766
3. Голубничий А.А. Разработка системы оптического распознавания символов тувинского алфавита / А. А. Голубничий, А. Д. Яблонцева, В. А. Мясоедова // Научно-технический вестник Поволжья. — 2021. — № 12. — С. 156-158.

2.3.1. (05.13.01)

¹Т.Г. Дмитриева, ²Г.Г. Хамнаева¹Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, DmitrievaTG@mail.ru,²Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,
Институт землеустройства, кадастров и мелиорации,
Улан-Удэ, hamnaeva@mail.ru**ИНТЕНСИВНОЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Земельный фонд находится в постоянном движении. Земли переводятся из одних категорий и угодий в другие. Особую тревогу вызывает ухудшение экологического состояния земель, развитие эрозионных процессов, опустынивание, засоление, загрязнение химическими и радиоактивными веществами, зарастание лесом и кустарником земель ежегодно исключают из сельскохозяйственного использования значительные площади. В статье предложена классификация земель по степени их пригодности для сельскохозяйственного использования.

Ключевые слова: *гис-технологии, мониторинг земель, земельные угодья, плодородие почв.*

Информатизация и развитие компьютерных технологий охватили все сферы жизни современного человека. В области современных технологий ведущую роль играют технологии, основанные на достижениях информатики, как комплекса наук и методов обработки, хранения, передачи информации. Не исключением является область обработки географической информации. Современная география и наука о Земле в основном полагаются на цифровые пространственные данные, полученные с помощью технологий дистанционного зондирования, обработанные и визуализированные с помощью специальных географических информационных систем (ГИС). В этой связи в информатике выделилось самостоятельное крупное направление – геоинформатика. Геоинформатика как наука находится на слиянии двух быстро развивающихся областей: информатики и науки о Земле. Сегодня исследования в этой области используют все новейшие методы вычислительной математики и компьютерной обработки больших объемов данных наблюдения Земли, реализуемые через географические информационные системы (ГИС), которые привлекают все большее внимание государства, промышленности и научно-исследовательских организаций. В настоящей работе авторы, не претендуя на полноту в этой стремительно развивающейся области знаний, делают попытку анализа состояния геоинформационных систем, рассматривают перспективные направления их развития исходя из результатов собственных исследований и многолетнего опыта их применения для решения конкретных задач. Ухудшается состояние земель сельскохозяйственного назначения, всё большее количество земель выводится из сельскохозяйственного оборота. Несмотря на то, что обязательство проведения мониторинга земель сельскохозяйственного назначения законодательно регулируется Федеральным законом «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения», сам процесс происходит больше формально, чем с практической пользой. В ходе его реализации на практике невозможно учесть современные изменения почвенного покрова или определить критический уровень показателей, которые можно принять за контрольные. Причиной такого положения можно считать отсутствие эффективной системы мониторинга почв земель сельскохозяйственного назначения на основе применения ГИС-технологий. ГИС-технологии это целая индустрия, которая влияет на практически все аспекты человеческой жизни. Классификация земель, обобщенная в виде классов пригодности, является необходимым условием использования материалов мониторинга для определенных управленческих решений (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация земель, обобщенная в виде классов пригодности

№п/п	Классификация
1	повышение эффективности и устойчивости финансового положения коммерческой сельскохозяйственной организации
2	определение перспектив развития сельскохозяйственного производства — бизнес-план
3	ипотечное кредитование — обеспечение контроля за состоянием залога — земельного участка, предназначенного в обеспечение кредитного договора
4	конкурсное управление сельскохозяйственной организацией — принятие решения о судьбе земельного участка
5	продажа или сдача в аренду — определение ценности и цены

В таблице 2 приведен мониторинг земель

Таблица 2 – Мониторинг земель

№п/п	Мониторинг		
1	В зависимости от территориального охвата	Глобальный	проводят в соответствии с Международной геосферно-биосферной программой «Глобальные изменения». Он позволяет оценить современное состояние всей природной системы Земли с целью предупреждения о возникающих экстремальных ситуациях. Наблюдения ведут базовые станции в различных регионах планеты, которые нередко располагаются в биосферных заповедниках
		Национальный	осуществляется в пределах государства специально созданными органами
		Региональный	слежение за процессами и явлениями в пределах какого-то крупного региона, где эти процессы и явления могут отличаться и по природному характеру, и по антропогенным воздействиям от базового фона, характерного для всей биосферы
		Локальный	ведется на территориальном уровне, ниже регионального, вплоть до территорий отдельных землепользований и элементарных структур ландшафтно-экологических комплексов. На основе характера изменения состояния земель различают также фоновый и импактный мониторинги
2	По характеру изменения состояния земель	Фоновый	это наблюдения за состоянием земель, не подвергающихся воздействию человека, его проводят в биосферных заповедниках
		Импактный	это наблюдения за состоянием земель в местах непосредственного воздействия антропогенных факторов
3	В зависимости от наблюдаемых процессов	эволюционный	
		циклический	
		антропогенный	
		чрезвычайный	
4	В зависимости от сроков и периодичности проведения	базовый	
		периодический	
		оперативный	
		ретроспективный	

Геоинформатика сочетает в себе ГИС для анализа и моделирования, разработки геопространственных баз данных, проектирование информационных систем, взаимодействие человека с компьютером и проводных и беспроводных сетевых технологий [1-5]. Геоинформатика использует для анализа геоинформации вычисление и визуализацию географических данных. Важность пространственного анализа в оценке, мониторинге и моделировании различных вопросов и проблем, связанных с рациональным использованием природных ресурсов, признается во всем мире.

На рис.1 показана информационная модель ГИС



Рис. 1 – Информационная модель ГИС

Использование ГИС-технологий при мониторинге земель позволяет создавать карты непосредственно в цифровом виде по координатам, которые были получены в результате измерений на местности или при обработке материалов дистанционного зондирования, а с цифровых карт при помощи ГИС можно создать структуру пространственных отношений между объектами.

Список литературы

1. Кутляров А.Н., Кутляров Д.Н., Роль ГИС-технологий в прогнозировании и планировании использования земель: сб. науч. тр. Международной научно-практической конференции в рамках XXII Международной специализированной выставки «АгроКомплекс-2012». – Министерство сельского хозяйства РФ, БГАУ, 2012г. – 257 с.
2. Кокиева Г.Е., Соколов Д.А. Расчёт экономического обоснования выбора технологического оборудования, в сборнике: современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения. Сборник материалов научно-практической конференции «Ларионовские чтения». 2019. с. 178-188.
3. Кокиева Г.Е. Инновационные пути управления отраслями жизнеобеспечения в Арктике / Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 3. с. 63-65.
4. Корякин А.К., Кокиева Г.Е., Ноев Д.М. Реализация метода технико-экономического сравнения вариантов энергосберегающих технологий/Агроэкоинфо. 2019. № 2 (36). с. 37
5. Кокиева Г.Е., Федоров С.С. Трансформация организационно-экономических форм и структур основных хозяйственных звеньев в сборнике: инновационная деятельность в АПК: Состояние, проблемы, перспективы. сборник материалов научно-практической конференции "XIV Ларионовские чтения". 2020. с. 175-180.

2.3.1. (05.13.01)

¹Ю.Ж. Дондоков, ²А.В. Базан, ³В.А. Балданова

¹Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, ShUsupov@gmail.com,

²Восточно-сибирский институт министерства внутренних дел Российской Федерации,
кафедра огневой подготовки,
Иркутск, mr.bazan.alex38@mail.ru,

³Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,
Институт землеустройства, кадастров и мелиорации,
Улан-Удэ, Vika-2391@yandex.ru

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Под влиянием зимних условий существенно изменяется температурный режим двигателей автомобилей, что объясняется повышением теплоотдачи с поверхности агрегата в окружающую среду. В связи с этим резко возрастает время прогрева двигателей после пуска, и уменьшается период их охлаждения после остановки. Зимние условия характеризуются, прежде всего, низкими температурами окружающего воздуха, влияние которых усугубляется одновременным воздействием ветра. В статье описывается анализ исследования эффективности работы автомобильного транспорта.

Ключевые слова: *автомобильный транспорт, эффективность работы, двигатель.*

В ряде работ установлено, что двигатели автомобилей различных марок и моделей в одинаково суровых условиях эксплуатации имеют различную интенсивность теплоотдачи, то есть характеризуются разными значениями темпов прогрева и охлаждения. Снижение эффективности работы двигателя в зимних условиях сказывается, прежде всего, на легкости запуска непрогретого агрегата, на интенсивности износа его деталей, на расходе топлива. Под надежным пуском двигателя подразумевается пуск двигателя на основном топливе при использовании штатных аккумуляторных батарей, заряженных на 75%, не более чем за три попытки. Продолжительность каждой попытки не должна превышать 10 сек. для карбюраторного двигателя и 15-20 сек. для дизельного. Интервалы между попытками должны составлять 60-90 сек. Затруднение пуска двигателя при эксплуатации автомобиля зимой возникает из-за низкой температуры силового агрегата, что обуславливает ухудшение условий воспламенения рабочей смеси и повышенную вязкость моторного масла, вследствие чего возникают сложности достижения коленчатым валом пусковых оборотов. Величина минимально необходимой для пуска частоты вращения коленчатого вала существенно зависит от изменений в распределении положительных и отрицательных потоков энергии при пуске (рис. 1.1). Указанные изменения обуславливаются снижением температуры окружающего воздуха (ОВ).

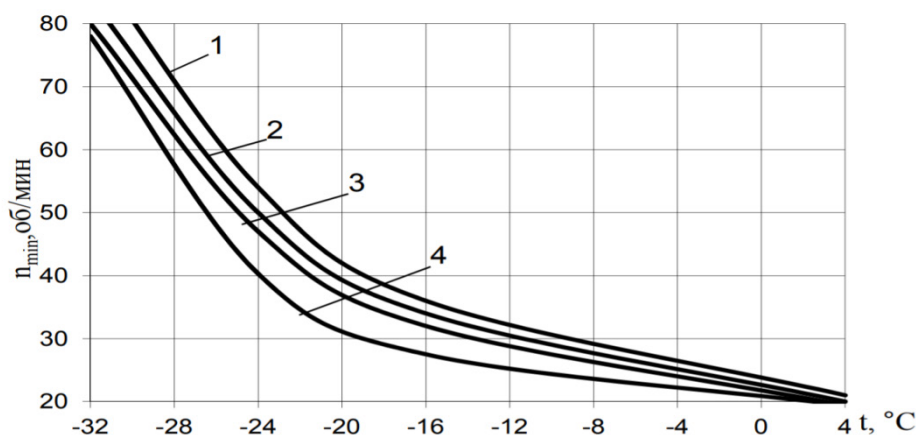


Рис. 1 – Зависимость минимальной пусковой частоты вращения карбюраторных двигателей от температуры воздуха: 1 ЗИЛ - 130; 2 - УАЗ - 452; 3 - ЗМЗ - 53; 4 - Урал – 376

Энергия аккумуляторной батареи в момент пуска двигателя расходуется на привод стартера. В свою очередь, энергетические возможности стартера реализуются в двигателе по трем главным направлениям: на сжатие воздуха; на преодоление сил трения; на преодоление сил инерции. Отрицательную часть потока энергии аккумуляторной батареи и стартера составляет тепло, которое уходит безвозвратно в ОВ. Эти потери тем больше, чем больше перепад температур между аккумулятором и окружающей средой. Схема распределения потоков энергии при пуске двигателя представлена на рис. 2. Основной составляющей момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала двигателя при пуске в условиях низких температур холодного двигателя является момент на преодоление сил трения и сопротивления прокручиванию (до 92%). При этом необходимо отметить, что моменты на преодоление сил инерции и компрессии практически не изменяются при изменении температуры.

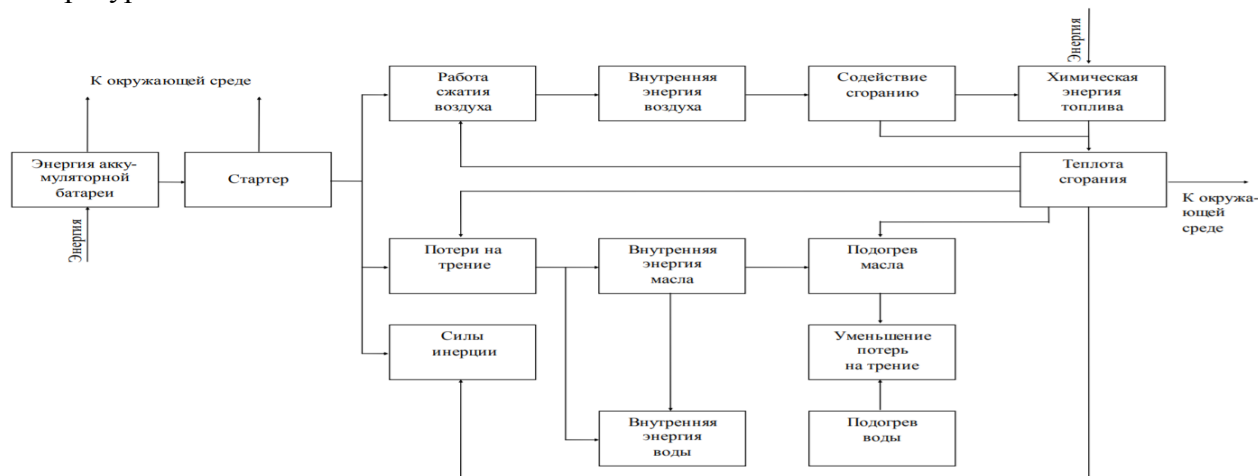


Рис.2 – Распределение потоков энергии при пуске двигателя

Вместе с увеличением момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала двигателя при низких температурах резко снижаются возможности пускового устройства (стартера). Это, прежде всего, объясняется снижением работоспособности аккумуляторных батарей при снижении их температуры. Зависимость напряжения на зажимах полностью заряженной аккумуляторной батареи от температуры t при стартерном режиме показана на рис. 3. Снижение возможностей пускового устройства при низких температурах еще более затрудняет достижение пусковых оборотов двигателя. В то же время зимой значительно ухудшаются условия воспламенения рабочей смеси. Причиной ухудшения условий воспламенения рабочей смеси для карбюраторных двигателей является обеднение смеси и снижение энергии искры.

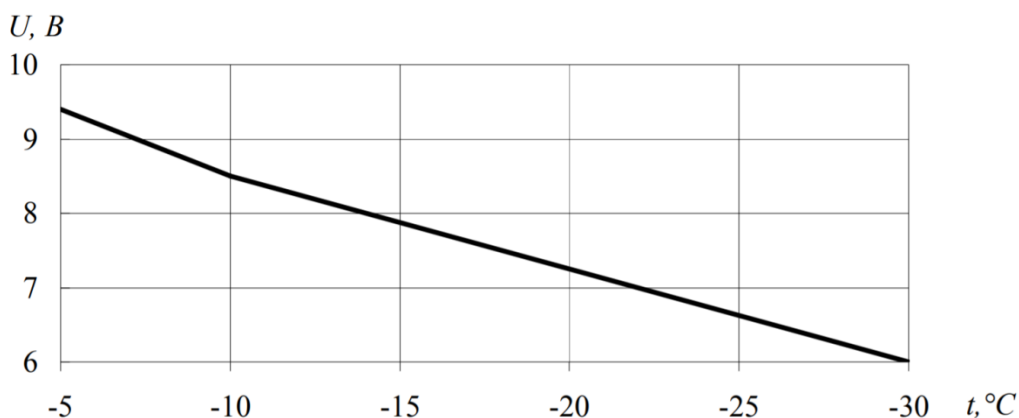


Рис. 3 – Зависимость напряжения на зажимах полностью заряженной аккумуляторной батареи от температуры при стартерном режиме.

Для дизельных двигателей причинами ухудшения условий воспламенения рабочей смеси является ухудшение распыления топлива и снижение температуры конца сжатия [1-6].

Пусковые качества двигателя зависят также от степени его износа. Продолжительность пуска изношенных двигателей в 7 – 15 раз больше малоизношенных. Специфика Крайнего Севера требует выполнения ряда мероприятий по более основательной подготовке как подвижного состава, так и производственных участков автотранспортных предприятий к зиме. К ним относятся: глубокая проверка технического состояния автомобилей методом объективной диагностики и устранение всех обнаруженных неисправностей, установка дополнительных средств обогрева и утепления механизмов автомобилей, заправка всех механизмов зимними сортами смазки, специальными жидкостями и др.

Список литературы

1. Луканин В.Н. Двигатели внутреннего сгорания [Текст]: учебник. в 3 т. Т.1. Теория рабочих процессов / В.Н. Луканин, К.А. Мо-розов, А.С. Хачиян [и др.]; под ред.В.Н. Луканина. - М.: Высшая школа, 2009. - 368 с.: ил.
2. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст] / А.И. Колчин, В.П. Демидов. - М.: Высшая школа, 2003.
3. Кокиева Г.Е. Эффективность работы смесительных аппаратов для приготовления кормовых добавок животным. Сб: Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения. сборник материалов научно-практической конференции «Ларионовские чтения». 2019. с. 165-171.
4. Кокиева Г.Е., Дондоков Ю.Ж., Неустроева А.И. Современные кормоцехи животноводческих ферм Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 10. с. 114-116.
5. Кокиева Г.Е., Соколов Д.А. Расчёт экономического обоснования выбора технологического оборудования, в сборнике: современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения. Сборник материалов научно-практической конференции «Ларионовские чтения». 2019. с. 178-188.
6. Кокиева Г.Е., Федоров С.С. Трансформация организационно-экономических форм и структур основных хозяйственных звеньев в сборнике: инновационная деятельность в АПК: Состояние, проблемы, перспективы. сборник материалов научно-практической конференции "XIV Ларионовские чтения". 2020. с. 175-180.

2.3.1. (05.13.01)

Н.И. Зонов канд. техн. наук, Д.В. Моисеев канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра 604 «Системный анализ и управление»,
navicontr@mail.ru, moiseev801@mail.ru

**АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА.
ЧАСТЬ III. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ НАВИГАЦИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСТРОИЗМЕРЕНИЙ**

Предложены математические модели эволюции состояния оцениваемой системы и наблюдений для построения систем автономной навигации геостационарных КА (ГКА) с использованием астроизмерений. В качестве астроизмерений рассматриваются углы «Звезда-ГКА-Земля», «Солнце-ГКА-Земля».

Особенность предлагаемых моделей состоит в разделении смешанных возмущений, сопровождающих процессы эволюции и наблюдений, имеющих различную природу неопределённости, на случайные и неопределённые в статистическом (вероятностном) смысле неконтролируемые факторы (НФ).

Ключевые слова: геостационарный космический аппарат, угол «Солнце – ГКА – Земля», угол «Звезда – ГКА – Земля», математическая модель эволюции состояния оцениваемой системы, математическая модель наблюдений, ошибки линеаризации, случайные неконтролируемые факторы, неопределённые неконтролируемые факторы, рекуррентный алгоритм оценивания.

Введение

В работе изложены математические модели процессов автономной навигации с использованием астроизмерений, в качестве которых рассматриваются углы «Звезда – ГКА – Земля», «Солнце – ГКА – Земля». В литературе эти углы часто обобщенно именуются углами ЗОЗ («Звезда – Объект – Земля») и СОЗ («Солнце – Объект – Земля») [1, 2].

Использование астроизмерений для построения спутниковой автономной навигации (САН) ГКА следует считать альтернативой спутниковой навигации или дополнением к ней. Известно [3], что автономная навигация ГКА, построенная на базе спутниковых навигационных систем (СНС), не обеспечивает непрерывное радионавигационное поле. Измерения при этом проводятся нерегулярно со значительными перерывами. Приемлемые для проведения коррекций орбиты ГКА точности определения местоположения и скорости удаётся получить только на достаточно больших, не менее суток, интервалах времени [4]. В противоположность этому астроизмерения доступны в любой момент времени и при выполнении определённых требований к точности измерений система автономной навигации, основанная на астроизмерениях, может оказаться более приемлемой. И, если точности навигации в конце суточного интервала для обоих типов САН сопоставимы, то в плане экономической эффективности САН с использованием астроизмерений, безусловно предпочтительней [5].

Для разработки ПМО системы автономной навигации ГКА первый шаг в данной работе предлагается сделать в направлении построения математических моделей процессов автономной навигации в соответствии с постановкой задачи оценивания, по аналогии с работой [4].

1. Постановка задачи оценивания

В соответствии с постановкой задачи, принятой в работе, требуется:

1. Разработать и программно реализовать математические модели возмущенного и номинального движения ГКА.
2. Разработать и программно реализовать математические модели, позволяющие имитировать реальные, т.е. учитывающие погрешности, и номинальные астроизмерения, в качестве которых выступают углы СОЗ и ЗОЗ.

2. Математическая модель движения центра масс КА

Математическая модель движения центра масс ГКА служит основой для построения математической модели эволюции состояния оцениваемой системы (фазового вектора ГКА). Модель движения представлена системой обыкновенных дифференциальных уравнений учитывающих:

- влияние гравитационного поля Земли с учетом его аномалий, основанном на разложении геопотенциала Земли в ряд по сферическим функциям со всеми гармониками до заданного порядка;
- гравитационное притяжение Луны и Солнца;
- влияние светового давления.

В качестве базовой системы координат принята абсолютная экваториальная система координат фундаментальной эпохи J2000 (Далее СК J2000).

Уравнения движения КА в проекциях на оси СК J2000 имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}\dot{x}^{[1:3]} &= x^{[4:6]}, \\ \dot{x}^{[4:6]} &= -\mu \frac{x^{[1:3]}}{r^3} + \Delta W_g + \Delta W_M + \Delta W_S + \Delta W_L,\end{aligned}$$

где $x \in \mathbb{R}^6$ – фазовый вектор (ФВ) КА в СК J2000 (координаты и проекции скорости КА). Запись $x^{[1:3]}$ означает, что взяты с 1 по 3 компоненты вектора x ;

r – модуль вектора $x^{[1:3]}$;

$$r = |x^{[1:3]}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2};$$

μ – гравитационный параметр Земли;

ΔW_g – вектор ускорения, обусловленный аномалиями гравитационного поля Земли в СК J2000;

ΔW_M – вектор гравитационных ускорений, вызванных притяжением Луны в СК J2000;

ΔW_S – вектор гравитационных ускорений, вызванных притяжением Солнца в СК J2000;

ΔW_L – вектор ускорения от сил светового давления в СК J2000.

2.1. Учет влияния гравитационного поля Земли

Основным фактором, определяющим движение КА, является гравитационное поле Земли.

Вектор аномалий (отклонений от центрального поля) гравитационного поля Земли ΔW_g в СК J2000 представлен соотношением:

$$\Delta W_g = A_{Gr}^{J2000} A_{Spher}^{Gr} \begin{bmatrix} \Delta g_r \\ \Delta g_\varphi \\ \Delta g_\lambda \end{bmatrix},$$

где $\Delta g_r, \Delta g_\varphi, \Delta g_\lambda$ – проекции ускорений на оси сферической СК, вызванные аномалиями ГП Земли.

$A_{Gr}^{J2000}, A_{Spher}^{Gr}$ – матрицы перехода из гринвичской СК в СК J2000 и из сферической СК в гринвичскую СК.

В соответствии с приведённым соотношением следует определить возмущающие ускорения в проекциях на оси сферической СК, затем с помощью матрицы перехода A_{Spher}^{Gr} перевести полученные значения в гринвичскую СК, после чего с помощью матрицы перехода A_{Gr}^{J2000} окончательно получить проекции возмущающих ускорений в СК J2000.

Проекции ускорений на оси сферической СК, вызванные аномалиями гравитационного поля Земли, соответствуют соотношениям:

$$\begin{cases} \Delta g_r = -\frac{\mu}{r^2} \sum_{i=2}^n (i+1) \left(\frac{R_e}{r}\right)^i \sum_{j=0}^i (c_{ij} \cos(j\lambda) + d_{ij} \sin(j\lambda)) P_{ij}(\sin \varphi); \\ \Delta g_\varphi = \frac{\mu}{r^2} \cos \varphi \sum_{i=2}^n \left(\frac{R_e}{r}\right)^i \sum_{j=0}^i \frac{dP_{ij}(\sin \varphi)}{d \sin \varphi} (c_{ij} \cos(j\lambda) + d_{ij} \sin(j\lambda)); \\ \Delta g_\lambda = \frac{\mu}{r^2} \cos^{-1} \varphi \sum_{i=2}^n \left(\frac{R_e}{r}\right)^i \sum_{j=0}^i j P_{ij}(\sin \varphi) (-c_{ij} \sin(j\lambda) + d_{ij} \cos(j\lambda)); \end{cases}$$

где r, φ, λ – сферические координаты КА (радиус, географическая широта и долгота);

μ – гравитационный параметр Земли;

$r = |x^{[1:3]}|$ – модуль радиуса-вектора ГКА;

n – порядок разложения геопотенциала Земли в ряд по сферическим функциям;

R_e – экваториальный радиус Земли;

c_{ij}, d_{ij} – коэффициенты разложения геопотенциала в ряд по сферическим функциям, взятые из ПЗ-90;

P_{ij} – присоединенные функции Лежандра порядка i, j ;

$$\frac{dP_{ij}(\sin \varphi)}{d \sin \varphi} = -j \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot P_{ij}(\sin \varphi) + P_{i(j+1)}(\sin \varphi)$$

Матрица перехода из сферической системы координат в гринвичскую:

$$A_{Spher}^{Gr} = \begin{vmatrix} \cos \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \lambda \\ \cos \varphi \sin \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \lambda \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \end{vmatrix}$$

Матрица перехода A_{Gr}^{J2000} вычисляется на основе соотношений, приведённых в ПЗ–90 с учётом прецессии и нутации оси вращения Земли, а также истинного звёздного времени, взятых на текущую эпоху.

2.2. Учет влияния гравитационных полей Луны и Солнца

При описании гравитационных воздействий Луны и Солнца на движение КА рассматриваются отдельно системы Солнце–КА–Земля и Луна–КА–Земля.

Вектор гравитационных ускорений, вызванных притяжением Луны, записывается в виде:

$$\Delta W_M = \mu_M \left(\frac{(q - x^{[1:3]})}{|q - x^{[1:3]}|^3} - \frac{q}{|q|^3} \right),$$

где μ_M – гравитационный параметр Луны;

q – координаты Луны в СК J2000, $q \in \mathbb{R}^3$;

Координаты Луны в СК J2000 определяются на основе данных Астрономического ежегодника.

Аналогично вычисляется вектор гравитационных ускорений, вызванных притяжением Солнца:

$$\Delta W_S = \mu_S \left(\frac{(q - x^{[1:3]})}{|q - x^{[1:3]}|^3} - \frac{q}{|q|^3} \right),$$

где μ_S – гравитационный параметр Солнца;

q – координаты Солнца в СК J2000, $q \in \mathbb{R}^3$.

Координаты Солнца в СК J2000 также определяются на основе данных Астрономического ежегодника.

2.3. Учет сил светового давления

При моделировании влияния светового давления на движение КА принимается, что коэффициент отражения поверхности и площадь поперечного сечения КА, нормального к световому потоку, являются известными постоянными величинами.

Вектор проекций возмущающего ускорения на оси СК J2000, обусловленного световым давлением, равен

$$\Delta W_L = \frac{\gamma \cdot p \cdot S_M \cdot (x^{[1:3]} - q)}{m_{КА} \cdot |x^{[1:3]} - q|},$$

где γ — коэффициент отражения поверхности спутника (коэффициент светового давления);

S_M — площадь поперечного сечения КА;

p — световое давление Солнца вблизи Земли;

$m_{КА}$ — масса КА;

q — координаты Солнца в СК J2000, $q \in \mathbb{R}^3$.

Если КА находится в тени:

$$\Delta W_L = 0$$

Светотеневая обстановка определяется в предположении, что Солнце — точечный источник света.

3. Математические модели эволюции и наблюдений оцениваемой системы

Приведём общий вид математической модели эволюции состояния

оцениваемой системы, модели наблюдений (астроизмерений), которые закладываются в «память» рекуррентного алгоритма оценивания и математические модели неконтролируемых возмущений, сопровождающих процессы навигации [4].

Рекуррентный алгоритм обработки измерительной информации обрабатывает измерительную информацию по мере ее поступления в отличие от алгоритмов совместной обработки, таких как метод наименьших квадратов или метод максимального правдоподобия.

При этом для обработки измерений, в результате которых определяются апостериорные оценки параметров движения, требуется построить модель наблюдений, а для получения априорных оценок, т.е. оценок, прогнозируемых на следующий шаг оценивания, до получения следующих измерений, требуется построить модель эволюции оцениваемой системы.

3.1. Модель эволюции состояния оцениваемой системы

Математическая модель эволюции состояния оцениваемой системы в общем виде представляется рекурсивным соотношением

$$x_i = f_i(x_{i-1}) + \delta f_i + \xi_i; \quad i = 1, 2, \dots,$$

где $x_i \in \mathbb{R}^n$ — вектор состояния оцениваемой системы в момент времени t_i , совпадающий в рамках рассматриваемой задачи с фазовым вектором ГКА в СК J2000;

$f_i(x_{i-1})$ — принятая (закладываемая в «память» алгоритма оценивания) функция эволюции. Представляет собой интеграл уравнений движения центра масс ГКА в СК J2000 (раздел 2), определённый на отрезке $[t_{i-1}; t_i]$.

Состояние $x_0 \in \mathbb{R}^n$, из которого стартует случайный процесс $x_i, i = 1, 2, \dots$, есть случайный, нормально распределенный вектор, с заданными статистическими характеристиками $\hat{x}_0 \in \mathbb{R}^n, P_0 \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ($x_0 \in N(\hat{x}_0, P_0)$).

$\delta f_i \in \mathbb{R}^n$ — ошибка принятой модели эволюции с неизвестной корреляцией во времени, обусловленная неточностью уравнений движения, ошибками интегрирования уравнений, уходами бортовой шкалы времени, ошибками реализации управляющих воздействий и др.; $\xi_i \in \mathbb{R}^n$ — случайные, некоррелированные во времени, нормально распределенные, ошибки модели эволюции с известными статистиками.

3.2. Модель наблюдений оцениваемой системы

Модель наблюдений оцениваемой системы в общем виде представляется соотношением:

$$y_i = g_i(x_i) + \delta g_i + \eta_i; \quad i = 1, 2, \dots$$

Здесь в момент времени t_i

$x_i \in \mathbb{R}^n$ — вектор состояния оцениваемой системы;

$y_i \in \mathbb{R}^m$ — реальный вектор наблюдений (измерений), поступающий с выхода измерительных устройств

$$y_i^T = \|\alpha_{303i}^T, \alpha_{\text{CO3}i}\|,$$

где α_{303i}^T – вектор, компоненты которого составляют углы между направлениями на выбранные для навигации звёздами и направлением на центр Земли из оптического центра звёздного датчика ГКА. Таким образом, размерность вектора наблюдений

$$m = m_{303} + 1,$$

где m_{303} – количество выбранных для навигации звёзд.

Угол СОЗ $\alpha_{\text{СОЗ}_i}$ есть угол между направлениями на Солнце и Землю из оптического центра солнечного датчика ГКА.

Первые m_{303} компонент вектор-функции $g_i(x_i)$ равны углам СОЗ

$$(g_i(x_i))_j = \beta(x_i^{[1:3]}, \delta_j, \alpha_j); \quad j = 1, 2, \dots, m_{303},$$

где δ_j, α_j – склонение и прямое восхождение j –й звезды в i –й момент

$$\beta(x_i^{[1:3]}, \delta_j, \alpha_j) = \arccos\left(\frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{1 - \cos\delta \cos\delta_j \cos(\alpha - \alpha_j) - \sin\delta \sin\delta_j}\right),$$

где

$$\delta = \arcsin\left(\frac{x_{3i}}{R_i}\right); \quad \alpha = \text{Arcsin}\left(\frac{x_{2i}}{r}, \frac{x_{1i}}{r}\right);$$

$$R_i = |x_i^{[1:3]}|; \quad r_i = |x_i^{[1:2]}|.$$

Последняя компонента вектор-функции $g_i(x_i)$ равна углу СОЗ

$$(g_i(x_i))_m = \frac{(x_i^{[1:3]})^T (x_i^{[1:3]} - r_{S_i})}{|x_i^{[1:3]}| |x_i^{[1:3]} - r_{S_i}|},$$

где $r_{S_i} \in \mathbb{R}^3$ – вектор координат Солнца в СК J2000.

Отметим, что принятая функция наблюдений $g_i(x_i)$, закладываемая в «память» рекуррентного алгоритма оценивания, отличается от истинной функции наблюдений $\tilde{g}_i(x_i)$ на ошибки принятой функции наблюдений $\delta g_i \in \mathbb{R}^m$.

$$\delta g_i = \tilde{g}_i(x_i) - g_i(x_i)$$

Об ошибках δg_i известно, что их компоненты в каждый момент t_i изменяются в некоторых заданных пределах с неизвестной корреляцией во времени.

$$(\delta g_i)_j^{\min} \leq (\delta g_i)_j \leq (\delta g_i)_j^{\max}; \quad j = \overline{1, m}.$$

Иными словами, ошибки δg_i являются неопределенными (в статистическом смысле) неконтролируемыми факторами, оказывающими возмущающее воздействие на процесс навигации.

При этом для учета такого воздействия применение статистических методов не представляется возможным.

В данной работе возникновение ошибок принятой модели обусловлено в основном следующими факторами:

- ошибками выставки звездных и солнечных датчиков в связанной системе координат ГКА;

- ошибками ориентации приборной СК относительно инерциальной системы координат.

Необходимость учета воздействия на процесс автономной навигации ГКА неопределенных неконтролируемых факторов, приводит к необходимости использовать рекуррентные алгоритмы оценивания типа ОРБА [5, 6, 7].

Третье слагаемое $\eta_i \in \mathbb{R}^m$, входящее в исходное соотношение для модели наблюдений, представляет случайные, некоррелированные во времени, нормально распределенные ошибки измерений с известными статистиками.

Выводы

На основании проделанной работы можно сделать следующие основные выводы.

1. Сформированы математические модели процессов автономной навигации ГКА с использованием астроизмерений, которые включают модель движения центра масс ГКА, модель эволюции состояния оцениваемой системы, модель наблюдений.
2. Модель эволюции состояния оцениваемой системы основана на модели движения центра масс ГКА, модель наблюдений основана на астроизмерениях, в качестве которых выступают измерения углов «Звезда – Объект – Земля» и «Солнце – Объект – Земля».
3. В соотношения математических моделей процессов автономной навигации ГКА с использованием астроизмерений входят, как случайные, так и неопределённые в статистическом (или вероятностном) смысле возмущения – неконтролируемые факторы. Такое разделение возмущений имеет принципиальный характер с точки зрения сочетания точности и достоверности получаемой навигационной информации.

Список литературы

1. Статистическая динамика и оптимизация управления летательных аппаратов: Учеб. Пособие для авиационных специальностей вузов/ А.А. Лебедев, В.Т. Бобронников, М.Н. Красильщиков, В.В. Малышев. – М.: Машиностроение, 1985. – 280 с.
2. Статистическая динамика и оптимизация управления летательных аппаратов: Учеб. пособие для вузов/ В.Т. Бобронников, Д.А. Козорез, М.Н. Красильщиков, А.А. Лебедев, В.В. Малышев, К.И. Сыпало, А.В. Федоров / Под общей ред. М.Н. Красильщикова, В.В. Малышева / 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Альянс, 2013. – 468 с.
3. Михайлов Н.В. Автономная навигация космических аппаратов с использованием спутниковых радионавигационных систем. Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. Санкт-Петербург, 2015. – 413 с.
4. Махненко Ю.Ю. Экономически эффективные технологии навигации геостационарных спутников : диссертация на соискание учёной степени д-ра техн. наук : 05.07.09 / Махненко Юрий Юрьевич. — М., 2008. — 356 с.
5. Зонов Н.И., Красильщиков М.Н. Система рекуррентных байесовских алгоритмов оценивания, адаптивных к разнородным неконтролируемым факторам. I. Структуры адаптивных байесовских алгоритмов // Изв. РАН. Техн. кибернетика, 1994. – №4. – с. 5-16.
6. Зонов Н.И., Красильщиков М.Н. Система рекуррентных байесовских алгоритмов оценивания, адаптивных к разнородным неконтролируемым факторам. II. Алгоритмы определения статистических характеристик ошибок моделей оцениваемого // Изв. РАН. Техн. кибернетика, 1994. – №6. – с. 31-41.
7. Зонов Н.И., Красильщиков М.Н. Система рекуррентных байесовских алгоритмов оценивания, адаптивных к разнородным неконтролируемым факторам. III. Результаты имитационного моделирования // Изв. РАН. Теория и системы управления, 1995. – №3. – с. 20-31.

2.3.1. (05.13.01)

Н.И. Зонов канд. техн. наук, Д.В. Моисеев канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра 604 «Системный анализ и управление»,
navicontr@mail.ru, moiseev801@mail.ru

**АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА.
ЧАСТЬ IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСТРОИЗМЕРЕНИЙ**

Приведены результаты процессов навигации геостационарных КА с использованием астроизмерений, полученные на основе численного имитационного моделирования. Для моделирования использованы математические модели процессов навигации, разработанные авторами, которые учитывают разнородные (случайные и статистически неопределённые) возмущения в каналах эволюции оцениваемой системы и измерений. Результаты моделирования показывают уточнение координат и проекций скорости ГКА, т.е. их приближение к истинным значениям с ростом объёма выборки астроизмерений.

Ключевые слова: астроизмерения, численное имитационное моделирование, случайные неконтролируемые факторы, неопределённые неконтролируемые факторы, рекуррентные алгоритмы оценивания, фильтр Калмана.

Введение

Разработка систем автономной навигации на основе астроизмерений более актуальна для геостационарных КА, чем для низкоорбитальных, поскольку для ГКА доступ к радиосигналам спутниковых навигационных систем в значительной степени затруднён.

Можно отметить, что из работ, выполненных на данную тему, например [1], рассматриваемую работу выделяет то, что моделирование проведено при достаточно больших разбросах начального состояния геостационарного КА (ГКА) относительно номинально заданного: 50 км по координатам и 50 м/с по проекциям скорости (3 сигма). Погрешности астроизмерений составляют при этом величины порядка полутора угловых минут.

Полученные результаты моделирования процесса навигации демонстрируют сходимость оценок положения НКА к истинному положению по нарастающей выборке измерений при соблюдении соответствия ошибок оценок их статистическим характеристикам, получаемым на выходе рекуррентного алгоритма оценивания.

Численное имитационное моделирование (ЧИМ) процессов автономной астронавигации ГКА проведено с применением фильтра Калмана, фильтра второго порядка [1], гарантирующего алгоритма «СКАЛАР1» [2], «Обобщенного рекуррентного байесовского алгоритма» [3, 4]. В работе приведены постановка задачи численного имитационного моделирования процессов навигации с использованием астроизмерений, исходные данные для моделирования, схема ЧИМ, результаты моделирования в виде графиков ошибок оценок положения и скорости ГКА и соответствующих им утроенным средним квадратическим отклонениям. Результаты моделирования приведены в двух вариантах при различных характеристиках погрешностей астроизмерений.

Для моделирования использованы математические модели процессов навигации, разработанные авторами, которые учитывают разнородные (случайные и статистически неопределённые) возмущения в каналах эволюции оцениваемой системы и измерений.

Постановка задачи

В соответствии с постановкой задачи в работе требуется:

1. Провести численное имитационное моделирование процессов автономной навигации ГКА с использованием астроизмерений: углов «Звезда-ГКА-Земля», «Солнце-ГКА-Земля».
2. Процессы автономной навигации промоделировать в реальном масштабе времени.
3. Для обработки измерительной информации и прогнозирования статистических характеристик состояния оцениваемой системы использовать рекуррентные алгоритмы: фильтр Калмана, фильтр второго порядка, гарантирующий алгоритм «СКАЛАР1», «Обобщенный рекуррентный байесовский алгоритм».
4. ЧИМ провести на основе математических моделей эволюции состояния оцениваемой системы и наблюдений, приведённых в работе [5].
5. На основании анализа полученных результатов ЧИМ оценить точность системы автономной навигации ГКА и выбрать наиболее приемлемый для астронавигации рекуррентный алгоритм оценивания из числа задействованных для моделирования.

Исходные данные для моделирования

В данном разделе перечислены исходные данные для программной реализации задачи, рассмотренной в данной работе.

1. Длительность ЧИМ процесса навигации ГКА $T = 1.5$ сут.
2. Дата и гринвичское время начала ЧИМ процесса навигации ГКА: 01.09.2021, $t_0 = 0$ ч, 0 мин, 0 с.
3. Параметры орбиты ГКА:
 - время прохождения перигея $\tau = 0$;
 - эксцентриситет $e = 0$;
 - большая полуось $a = 42164169.787$ м;
 - аргумент перигея $\omega = 0$;
 - наклонение $i = 0.5^\circ$;
 - долгота восходящего узла $\Omega \approx 285^\circ$.
4. Давление солнечной радиации вблизи Земли на площадку, расположенную под прямым углом к лучам на расстоянии одной астрономической единицы от источника света при условии полного отражения света p :

$$p = 4.65 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right]$$

5. Коэффициент отражения света поверхностью КА γ :

$$\gamma = 1.22$$

6. Масса ГКА $m_{\text{КА}} = 1900$ [кг].

7. Коэффициенты разложения геопотенциала в ряд по сферическим функциям взяты из справочного документа «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90.11).

8. Коэффициенты полиномов для аппроксимации траекторий Луны и Солнца в J2000 взяты из Астрономического ежегодника.

9. Оценка вектора состояния $\hat{x}_0$ и матрица ковариаций P_0 оцениваемой системы для начального момента t_0 (размерности в м, м/с):

$$\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 10912846.21 \\ -40727296.53 \\ 0 \\ 2969.786486 \\ 795.7518907 \\ 26.83118447 \end{bmatrix};$$

$$P_0 = \begin{vmatrix} 50\,000^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 50\,000^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50\,000^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 50^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 50^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 50^2 \end{vmatrix}$$

10. Угловые координаты звёзд в системе координат J2000, взятые из Астрономического ежегодника для проведения численного имитационного моделирования процессов автономной навигации

Таблица - Угловые координаты звезд

Звезда	Склонение δ , град	Прямое восхождение α , град
«Полярная»	89.2642	37.674
«Сириус»	-16.65	100.725
«Канопус»	52.68	95.988

11. Средние квадратические отклонения случайных ошибок угловых измерений равны $\sigma_n = 10$ угл. сек.

12. Ошибки принятой модели наблюдений δg_i моделируются как гармонические процессы с амплитудами колебаний $A_{dg} = 30$ угл. сек. и $A_{dg} = 10$ угл. сек., соответствующих двум вариантам ЧИМ процессов астронавигации.

13. Шаг дискретности моделирования 60 сек.

Схема численного имитационного моделирования

Численное имитационное моделирование процессов навигации ГКА на основе астроизмерений проведено в соответствии со следующей последовательностью действий:

1. Задание априорных статистических характеристик вектора состояния (математического ожидания и матрицы ковариаций) ГКА.

2. Розыгрыш начального возмущенного значения вектора состояния ГКА с использованием датчиков псевдослучайных чисел.

3. Формирование статистических характеристик неопределенных неконтролируемых факторов (НФ) соответствующих пределам изменения ошибок принятых (номинальных) моделей эволюции и наблюдений оцениваемой системы (ГКА). При этом в каждый текущий момент за математические ожидания неопределённых НФ принимаются средние значения, равные полусуммам их минимальных и максимальных значений, а в качестве их матриц ковариаций берутся диагональные матрицы, в которых дисперсии (диагональные элементы) определяются по правилу трёх сигм.

4. Прогнозирование на шаг вперёд возмущенного (истинного) значения вектора состояния.

5. Прогнозирование на шаг вперёд априорной оценки вектора состояния и её матрицы ковариаций с использованием обобщенного рекуррентного байесовского алгоритма.

6. Определение возмущенных и номинальных значений углов «Звезда – ГКА – Земля» с использованием углов склонения и прямого восхождения трёх звезд: Полярная, Канопус, Сириус и угла «Солнце – ГКА – Земля» по формулам, приведённым в [5]. Случайные составляющие погрешности астроизмерений разыгрываются с помощью датчиков псевдослучайных чисел, а погрешности астроизмерений с неизвестной корреляцией во времени (неопределённые неконтролируемые факторы) определяются гармоническими колебаниями с заданными амплитудой, круговой частотой и начальной фазой для каждой из компонент вектора наблюдений.

7. Вычисление невязок наблюдений на основе разности реального (измеренного) и априорного векторов наблюдений, компонентами которых являются углы «Звезда – ГКА – Земля» и «Солнце – ГКА – Земля».

8. Определение апостериорной оценки вектора состояния и её матрицы ковариаций на основе невязки наблюдений с использованием рекуррентного алгоритма оценивания.

9. Увеличение времени процесса навигации на один шаг.

10. Проверка окончания процесса навигации по времени. Если текущее время меньше времени окончания, то переход к пункту 4.

Результаты численного имитационного моделирования

Численное имитационное моделирование процессов автономной навигации проведено в двух вариантах с двумя значениями амплитуды гармонических колебаний, моделирующих неопределённые неконтролируемые факторы в модели наблюдений (исходные данные, п.14).

Моделирование процессов астронавигации с применением фильтра Калмана, фильтра второго порядка, гарантирующего алгоритма «СКАЛАР1», «Обобщенного рекуррентного байесовского алгоритма» показало работоспособность всех алгоритмов. Под работоспособностью понимается соответствие ошибок оценок вектора состояния ГКА их статистическим характеристикам на шагах предсказания (априорное оценивание) и на шагах обработки астроизмерений (апостериорное оценивание). В качестве статистических характеристик рассматриваются матрицы ковариаций оценок. В этом случае можно говорить также о правдоподобии процесса оценивания как статистического решения. С точки зрения точности оценок предпочтительнее других алгоритмов работает «Обобщенный рекуррентный байесовский алгоритм», как алгоритм, наиболее полно учитывающий нелинейности моделей эволюции состояния оцениваемой системы и наблюдений. В связи с этим представленные ниже результаты ЧИМ соответствуют работе указанного алгоритма.

Результаты моделирования представлены на рис. 1 – 4 в виде графиков ошибок оценок положения и ошибок оценок скорости ГКА, и их утроенных средних квадратических отклонений для двух вариантов моделирования. Первые два рисунка соответствуют моделированию с амплитудой гармонических колебаний неопределённых неконтролируемых факторов в модели наблюдений равной $A_{dg} = 30$ угл. сек., а вторые два рисунка отражают результаты моделирования с амплитудой неопределённых НФ $A_{dg} = 30$ угл. сек. Средние квадратические отклонения случайных ошибок астроизмерений в обоих вариантах моделирования принимались равными $\sigma_\eta = 10$ угл. сек.

За ошибку оценки положения ГКА принимается длина отрезка между точкой с «истинными», разыгранными в процессе ЧИМ координатами ГКА, и точкой с координатами, полученными на выходе обобщенного рекуррентного байесовского алгоритма оценивания, взятыми в один и тот же момент времени.

Ошибка оценки скорости ГКА равна скорости изменения ошибки оценки положения.

Графики ошибок оценок положения и скорости ГКА представлены сплошной линией, а их предельные величины, равные трём квадратическим отклонениям, – пунктирной линией (в логарифмическом масштабе).

На рис. 1 – 4 ошибки и их СКО имеют размерность метры, а размерность аргумента – секунды.

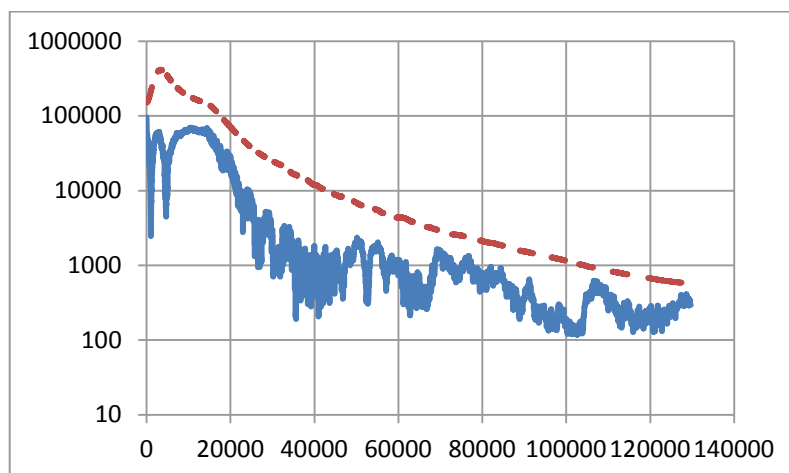


Рис. 1 – Результаты ЧИМ процесса навигации ГКА.
Оценка ошибок положения. $A_{dg} = 30$ угл. сек, $\sigma_\eta = 10$ угл. сек.

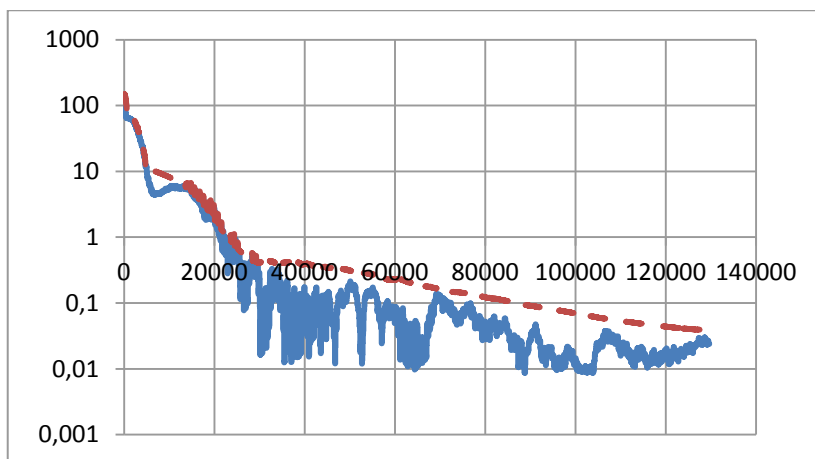


Рис. 2 – Результаты ЧИМ процесса навигации ГКА.
Оценка ошибок скорости. $A_{dg} = 30$ угл. сек, $\sigma_{\eta} = 10$ угл. сек.

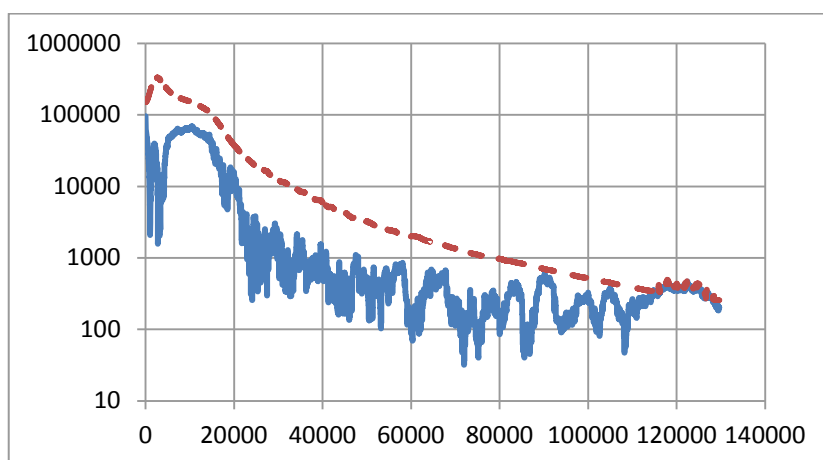


Рис. 3 – Результаты ЧИМ процесса навигации ГКА.
Оценка ошибок положения. $A_{dg} = 10$ угл. сек, $\sigma_{\eta} = 10$ угл. сек.

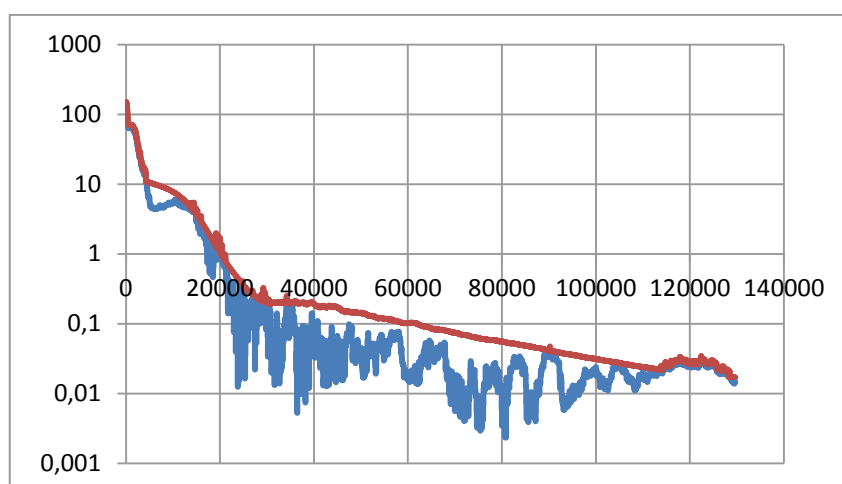


Рис. 4 – Результаты ЧИМ процесса навигации ГКА.
Оценка ошибок скорости. $A_{dg} = 10$ угл. сек, $\sigma_{\eta} = 10$ угл. сек.

Выводы

На основании полученных результатов численного имитационного моделирования процессов автономной навигации ГКА с использованием астроизмерений можно сделать следующие выводы:

1. Все задействованные для моделирования рекуррентные алгоритмы оценивания: фильтр Калмана, фильтр второго порядка, гарантирующий алгоритм «СКАЛАР1», «Обобщенный рекуррентный байесовский алгоритм» являются работоспособными, т.е. дают правдоподобные оценки координат и проекций скорости ГКА.

2. С точки зрения точности оценок для построения системы автономной навигации с использованием астроизмерений следует рекомендовать «Обобщенный рекуррентный байесовский алгоритм».

3. Результаты моделирования (рис. 1-4) показывают уточнение координат и проекций скорости ГКА, т.е. их приближение к истинным значениям с ростом объема выборки астроизмерений.

Список литературы

1. Статистическая динамика и оптимизация управления летательных аппаратов: Учеб. Пособие для авиационных специальностей вузов/ А.А. Лебедев, В.Т. Бобронников, М.Н. Красильщиков, В.В. Малышев. – М.: Машиностроение, 1985. – 280 с.
2. Красильщиков М.Н. и др. Результаты применения гарантирующих алгоритмов оценивания типа СКАЛАР1 в задаче навигации СА // Гагаринские чтения по космонавтике и авиации 1985 г. М.: Наука, 1987. – с. 75.
3. Зонов Н.И., Красильщиков М.Н. Система рекуррентных байесовских алгоритмов оценивания, адаптивных к разнородным неконтролируемым факторам. I. Структуры адаптивных байесовских алгоритмов // Изв. РАН. Техн. кибернетика, 1994. – №4. – с. 5-16.
4. Зонов Н.И., Красильщиков М.Н. Система рекуррентных байесовских алгоритмов оценивания, адаптивных к разнородным неконтролируемым факторам. III. Результаты имитационного моделирования // Изв. РАН. Теория и системы управления, 1995. – №3. – с. 20-31.
5. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть III. Математические модели процессов навигации с использованием астроизмерений. // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №3.

2.3.1. (05.13.01)

¹Н.И. Кондакова, ²Т.М. Коменданова, ²Н.А. Хлебников, ³А.В. Базан¹Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, konadiv75@mail.ru,²Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,
Институт землеустройства, кадастров и мелиорации,
Улан-Удэ, tkomendanova@mail.ru,³Восточно-сибирский институт министерства внутренних дел Российской Федерации,
кафедра огневой подготовки,
Иркутск, mr.bazan.alex38@mail.ru**СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ
КОМПЛЕКСА ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И УСТРОЙСТВ**

Системы водоснабжения представляют собой комплекс инженерных сооружений и устройств, обеспечивающих получение воды из природных источников, ее очистку, транспортирование и подачу потребителям. Конструкция водоснабжения нужна для удовлетворения потребителей в воде промышленности и сельского хозяйства. В статье описывается исследование системы водоснабжения комплекса инженерных сооружений и устройств.

Ключевые слова: *система водоснабжения, водообеспечение, инженерное сооружение.*

Для создания благоприятных санитарных условий на территориях городов и промышленных предприятий сточные воды следует удалять за их пределы, а для исключения загрязнения водоемов сточные воды нужно очищать и обеззараживать. Для этого используют системы канализации. Водоотведение осуществляется при помощи комплекса подземных самотечных трубопроводов, очистных и других сооружений, с помощью которых осуществляется отвод использованных и отработавших вод, очистка и обеззараживание их, а также обработка и обезвреживание образующихся при этом осадков с одновременной утилизацией ценных веществ. Источник водоснабжения должен удовлетворять следующим основным требованиям (табл.1):

Таблица 1 – Основные требования предъявляемые к источникам водоснабжения

№п/п	Требования
1	обеспечивать получение из него необходимых количеств воды с учетом роста водопотребления на перспективу развития объекта
2	обеспечивать бесперебойность снабжения водой потребителей
3	давать воду такого качества, которое в наибольшей степени отвечает нуждам потребителей или позволяет достичь требуемого качества путём простой и дешевой её очистки
4	обеспечивать возможность подачи воды объекту с наименьшей затратой средств
5	обладать такой мощностью, чтобы отбор воды из него не нарушал сложившуюся экологическую систему

Под системой водоснабжения также может подразумеваться комплекс взаимосвязанных сооружений, предназначенных для водообеспечения какого-либо объекта или группы объектов. Правильное решение вопроса о выборе источника водоснабжения для каждого данного объекта требует тщательного изучения и анализа водных ресурсов района, в котором расположен объект.

Система водоснабжения представляет собой комплекс сооружений для обеспечения определенной (данной) группы потребителей (данного объекта) водой в требуемых количествах и требуемого качества. На рис.1 приведена принципиальная схема водоснабжения. Система водоснабжения (населенного места или промышленного

предприятия) должна обеспечивать получение воды из природных источников, её очистку, если это вызывается требованиями потребителей, и подачу к местам потребления. В зависимости от местных природных условий и характера потребления воды, а также в зависимости от экономических соображений схема водоснабжения и составляющие её элементы могут меняться весьма сильно [1-3].

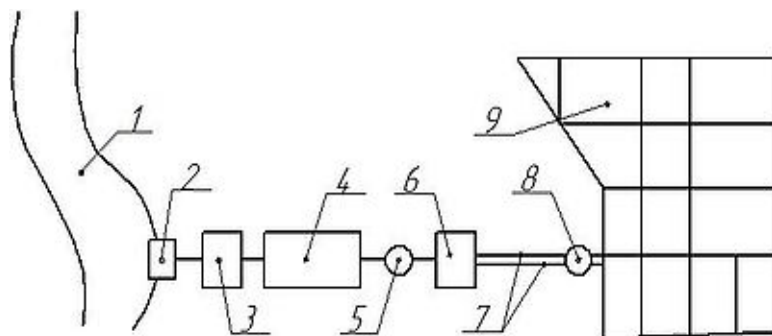


Рис. 1 – Принципиальная схема водоснабжения

Принципиальная схема водоснабжения: 1 - источник водоснабжения, 2 - водоприемное сооружение, 3 - насосная станция I подъема, 4 - очистные сооружения, 5 - резервуар чистой воды, 6 - насосная станция II подъема, 7 - водоводы, 8 - водонапорная башня, 9 - водораспределительная сеть.

Большое влияние на схему водопровода оказывает принятый источник водоснабжения его характер, мощность, качество воды в нем, расстояние от него до снабжаемого водой объекта и т. п. Иногда для одного объекта используется несколько природных источников. В табл.2 приведена классификация систем водоснабжения. Современные системы водоснабжения использующие циркуляционные насосы высокого давления и трубы в зданиях изготавливают из стали, латуни, пластика (особым способом скроенного полиэтилена РЕХ, который используется в 60% многоквартирных и индивидуальных домов) или другого малотоксичного материала. Современные дренажные и канализационные трубопроводы изготавливают из пластика, стали, чугуна или свинца. Система водоснабжения, обеспечивающая водой отдельные районы или группы населенных пунктов, либо группы промышленных объектов, называется районной или групповой системой водоснабжения. Возможны централизованное и децентрализованное водоснабжение [4-6].

Таблица 2 – Классификация систем водоснабжения

№п/п	Классификация	
1	По назначению	системы водоснабжения населенных мест (городов, поселков)
		системы производственного водоснабжения
		системы сельскохозяйственного водоснабжения
		системы противопожарного водоснабжения
		комбинированные системы водоснабжения (хозяйственно-производственные, хозяйственно-противопожарные и т. д.)
2	По способу подачи воды	самотечные (гравитационные)
		с механизированной подачей воды (с помощью насосов)
		зонные (в одни районы самотеком, в другие насосами)
3	По характеру используемых природных источников	получающие воду из подземных источников (родниковые, артезианские и т. д.)
		получающие воду из поверхностных источников (речные, озерные и т. д.)
		смешанного типа
4	По способу использования воды	системы прямоточного водоснабжения (с однократным использованием воды),
		системы оборотного водоснабжения,
		системы с повторным использованием воды.

Централизованное водоснабжение обеспечивает водой несколько точек водоразбора путем организации водопровода, представляющего собой комплекс инженерных сооружений, с помощью которого проводятся забор воды из источника водоснабжения, обработка, необходимая для доведения ее качества до требований водопотребителя, подача воды к месту потребления и распределения между потребителями. Нарушение санитарных норм и правил при организации водоснабжения и в процессе эксплуатации водопровода способствует распространению кишечных инфекционных болезней [1-4].

Список литературы

1. *Кокиева Г.Е.* Покрытие потребности кормов для вскармливания сельскохозяйственным животным путем микробного синтеза/ Г.Е. Кокиева// Инновационная деятельность в АПК: Состояние, проблемы, перспективы. сборник материалов научно-практической конференции "XIV Ларионовские чтения". 2020. с. 161-169.
2. *Друзьянова В.П., Кокиева Г.Е.* Анаэробное сбраживание органических отходов сельскохозяйственного производства в сборнике: современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения. Сборник материалов научно-практической конференции «Ларионовские чтения». 2019. с. 109-112.
3. *Кокиева Г.Е., Войнаш С.А.* Развитие технологии внесения удобрений и структура парка машин тракторы и сельхозмашины. 2020. № 3. с. 81-88.
4. *Кокиева Г.Е., Друзьянова В.П.* Исследование автоматизированной системы управления микроклиматом парника. Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 1 (57). С. 70-78.
5. *Кокиева Г.Е., Федорова П.Н.* Оборудование для переработки навоза путём микробного синтеза / Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 10. с. 49-51.
6. *Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф.* Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. — М.: Стройиздат, 1984. — 116 с.
7. *Яковлев С.В., Иванов Е.Н., Прозоров И.В. и др.* Рациональное использование водных ресурсов. — М.: Стройиздат, 1991.

2.3.1. (05.13.01)

Е.Н. Леонов канд. техн. наук, Р.А. Кудряшов канд. техн. наук

ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет,
Институт промышленных технологий и инжиниринга,
кафедра электроэнергетики,
Тюмень, leonoven@tyuiu.ru

МИКРОТУРБИНЫЕ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ

Исследуются способы подключения микротурбинных систем генерации в электрическую сеть. Рассмотрены эффективные быстродействующие интерфейсы подключения установок. Полученные результаты позволят улучшить внедрение источников распределенной генерации в энергосистемах.

Ключевые слова: *распределенная генерация, микротурбина, интерфейс, силовая электроника.*

Введение

В последние годы все чаще внедряются электротехнические системы с распределенной генерацией (ЭТС РГ) на основе микротурбинных технологий, это соответствует тенденциям, заложенным в [1]. Повышение конкурентоспособности этих установок происходит из-за повышения их производительности, низкого уровня выбросов, относительно низкой начальной стоимости и небольшого размера. Микротурбинная система генерации (МТСГ) производит энергию в диапазоне 25 – 500 кВт и может эксплуатироваться как в автономном режиме, так с присоединением к энергосистеме. При подключении МТСГ в электрическую сеть их генераторы будут влиять на общую динамику системы. Вопросы моделирования и исследования работы МТСГ в изолированных ЭТС представлены в [2, 3]. Но в них рассмотрена изолированная работа МТСГ, без уделения должного внимания технологиям подключения и работы таких установок в системах. В частности мало исследованной остается область быстродействующих интерфейсов подключения МТСГ.

Одной из важных технических проблем, возникающих при присоединении РГ к сети, является первоначальная обособленность модулей РГ. При их подключении на работу в единую ЭТС возникает изменение как режимов таких источников, так и работы и самой системы. Процесс объединения источников РГ с ЭТС ускоряется за счёт быстрой разработкой технологий нового поколения и их растущее проникновение в ЭТС. Кроме того, развитие силовой электроники позволяет проектировать установки РГ подключаемые в сеть мгновенно, с передачей функций генерации от системы к источникам РГ без перерыва электроснабжения.

Автономный режим работы РГ является важным в случае чувствительных к качеству электрической энергии и требовательных к надёжности электроснабжения промышленных нагрузок. При этом есть потребность поддержать надёжное и бесперебойное электроснабжение во время плановых или случайных отключений электрических сетей. Стандарт IEEE 1547-2003 [4] регламентирует подключение РГ к электрическим сетям и определяет режимы, в которых требуется намеренная автономность работа систем РГ. Как следствие исследования последнего времени [5, 6] были направлены, на изучение изучить возможность намеренного обособления различных систем РГ.

В вышеупомянутом контексте эта статья представляет собой рассмотрение вопросов технологий подключения МТСГ в ЭТС и исследование качества работы таких систем. Также представлены варианты интерфейсов подключения для мгновенного перевода работы системы генерации из режима соединения с сетью, в автономный режим.

Топологии интерфейса силовой электроники

Одновальная система МТСГ, благодаря ее преимуществам, чаще используется для производства электроэнергии, чем с раздельным валом. Конструкция микротурбины с единым валом требует особого интерфейса силового электронного преобразователя для преобразования высокочастотного переменного тока, вырабатываемой генератором, в отпускаемую электроэнергию. Это важнейший компонент конструкции одновальной микротурбины. Поэтому схема интерфейса связи представляет собой серьезные проблемы проектирования, в частности, в согласовании мощности турбины с требуемой нагрузкой. Как правило, схемы силового электронного интерфейса рассчитаны на то, чтобы выдерживать переходные процессы и скачки напряжения, до семи раз превышающие номинальное напряжение. Существуют различные топологии интерфейса для подключения одновальных МТСГ к сети. На рисунке 1 показана комбинация пассивного выпрямителя и инвертора со звеном постоянного тока. В этой конструкции требуется отдельный пусковой инвертор для двигательной работы генератора при запуске микротурбины, а также в процессе охлаждения для отвода тепла, накопленного в рекуператоре и микротурбине, для защиты компонентов системы.

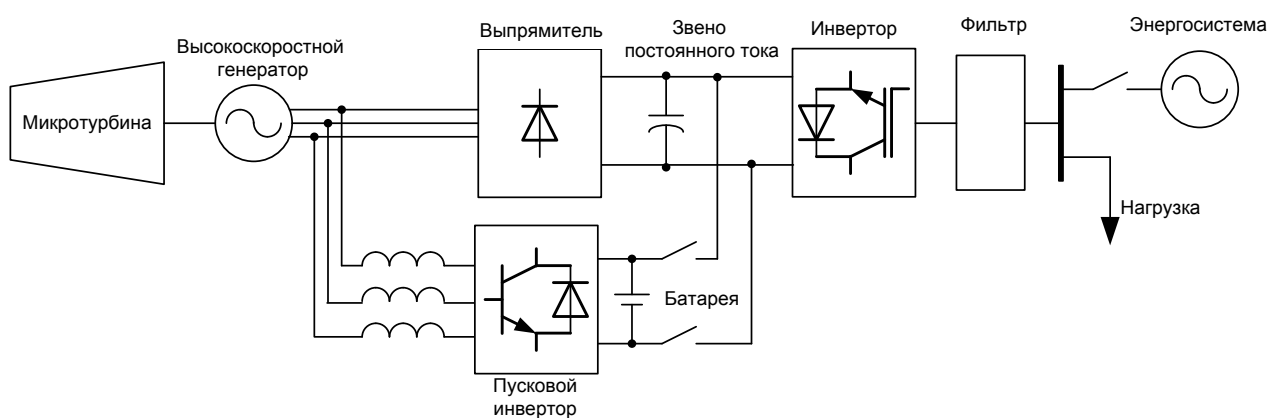


Рис. 1 – Комбинация пассивного выпрямителя и инвертора

Циклоконвертер и матричный преобразователь, показанные на рисунках 2 и 3, также могут использоваться для быстрого подключения микротурбинного генератора к сети. Эти преобразователи напрямую преобразуют переменное напряжение одной частоты в переменное напряжение другой частоты с переменной величиной. По этой причине их также называют преобразователями частоты. Недостатки этих преобразователей заключаются в том, что они имеют удвоенное количество переключателей по сравнению со схемой со звеном постоянного тока, а накопление энергии невозможно. Если нет звена постоянного тока, то колебания на любой стороне преобразователя будут напрямую влиять и на другую сторону.

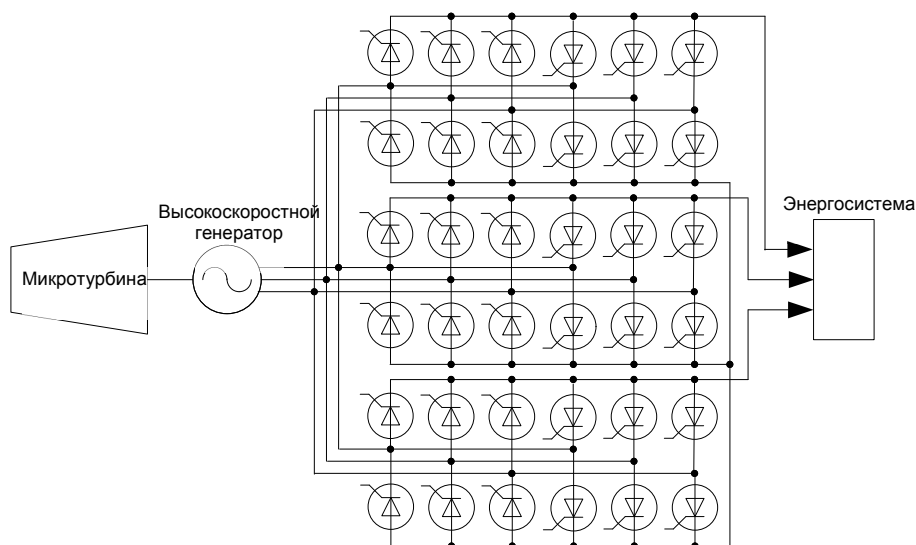


Рис. 2 – Модель интерфейса циклоконвертера

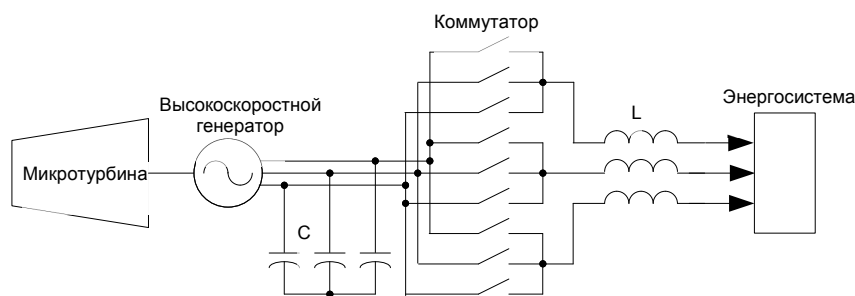


Рис. 3 – Модель интерфейса матричного преобразователя

Матричный преобразователь (рисунок 3), можно использовать на более низких частотах по сравнению с преобразователями на основе ШИМ. Их преимуществами являются меньшая тепловая нагрузка на полупроводники при низкой выходной частоте и отсутствие конденсаторов в звене постоянного тока, что увеличивает эффективность и срок службы. Недостатками этой топологии являются внутреннее ограничение выходного напряжения; отсутствие двунаправленного коммутатора; отсутствие развязки между входом и выходом преобразователя.

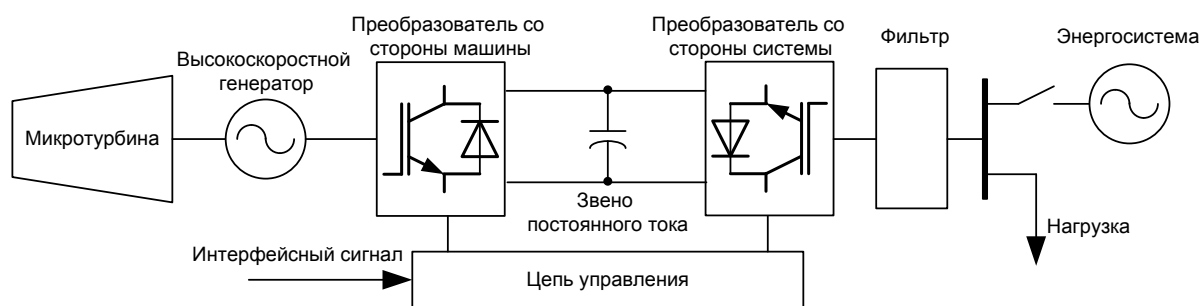


Рис. 4 – МТСГ с интерфейсом реверсивного преобразователя

Топология интерфейса реверсивных преобразователей показана на рисунке 4. Эта топология обеспечивает двунаправленный поток мощности между преобразователем и сетью, и, следовательно, не требуется отдельного пускового устройства. Во время запуска синхронная машина с постоянными магнитами действует как двигатель и получает энергию из сети, чтобы довести турбину до определенной скорости. Далее она переходит в режим генерации и мощность перетекает из системы МТСГ в сеть.

Преимущества применения микротурбинных систем генерации

МТСГ имеют широкий диапазон применения вследствие ряда своих достоинств. Микротурбина может увеличивать выдачу энергии при пиковой нагрузке, тем самым повышая надежность энергоснабжения и снижая или устраняя плату за пиковую нагрузку. Сглаживание пиков потребления повышает общую энергоэффективность системы, и сокращает инвестиции в традиционные объекты генерации, передачи и распределения электроэнергии. Микротурбина также может обеспечить первичную выработку электроэнергии там, где сеть электроснабжения недоступна или обслуживание ненадежно.

Когенерация или комбинированное производство тепла и электроэнергии относится к процессу использования тепла, производимого двигателем внутреннего сгорания. Микротурбина во время работы производит значительное количество выхлопных газов с высокими температурами, которые можно легко интегрировать с теплообменником и контуром горячей воды для получения тепловой энергии. С точки зрения затрат и выгод это дает значительную экономию по сравнению со сжиганием топлива для теплоснабжения и горячего водоснабжения. При таком использовании тепловой энергии, общая топливная эффективность системы может составлять от 70 до 90 %.

Сжигаемые газы часто имеют низкий энергетический потенциал или высокое содержание сероводорода (H_2S), что делает их неприемлемым источником топлива для обычных турбогенераторов. С другой стороны, микротурбина без проблем работает на низкоэнергетических газах. Микротурбина также может использоваться при добычи нефти и газа. Благодаря способности использовать необработанный попутный газ, содержащий до 7% сероводорода, микротурбина может исключить необходимость сжигания его в факеле. В то же время вырабатываемая ими мощность снижает или устраняет необходимость в дополнительных источниках электроэнергии.

Технология микротурбин может быть интегрирована в широкий спектр продуктов и систем [7]. Источники бесперебойного питания, комплексные теплоэлектростанции и сварочные аппараты – вот лишь несколько примеров их применения в производимом оборудовании.

Заключение

Распределенная генерация на основе микротурбин это достаточно новая, но в то же время быстро развивающаяся технология. МТСГ быстро становятся оптимальным решением для управления энергопотреблением, которое позволяет экономит деньги, ресурсы и окружающую. При этом они могут быть стационарными или мобильными, удаленными или подключенными к распределительной сети. В этом исследовании была представлена технология МТСГ, подходящая для работы как в автономном режиме, так и с подключением к сети, интерфейсы такого подключения. Поскольку вопросы электроснабжения от МТСГ являются достаточно новыми, но при этом являются ключевыми для устойчивого энергоснабжения в будущем, то необходимо провести множество исследований, чтобы изучить их влияние и использовать их в полной мере.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р.
2. Андреева Е.Г., Ковалев В.З. Математическое моделирование электротехнических комплексов: Монография / Под общ. ред. Ю.З. Ковалева. Омск: Изд-во ОмГТУ, 1999. – 172 с.
3. Мельник Г.В. Системы автономного распределенного энергоснабжения: микротурбины // Двигателестроение. – 2006. № 4. – С. 46-51.
4. 1547-2003 - IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems.
5. Вопросы управления в малой распределенной генерации / Ковалев В.З., Ковалева С.Е., Щербаков А.Г., Архипова О.В. // В сборнике: Культура, наука, образование: проблемы и перспективы Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Отв. ред. А.В. Коричко. 2014. С. 60-62..
6. The technique of optimal choice of energy sources in the electrical systems with distributed generation / Akhtulov A.L., Ivanova L.A., Leonov E.N. // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Workshop "Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering – MIP: Engineering – 2019". Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. С. 62075.
7. Модель источника электроэнергии в условиях рынка микрогенерации / Ирихов А.С., Зарубин Д.С., Варганова А.В. // В сборнике: Фёдоровские чтения — 2021. LI международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. 2021. С. 240-244.

2.3.1. (05.13.01)

А.Н. Максимов, А.А. Александров, В.Д. Романов

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
факультет «Системы управления, информатика и электроэнергетика»,
кафедра «Информационные технологии»,
Москва, al_maksimov@mail.ru, mrquatets@gmail.com, vromanov@dev.rtsoft.ru

МЕТОД ЧТЕНИЯ КАДРОВ С ВИДЕОКАМЕР И РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ В ПРОГРАММАХ НА ЯЗЫКАХ СТАНДАРТА IEC 61499

В статье рассмотрен подход к созданию функциональных блоков обработки изображений в программах на языке IEC 61499. Приведены примеры реализации функциональных блоков для чтения кадров с камеры, обработки видеопотока и распознавания изображений в среде 4diac.

Ключевые слова: распределенные системы управления, распознавание изображений, IEC 61499, Industry 4.0, сверточные нейронные сети.

Использование языков, специфицированных в стандарте IEC 61499 [1] - является перспективным подходом к построению распределенных систем управления.

Применение данного стандарта позволяет разрабатывать распределенные управляющие программы, с помощью сети функциональных блоков. Функциональные блоки языка IEC 61131 традиционно применяются специалистами в области систем управления при разработке программ для управляющих контроллеров. В стандарте IEC 61499 в синтаксис функциональных блоков добавлена возможность работы с событиями, что облегчает разработку распределенных алгоритмов.

Построение гибких систем управления для роботизированных систем, разрабатываемых для Industry 4.0, часто приводит к появлению необходимости включать алгоритмы для обработки изображений в состав контуров управления. Алгоритмы обработки изображений являются необходимыми при разработке станков с ЧПУ [2], в составе систем управления для наземных [3] и воздушных автономных подвижных объектов.

Представляется целесообразным расширить возможности, предоставляемые существующими средами разработки, использующими стандарт IEC61499, путем добавления возможности включать функциональные блоки, реализующие алгоритмы обработки изображений в общую управляющую программу системы управления. Предоставление разработчику возможности использования одного языка для разработки всей системы управления, позволит упростить процесс разработки и сопровождения этой системы.

Стандарт IEC 61499 предлагает строить программу из функциональных блоков, используя событийную модель для определения порядка их выполнения. Программа представляет из себя ориентированный граф функциональных блоков, которые могут обмениваться данными и событиями. Функциональные блоки имеют информационные и событийные входы и выходы. В процессе конфигурирования программы функциональные блоки могут назначаться разработчиком на устройства, входящие в состав модели устройств системы, и загружаться на них.

Существуют коммерческие и OpenSource инструментальные средства для разработки на языках IEC 61499. Примерами коммерческих инструментов разработки, поддерживающих IEC 61499 являются IsaGrag и продукты компании nxtControl. Наиболее известными OpenSource решениями являются FBDK и среда разработки 4diac совместно со средой исполнения Eclipse forte [4].

Современные инструментальные средства для разработки алгоритмов обработки изображений предоставляют возможность описывать алгоритм обработки в виде цепочек связанных функциональных блоков. Примерами таких средств являются, например,

Simulink, OpenVino. К сожалению, эти решения больше сконцентрированы непосредственно на разработке пайплайнов для алгоритмов обработки изображений. Так же, перечисленные средства не обеспечивают бесшовной интеграции алгоритмов обработки изображений в управляющие программы.

В данной работе рассматривается подход, предоставляющий возможность интеграции алгоритмов обработки изображений непосредственно в программу управления ИЕС 61499 для 4diac/forte. Для работы с изображениями предлагается использовать стандартную нотацию функциональных блоков. Изображения при этом предлагается рассматривать, как еще один тип данных.

Алгоритмы обработки изображения обладают рядом специфичных особенностей, которые отличают их от алгоритмов систем управления. К основным особенностям относятся:

- Необходимость добавления дополнительных устройств ввода-вывода для работы с камерами и видеопотоками;
- Необходимость минимизации затрат на копирование при передаче обрабатываемого изображения между функциональными блоками;
- Поддержка возможности выполнения алгоритмов обработки на нейроускорителях или GPU.

В данной работе описывается архитектура, которая учитывает вышеперечисленные особенности работы с изображениями, как с типом данных.

Устройства ввода-вывода в ИЕС 61499 могут быть реализованы в виде блоков ввода вывода IX, OX, а также в виде стандартных коммуникационных блоков PUBLISH, SUBSCRIBE, CLIENT и SERVER. Схема взаимодействия коммуникационных блоков с сетевой подсистемой описана в работе [5]. Представляется целесообразным использовать аналогичную архитектуру для работы с камерами и видеопотоками. Предлагаемая архитектура представлена на рис 1.

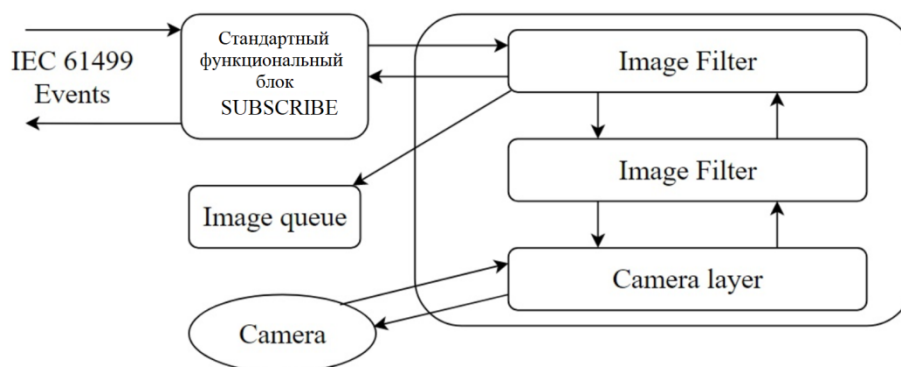


Рис.1 – Архитектура работы с камерами и видеопотоками для среды исполнения ИЕС 61131 Eclipse forte

Для представления камеры в программе ИЕС 61499 предлагается использоваться стандартный блок SUBSCRIBE. Входными данными для SUBSCRIBE будут выступать параметры камеры, а выходным идентификаторы принятых кадров.

Для минимизации количества операций копирования при передаче кадра между функциональными блоками алгоритма предлагается передавать только дескрипторы кадров, помещая кадры в один или несколько именованных ассоциативных контейнеров. Такой подход позволяет значительно ускорить процесс транспортировки изображения между блоками. Функциональные блоки обработки изображения могут параметризоваться именами входных и выходных контейнеров с которыми они должны работать.

Описанный выше метод интеграции алгоритмов распознавания изображения в программы ИЕС 61499 был протестирован авторами, путем разработки компонентов для среды разработки Eclipse 4diac и среды исполнения Eclipse forte. Для этого был разработан слой для работы с камерой для среды исполнения forte, разработана реализация ассоциативного контейнера для хранения кадров и функциональные блоки для работы с ним, а также примеры функциональных блоков для типовых алгоритмов разработки изображений.

В качестве примеров для функциональных блоков были выбраны и реализованы алгоритмы выделения объектов с помощью сверточной нейронной сети yolo v3.

На рис.2 представлен пример программы IEC 61499, включающей блоки обработки изображений.

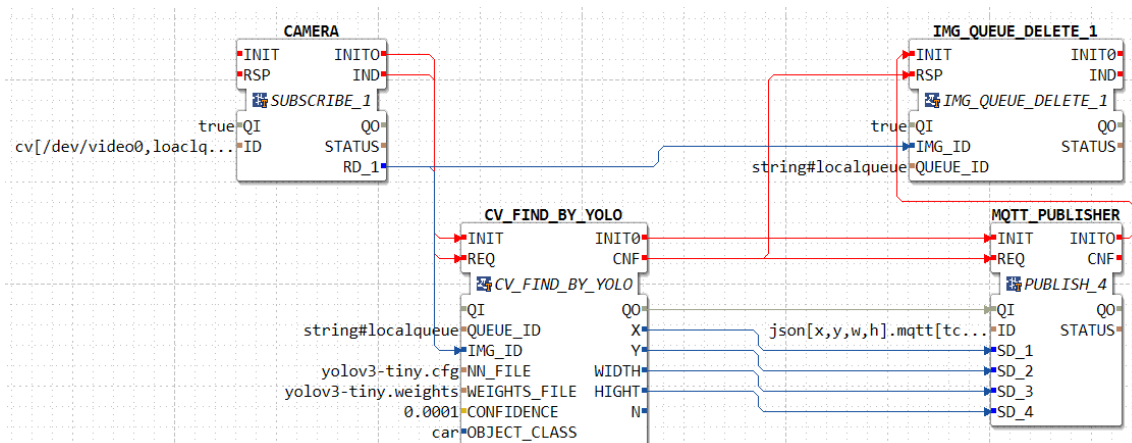


Рис.2 – Пример программы IEC 61499 для нахождения объектов на кадрах видеопотока при помощи yolo

Данная программа позволяет читать кадры с камеры, выделять на кадре объект при помощи сверточной нейронной сети yolo и публикует информацию о найденном объекте, используя протокол MQTT.

В ходе тестирования разработанных функциональных для работы с камерой и обработкой изображений была выявлена проблема, связанная с возможностью переполнения очереди событий среды исполнения IEC 61499. Проблема связана со тем, что слой камеры работает асинхронно и генерирует события, сигнализирующие о появлении новых кадров с частотой, которая задана в параметрах функционального блока SUBSCRIBE. События помещаются в глобальную очередь событий среды исполнения. В случае, если функциональный блок алгоритма обработки кадров требует значительного времени на обработку кадров, то он может не успевать выбирать события из очереди событий с достаточной скоростью и очередь событий начинает расти. Рост очереди событий в конце концов приводит к неработоспособности системы. Возможным решением данной проблемы является ручное согласование частот генерации кадров и частоты обработки, однако, данный подход является трудоемким и желательно предоставить разработчику более простое для практического применения решение проблемы переполнения буфера событий.

В работе предложен метод интеграции алгоритмов обработки изображений в программы на IEC 61499. Результаты практического прототипирования показали общую работоспособность разработанного подхода. Предложенный подход упрощает процесс интеграции алгоритмов управления и обработки изображений в рамках единого проекта за счет применения одного языка для решения обоих классов задач.

Список литературы

1. IEC 61499-1:2012. Function blocks - part 1: Architecture. 2012.
2. Ogin P & Levashkin D & Vasilyev F. (2018). Laser-aided direct metal tooling of manufacturing aviation details on CNC machine. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 450. 032032. 10.1088/1757-899X/450/3/032032.
3. Максимов А.Н., Локтев М.А., Волков А.К., Модифицированный алгоритм orb-slam с семантической сегментацией сцен с подвижными объектами.// Научно-технический вестник Поволжья, №12 2018. С.242-246
4. 4diac FORTE – IEC 61499 Runtime Environment [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.eclipse.org/4diac/en_rte.php] (Дата обращения 08.03.2022).
5. Hofmann M., Rooker M., Zoitl A. Improved communication model for an IEC 61499 runtime environment. IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2011; doi:10.1109/ETFA.2011.6059121

2.3.1. (05.13.01)

И.Ф. Нафиков, И.И. Нуреев, С.В. Васильев, А.Н. Пикулев, Н.В. Дорогов

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
Институт радиоэлектроники, фотоники и цифровых технологий,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, OGMorozov@kai.ru

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ
ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛЕТА ДРОНОВ**

Существующие методы идентификации пеленгов, процедуры выполнения требований к структурам и локализации измерительных комплексов позволяют создать основу для решения многих задач траекторных измерений, в частности задачи повышения эффективности лазерного контроля подлета дронов (ЛКПД) к охраняемому объекту. Хотя разработанные структуры и алгоритмы в достаточной мере универсальны, само по себе их использование ещё не решает всех проблем, возникающих при внедрении ЛКПД. К числу таких проблем следует отнести: проектирование лазерного теодолитного измерительного комплекса (ЛТИК), включающее выбор типа лазерного локатора слежения (ЛЛС), обеспечение автоматизированной проверки результатов ЛКПД на достоверность и устранение ошибок; повышение точности конечных результатов обработки измерений. В данной статье представлена методика ЛКПД, разработанная на основе математической идентификации структурно избыточных ЛЛС-измерений, в которой найдены удовлетворительные решения перечисленных выше проблем за счет выявления и устранения систематических погрешностей пеленгации и максимального использования априорной информации при обработке измерений.

Ключевые слова: лазерный контроль подлета дронов; лазерный теодолитный измерительный комплекс; лазерный локатор слежения; дрон; траекторные измерения, методика.

Вводные положения для разработки методики ЛКПД. Методикой ЛКПД предусматривается одновременная ЛТИК-съемка от одного до трех Д с трех попарно базообразующих ИП [1-2] (рис. 1).

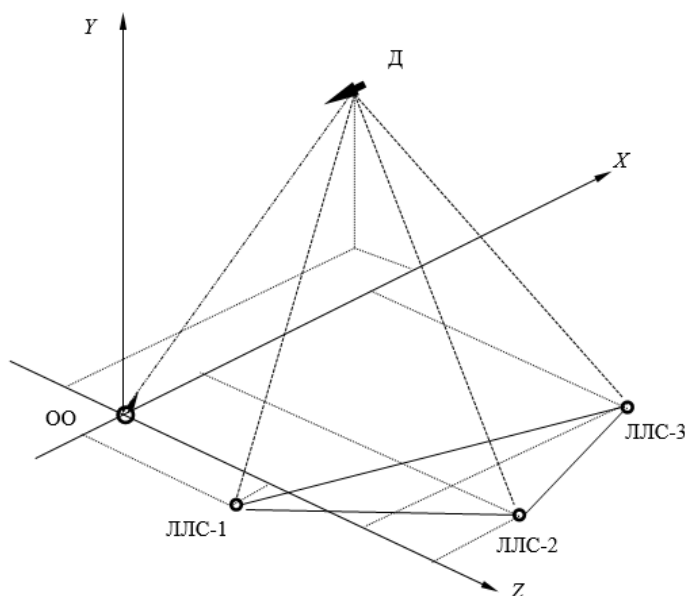


Рис. 1 – Схема лазерного контроля подлета дронов:
ОО – охраняемый объект; Д – дрон

Информация, полученная от меньшего количества ЛЛС не обеспечивает отождествления изображений дронов, от большего – не требуется. Ещё одно обязательное условие: нельзя располагать ЛЛС на одной линии, их измерительные базы должны образовывать треугольник для Д с трех попарно базообразующих ЛЛС (рис. 1).

Операторы ЛЛС и система слежения сопровождают Д, стремясь удерживать ее в центре поля зрения локатора. Практика свидетельствует о малой вероятности срыва сопровождения Д ввиду низких угловых скоростей. Однако для повышения надежности получения траекторных измерений, которая, кроме устойчивости сопровождения, зависит и ещё от ряда факторов, например, турбулентности или помехового объекта, целесообразно применить хотя бы однократное резервирование ЛТИК. Таким образом, в минимальный состав ЛТИК для ЛКПД должно быть включено шесть ЛЛС, расположенных по два на трех позициях.

Слежение ведется в импульсном режиме с частотой до 100 Гц. Отраженные от Д сигнал попадает в поле зрения каждого из ЛЛС и регистрируются в памяти ПЗС. При этом геометрические параметры ситуационной схемы должны быть рассчитаны так, чтобы в любой момент съёмки в поле зрения каждого ЛЛС находилась не более трех Д, чем облегчается процесс идентификации пеленгов каждого из них.

По соображениям безопасности расчетов, ЛТИК располагаются за границами ОО.

Не следует ставить ЛТИК вблизи ОО, так как в этом случае одновременно в поле зрения ЛЛС будут находиться все Д, практически не разнесенные в пространстве, что существенно осложнит дешифрирование видеоряда и последующую обработку информации. Достаточно иметь совместное изображение каждого Д на пятидесяти кадрах видеоряда, что будет говорить о его траектории за 0,5 с.

Вообще говоря, можно построить множество вариантов схемы ЛТИК для ЛКПД, удовлетворяющих изложенным выше требованиям. Но это множество должно удовлетворять ещё одному условию: ни один из ЛТИК не может быть выдвинут (в сторону траектории Д) за ближнюю границу возможного поражения Д самого ЛТИК.

С целью обеспечения достоверности конечных результатов ЛКТД – траектории подлета – используется априорная информация для выявления и восстановления искаженных грубыми ошибками числовых значений отдельных измерений.

Следует подчеркнуть, что появление подобной методики стало возможным благодаря наличию современной вычислительной техники и что аппаратной поддержкой методики служит не просто измерительный, а измерительно-вычислительный комплекс (ИВК). Центральной частью методики является алгоритм идентификации и обработки результатов ЛТИК-измерений, реализованный в специальное программное обеспечение.

Первоначальный вариант методики [3-8] отрабатывался на экспериментальных данных – измерениях с помощью видеокамер КЛТ-100 координат аэроупругих систем. Это позволило убедиться в работоспособности методики, учесть нюансы ЛТИК-измерений и избежать выдачи опрометчивых рекомендаций.

Оценка координат дрона. Пусть угловые координаты β_{Mi} , ε_{Mi} определяют направление линии визирования i -го ЛЛС на цель (Д). Для получения по результатам измерений нескольких ЛЛС наиболее вероятных оценок координат Д в декартовой прямоугольной системе необходимо найти такую точку (x_0, y_0, z_0) , взвешенная сумма квадратов расстояний до которой, от всех линий визирования минимальна.

Если от угловых координат Д β_{Mi} , ε_{Mi} перейти к направляющим косинусам $l_i = \cos \varepsilon_{Mi} \cdot \cos \beta_{Mi}$, $m_i = \sin \varepsilon_{Mi}$, $n_i = \cos \varepsilon_{Mi} \cdot \sin \beta_{Mi}$, то можно записать в канонической форме уравнения линии визирования Д с i -го ЛЛС

$$\frac{x - x_i}{l_i} = \frac{y - y_i}{m_i} = \frac{z - z_i}{n_i}, \quad (1)$$

где x_i , y_i , z_i – координаты i -го ЛЛС (в данном частном случае $i=1, 2, 3$).

Расстояние δ_{0i} от точки (x_0, y_0, z_0) до прямой (1) определяется выражением

$$\delta_{0i}^2 = [(x_0 - x_i)m_i - (y_0 - y_i)l_i]^2 + [(y_0 - y_i)n_i - (z_0 - z_i)m_i]^2 + [(z_0 - z_i)l_i - (x_0 - x_i)n_i]^2.$$

Из условия метода наименьших квадратов $S = \sum_{i=1}^3 p_i \delta_{0i}^2 \rightarrow \min$, где p_i – весовой коэффициент, следует

$$\frac{\partial S}{\partial x_0} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial y_0} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial z_0} = 0. \quad (2)$$

Система (2) после взятия частных производных и приведения подобных членов представляет собой систему уравнений третьего порядка

$$A_{33} \cdot X_{31} = B_{31} \quad (3)$$

относительно вектора неизвестных $X^T = [x_0 y_0 z_0]$.

Коэффициенты и свободные члены уравнений (3) вычисляются по формулам (4)

$$a_{11} = \sum_{i=1}^3 p_i (1 - l_i^2); \quad a_{12} = a_{21} = - \sum_{i=1}^3 p_i l_i m_i; \quad a_{22} = \sum_{i=1}^3 p_i (1 - m_i^2); \quad a_{13} = a_{31} = - \sum_{i=1}^3 p_i l_i n_i; \\ a_{33} = \sum_{i=1}^3 p_i (1 - n_i^2); \quad a_{23} = a_{32} = - \sum_{i=1}^3 p_i m_i n_i; \quad (4)$$

$$b_1 = \sum_{i=1}^3 p_i [(1 - l_i^2)x_i - l_i m_i y_i - l_i n_i z_i];$$

$$b_2 = \sum_{i=1}^3 p_i [-l_i m_i x_i + (1 - m_i^2)y_i - m_i n_i z_i]; \quad b_3 = \sum_{i=1}^3 p_i [-l_i n_i x_i - m_i n_i y_i - (1 - n_i^2)z_i].$$

Входящий в выражения (4) весовой коэффициент p_i зависит не только от дисперсий ошибок измерений углов β_{Mi} и ε_{Mi} , но также от дальности до Д и поэтому не может быть определен заранее. В первом приближении он принимается равным единице и уточняется из выражения

$$p_i = \frac{1}{d_i^2 [\sigma_{\varepsilon_{Mi}}^2 + (1 - m_i^2) \sigma_{\beta_{Mi}}^2]}$$

после решения системы уравнений (3).

Затем вычисляются коэффициенты (4) с учетом уточненных весов $p_i (i = 1, 2, 3)$ и вновь решается система (3). Итерационный процесс прерывается, когда координаты Д, вычисленные в двух последовательных приближениях, становятся ε -неразличимыми.

Выводы. В результате проведенных исследований разработана принципиально новая методика ЛКПД, которая может быть использована в разрабатываемых перспективных ЛТИК на базе телевизионных камер. Для решения задачи совершенствования структуры ЛТИК разработан вариант ЛЛС, использующего преимущества современных телевизионных технологий и технологий автоматизированного сбора и обработки информации, который позволяет значительно повысить эффективность траекторных измерений за счет выигрыша по времени регистрации объектов, автоматического ввода информации в ЭВМ и методик ее обработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках программы «Приоритет 2030».

Список литературы

1. *Molebny V. et al.* Laser radar: historical prospective – from the East to the West // Opt. Eng. 2016. V. 56. № 3. P. 031220.
2. Малашин М.С., Каминский Р.П., Борисов Ю.Б. Основы проектирования лазерных локационных систем. М.: Высшая школа, 1983. 207 с.
3. Васильев С.В. и др. Перспективные методы и средства траекторных измерений. Казань: Новое знание, 2005. 128 с.
4. Ефимов В.О. и др. Оптическая рефракция и модельные методы учета ее влияния на характеристики дальномерного тракта лазерного локатора слежения // Инженерный вестник Дона. 2017. №3 (46). С. 20.
5. Ефимов В.О. и др. Дисперсионный метод учета статической и динамической рефракции для дальномерного тракта лазерного локатора слежения // Инженерный вестник Дона. 2017. №3 (46). С. 21.
6. Ефимов В.О. и др. Методы компенсации влияния атмосферной турбулентности на точность измерения угловых координат в лазерных локаторах слежения // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. №4. С. 69-71.
7. Васильев С.В. и др. Математические методы идентификации пеленгов беспилотных летательных аппаратов в группе // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4 (47). С. 64.
8. Васильев С.В. и др. Исследование математических методов идентификации пеленгов беспилотных летательных аппаратов в группе // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4 (47). С. 65.

2.3.1. (05.13.01)

И.Ф. Нафиков, И.И. Нуреев, С.В. Васильев, А.Н. Пикулев, Н.В. Дорогов

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
Институт радиоэлектроники, фотоники и цифровых технологий,
кафедра радиопотоники и микроволновых технологий,
Казань, OGMorozov@kai.ru

**ЛАЗЕРНЫЕ СРЕДСТВА КАК ОСНОВА ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
ПОЛЕТА ДРОНОВ**

Основной задачей траекторных измерений (ТИ) является определение пространственно-временных характеристик дронов (Д) на этапе их подлета к охраняемому объекту и переходу в фазу активного воздействия на него. Анализ возможностей экспериментально-испытательных баз полигонов и степени их соответствия задачам испытаний показывает, что существующие штатные средства измерений и программно-методическое обеспечение не решают весь спектр указанных задач ТИ. В этих условиях из-за отсутствия современных специализированных средств проведение измерений превращается в сложную научно-техническую задачу создания нового методического и программно-математического обеспечения. Рассматривая перечисленные выше задачи определения пространственно-временных характеристик Д на этапе его подлета и активации, необходимо выделить ранее нерешенные задачи организации измерений: создание оптимальных схем размещения средств ТИ на территории полигона; регистрация Д во всем диапазоне высот; регистрация момента активации; получение изображения Д; оценка координат Д; определение углового положения Д в момент активации. Таким образом, возникает задача создания измерительных схем и математического аппарата, отвечающих задачам ТИ.

Ключевые слова: лазерный контроль подлета дронов; лазерный теодолитный измерительный комплекс; лазерный локатор слежения; дрон; траекторные измерения, требования.

Введение. Определение углов нутации и прецессии для малоразмерных объектов, таких как Д, современными средствами измерений не решается. Многочисленные разработки промышленности не принесли реального, воплощенного в образцы, результата, отвечающего массово-габаритным и точностным характеристикам. В настоящее время такие характеристики могут быть оценены лишь опосредованно. Например, определив координаты Д в момент активации и координаты соответствующей точки этого воздействия на земле, можно оценить угол между вертикалью и продольной осью Д. Получение изображения Д возможно с помощью только длиннофокусных оптических средств.

Одним из наиболее сложных, не решенных в настоящее время, вопросов является оценка пространственных координат элементов сложной баллистической малоразмерной цели по результатам измерений оптическими средствами. Для его решения предлагается использовать оптические методы, которые в определенных условиях могут давать приемлемые результаты [1-3]. К таким условиям можно отнести рациональный состав измерительных средств, размещение измерительных пунктов и рациональную организацию совместного процесса измерения, а также способы дополнительной обработки полученной информации.

Оптические угломерные средства измерений и анализ возможности их применения для ТИ дронов. Задача определения параметров траекторий нескольких Д с точки зрения проведения ТИ во многом аналогична задаче идентифицировать пеленги множества объектов, полученные с трех измерительных пунктов оптическими средствами.

ТИ являются ответственным этапом полигонных испытаний. Для оценки параметров взаимного положения Д на полигонах наряду с видеотелескопами широко используют видеотеодолиты. Применяемые при этом методики будут справедливы, если Д облучать импульсным излучением.

Наличие одинаковых изображений двух и более Д на синхронных кадрах видеофильмов ставит задачу идентификации изображений, решение которой пока не найдено. Хотя существуют алгоритмы для одиночных Д, которые в достаточной мере универсальны, само по себе их использование ещё не решает всех проблем, возникающих при внедрении видеотеодолитного контроля множества Д. К числу таких проблем следует отнести: проектирование лазерного теодолитного измерительного комплекса (ЛТИК), включающее выбор типа средства измерения (СИ), обоснование необходимого количества СИ и разработку схемы их расположения; обеспечение автоматизированной проверки результатов ТИ на достоверность и устранение ошибок; повышение надёжности процесса идентификации пеленгов; повышение точности конечных результатов обработки измерений за счет выявления и устранения систематических погрешностей пеленгации; разработку рекомендаций по совершенствованию технологии дешифрирования распознавания изображений; максимальное использование априорной информации при обработке измерений.

Таким образом, поиск путей повышения эффективности ТИ однотипных Д в группе необходимо искать на основе подробного анализа современных и перспективных методов и средств для проведения указанных измерений для любого класса объектов, наиболее перспективными из которых являются лазерные СИ.

Лазерные теодолитные измерительные комплексы. Система ТИ в районе охраняемого объекта (ОО) должна состоять из 3 СИ, расположенных по углам треугольника (в идеале – равностороннего) и оснащенных лазерными локаторами слежения (ЛЛС). Для обеспечения перекрытия пространства возможного полета Д потребуется разместить на каждом СИ, в зависимости от точности доставки Д в точку активации, от одного до трёх ЛЛС (рис. 1). Предлагаемый ЛТИК работоспособен при эффективной площади рассеяния Д, достаточной для ПЗС регистрации.

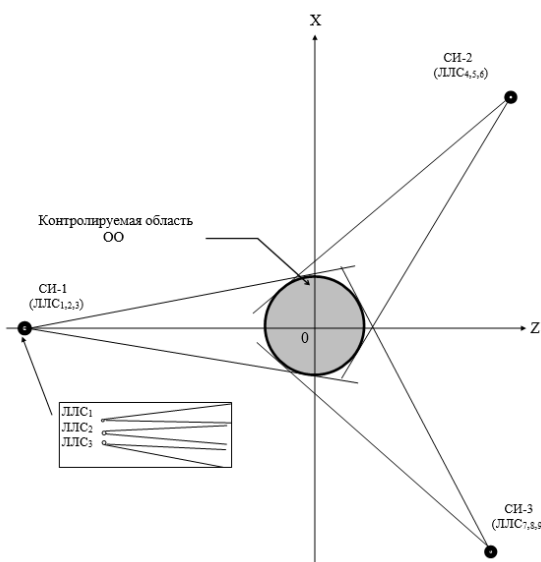


Рис. 1 – Структурная схема ЛТИК

Необходимо обеспечить синхронную видеосъемку заданной области пространства со всех трех СИ. Регистрацию объектов целесообразно проводить на неподвижную ПЗС. При дешифровке изображения Д должны быть присвоены произвольные номера, которые необходимо сохранить для всей трассы. Измерения должны быть подвергнуты предварительной математической обработке, а именно [4-8]: измерения всех трех СИ должны быть приведены к единой нормальной земной системе координат; измерения

должны быть сведены к единому времени; в измерения должны быть введены все необходимые поправки; из измерений должны быть исключены грубые ошибки.

Технология предварительной обработки траекторной информации СИ до получения в функции времени угловых координат объектов в некоторой единой нормальной земной системе координат достаточно хорошо отработана. Не менее хорошо разработаны и освоены программные алгоритмы оценки параметров траектории объекта по измеренным с 2–3 СИ его угловым координатам.

Для создания СИ как для лазерного контроля траекторий, так и определения точек активации могут быть использованы оптические средства, характеристики которых приведены в табл. 1 [9].

Таблица 1 – Оптико-электронные и лазерные средства ТИ

Оптические средства для траекторных измерений групп однотипных объектов	Характеристики измерительной аппаратуры, реализующей метод								
	Метрологические			Технические			Экономические		
	Частота съемки	Точность	Дальность	Фокусное расстояние	Слежение	Массо-габариты	Стоимость	Использование	Персонал
ТТ «КОНТУР-Т»	25	15"	–	300	Р	+	+	+	–
ФРС «РЕДАН»	4	15"	–	350	Р/ПА	+	+	+	–
КФТ 10/20	10/20	15"	+	1200	Р	–	+	+	–
ОЭС «ВИОЛА»	25/244	5"	+	1700/3400	А/ПА	–	–	–	+
ВКТТ «ВИСМУТИН»	25	10"	+	1500	А/ПА	–	–	–	+
ЛТТ «КАСКАД»	25/150	15"	+	1000	А/ПА	+	+	–	+

Выводы. Создание измерительных комплексов возможно на базе кинофототеодолитов и более современных телевизионных теодолитов. При этом основным фактором, ограничивающим их использование, является стоимость разработки и внедрения. Решение может быть найдено двумя путями. Существенный акцент может быть сделан на разработке и создании нового прикладного программного обеспечения и его включения в структуру штатных измерительных комплексов. Второй путь заключается на разработке и создании недорогих мобильных телевизионных теодолитов, способных решать поставленные задачи. Вероятность их создания очень высока и опирается на существенный прогресс в области ПЗС- и КМОП-матриц телевизионных передающих камер, обеспечивающих высокую равномерность коэффициента квантовой эффективности пикселей, высокую чувствительность и частоту кадрирования. На сегодняшний день квантовая физика стала инженерной наукой; по всему миру уже осваивают технологии создания систем, допускающих управление как состояниями отдельных квантовых объектов, так и связей между ними. Для решения задач ТИ необходимо проанализировать технологию квантовой иллюминации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках программы «Приоритет 2030».

Список литературы

1. Малашин М.С., Каминский Р.П., Борисов Ю.Б. Основы проектирования лазерных локационных систем. М.: Высшая школа, 1983. 207 с.
2. Васильев С.В. и др. Перспективные методы и средства траекторных измерений. Казань: Новое знание, 2005. 128 с.
3. Molebny V. et al. Laser radar: historical prospective – from the East to the West // Opt. Eng. 2016. V. 56. № 3. P. 031220.
4. Ефимов В.О. и др. Оптическая рефракция и модельные методы учета ее влияния на характеристики дальномерного тракта лазерного локатора слежения // Инженерный вестник Дона. 2017. №3 (46). С. 20.
5. Ефимов В.О. и др. Дисперсионный метод учета статической и динамической рефракции для дальномерного тракта лазерного локатора слежения // Инженерный вестник Дона. 2017. №3 (46). С. 21.
6. Ефимов В.О. и др. Методы компенсации влияния атмосферной турбулентности на точность измерения угловых координат в лазерных локаторах слежения // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. №4. С. 69-71.
7. Васильев С.В. и др. Математические методы идентификации пеленгов беспилотных летательных аппаратов в группе // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4 (47). С. 64.
8. Васильев С.В. и др. Исследование математических методов идентификации пеленгов беспилотных летательных аппаратов в группе // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4 (47). С. 65.
9. Додонов А.Г., Пуятин В.Г. Наземные оптические, оптико-электронные и лазерно-телевизионные средства траекторных измерений // Математические системы и машины. 2017. № 4. С. 30-56.

2.3.1. (05.13.01)

А.С. Полянина канд. техн. наук

Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
институт цифровых технологий и моделирования в строительстве,
кафедра высшей математики,
Москва, A.S.Churzina@mail.ru

**СИНТЕЗ УСТОЙЧИВОГО ДВИЖЕНИЯ В СТРУКТУРНОЙ СХЕМЕ ЭЛЕМЕНТОВ
УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩИМИ РОБОТАМИ**

В работе рассматриваются структурные схемы управления движением шагающей машины с использованием в генерации программных траекторий управления по отклонению и нелинейных регуляторов автоколебательного типа с блоком расчета кинематических параметров привода методом обратной задачи. Для возможности численного решения системы в математическую модель включают множители Лагранжа. Ее решением являются программные траектории координат точек шагающей машины.

Ключевые слова: управление, устойчивость, программная траектория, шагающий робот.

Введение

Разработка способов управления шагающими роботами является актуальной для решения современных технических задач. При построении динамической модели робототехнической системы должны учитываться кинематические характеристики, параметры движения звеньев системы, силы, моменты, действующие в сочленениях. Вывод уравнений движения многотельных систем может основываться на законах лагранжевой механики. В результате получаются нелинейные дифференциальные уравнения второго порядка, которые определяют скорость, ускорение движения, и силы, действующие на звенья, моменты, которые должны быть созданы силовыми приводами для выполнения движения по заданной траектории [1].

В работе рассматриваются динамические характеристики движения шагающего робота методами математического моделирования.

Структурная схема системы управления

Многомерная система управляемой динамики определяет движения корпуса шагающего робота, содержит уравнения, задающие закон перемещения опорных точек шагающих движителей и уравнения, стабилизирующие положение робота: $\mathbf{D}_{w_b} \ddot{\mathbf{x}} = \ddot{\mathbf{w}}_b$, $\mathbf{D}_{w_f} \ddot{\mathbf{x}} = \ddot{\mathbf{w}}_f$,

$$\mathbf{D}_{w_s} \ddot{\mathbf{x}} = \ddot{\mathbf{w}}_s.$$

Точки корпуса робота двигаются по предписанной траектории, заданной функцией $\mathbf{w}_b$; функция $\mathbf{w}_f$ определяет перемещение шагающих движителей, $\mathbf{w}_s$ – перемещение некоторых вспомогательных точек, которые входят в дополнительные уравнения связей.

Функция $\mathbf{w}_b$ определяет пространственное перемещение корпуса, ее параметры используются для управления шаганием посредством органов управления. По кинематическим параметрам характерных точек корпуса, в частности, точек крепления шагающего движителя к корпусу, функцией $\mathbf{w}_f$ задается движение точек шагового движителя.

Для планирования параметров шага необходимо, чтобы функция $\mathbf{w}_f$ зависела от $\mathbf{w}_b$ [2].

Динамическую модель шагающего робота получают из дифференциально-алгебраических уравнений вида

$$\begin{cases} \mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{D}^T \mathbf{p} + \mathbf{D}_w \mathbf{p}_w = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}, t), \\ \mathbf{D}\ddot{\mathbf{x}} = \mathbf{h}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}), \\ \mathbf{D}_w \ddot{\mathbf{x}} = \ddot{\mathbf{w}}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}), \end{cases} \quad (1)$$

где $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ – вектор обобщенных координат системы, $\mathbf{M}$ – матрица инерции, $\mathbf{D}$ – матрица, составленная из коэффициентов уравнений связей от кинематических пар, $\mathbf{D}_w$ – матрица, составленная из коэффициентов уравнений связей точек, движение которых задано функциями $\mathbf{w}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$; вектор $\mathbf{f}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}, t)$ задает внешние, внутренние силы, вектор $\mathbf{h}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$ – правые части уравнений связей, $\mathbf{p}$ и $\mathbf{p}_w$ – векторы множителей Лагранжа, соответствующие кинематическим парам и связям с заданными программными траекториями $\mathbf{w}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$; $\ddot{\mathbf{w}}(t)$ – вектор вторых производных программного движения управляемых точек; произведение $\mathbf{D}_w \mathbf{p}_w$ можно считать управляющей функцией [3].

Решение системы для нетривиальных случаев возможно только в численном виде. Для такого численного решения используются специальные программы моделирования динамики связанных систем тел.

Структура системы управления шагающим приводом по отклонению приведена на рисунке 1.

В качестве структуры схемы управления применяется схема метода обратной задачи [4]. Элементом управления является генератор программных движений шагающей машины, обеспечивающий устойчивость траектории движителя. Сложной остается проблема устойчивости управления по отклонению для программной траектории. Программные траектории $\mathbf{w}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$ в основном задаются кусочно-непрерывными функциями, что ухудшает качество управления.

В точках разрыва происходят скачки управляющих сил. Чтобы обеспечить устойчивость системы, вводят дополнительное управление по отклонению.

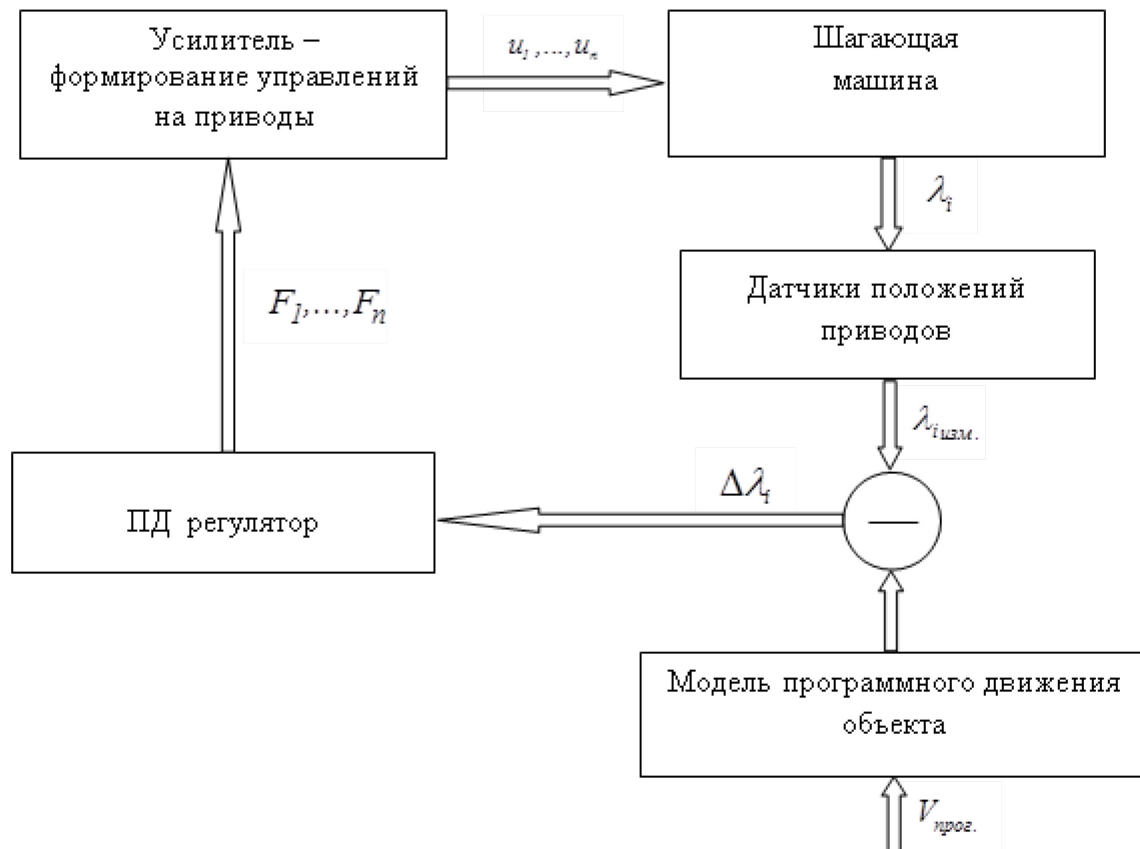


Рис. 1 – Схема управления по отклонению

Силы в приводах определяют через разницу между программным и измеренным значениями смещения $\lambda_i(t)$ звена привода:

$$u_i(t) = c_i \lambda_i(t) + p_i \dot{\lambda}_i(t) \quad (2)$$

где c_i, p_i – коэффициенты пропорционально-дифференциального регулятора (ПД - регулятора). Использование управления по отклонению (2) не гарантирует устойчивость системы (1), поскольку функции управления зависят от существенно - нелинейных выражений.

Структурная схема системы, реализующей движение шагающего привода с помощью генератора автоколебаний, представлена на рисунке 2.

Здесь V - действительная продольная скорость машины, $V_{изм.}$ - измеренная скорость, $V_{прог.}$ - программная скорость, A_x, A_y, T - размах траектории шага по x, y и период шага, x, y - текущие координаты характерной точки стопы, $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ - кинематические параметры привода – смещения, n – число приводов, $F_1, \dots, F_n$ - силы в приводах, $U_1, \dots, U_n$ - управляющие сигналы на приводы.

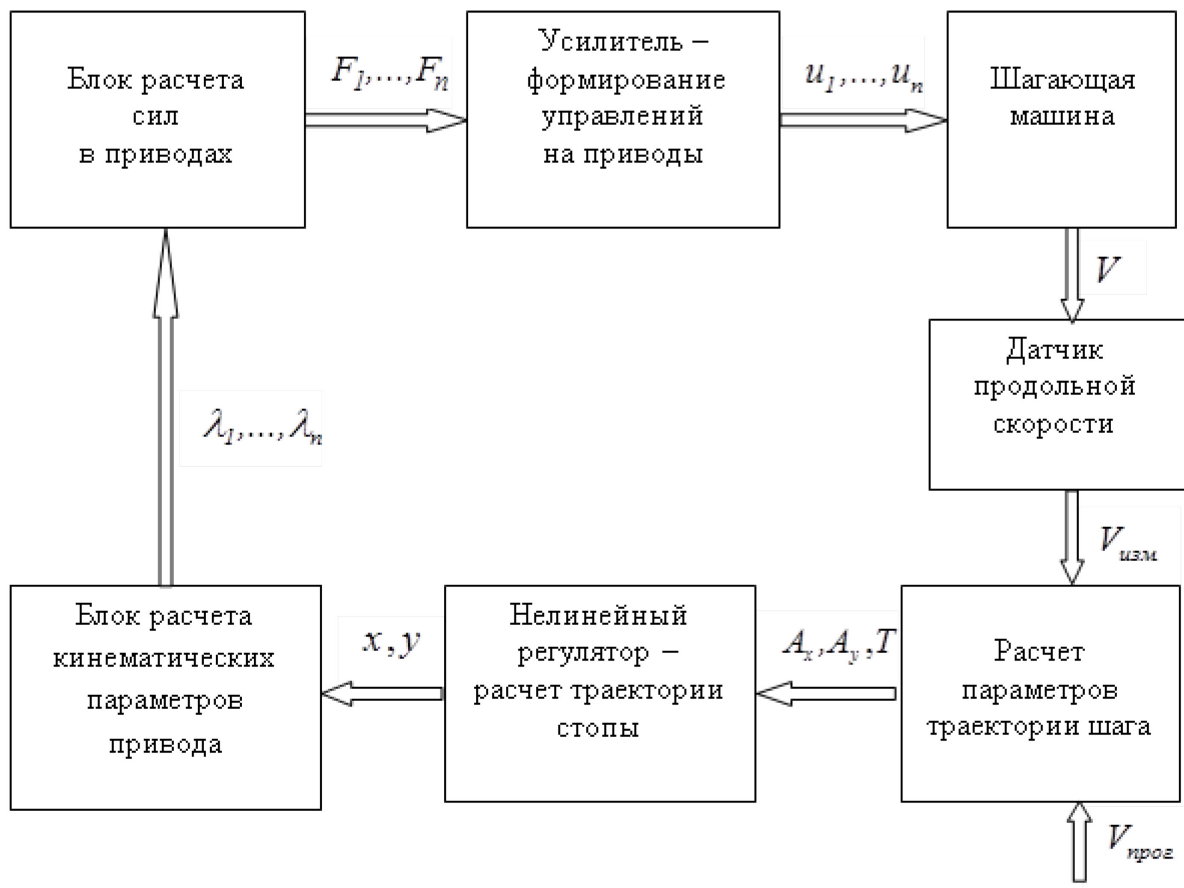


Рис. 2 – Схема управления с использованием генератора автоколебаний

Вычислитель, выполненный на базе персонального компьютера, осуществляет численное интегрирование уравнений динамики управляемого объекта совместно с уравнениями генераторов автоколебаний. Для формирования и численного интегрирования уравнений динамики используется инвариантная система моделирования. В численную модель передаются измеренные координаты точки на стопе шагающего привода, которые, на каждом шаге дискретизации, используются в качестве начальных условий для соответствующих координат уравнений генераторов автоколебаний. При решении уравнений определяются значения кинематических параметров движения всей машины и каждого привода, в частности, относительного хода и скорости привода, по которым, методом обратной задачи находятся управляющие силы в приводах.

Величины управляющих сил из вычислителя, подаются на управляющий блок, в котором формируются сигналы на приводы [3]. Эксперимент, результаты которого подтвердили эффективность применения схемы управления с использованием генератора автоколебаний, был проведен на примере моделирования движения робота AR600 (рис. 3) в программном комплексе ФРУНД [5].

Заключение

В схеме синтеза заданной траектории движения шагающей машины с помощью асимптотически устойчивых генераторов автоколебаний измеренные управляемые координаты используются только в качестве начальных условий для некоторых переменных уравнений генератора, а устойчивость обеспечивается за счет свойств генератора автоколебаний.

Список литературы

1. Фу К., Гонсалес Р., Лу К. Робототехника. М.: Мир, 1989. 622 с.
2. Gorobtsov A., Ryzhov E., Polyamina A., Andreev A., Kohtashvili N. The Control System Structure for the Stable Biped Robot Motion. Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. Second Conference, CIT&DS 2017 (Volgograd, Russia, September 12-14, 2017) : Proceedings (Ser. Communications in Computer and Information Science). - Germany: Springer International Publishing AG. 2017. vol. 754. P. 231-241.
3. Горобцов А.С., Андреев А.Е., Марков А.Е., Скориков А.В., Тарасов П.С. Особенности решения уравнений метода обратной задачи для синтеза устойчивого управляемого движения шагающих роботов // Труды СПИИРАН. 2019. № 18(1). С.85-122.
4. Yang U.J., Kim, J.Y. Mechanical design of powered prosthetic leg and walking pattern generation based on motion capture data. Advanced Robotics. 2015. vol. 29. no. 16. P. 1061-1079.
5. <http://frund.vstu.ru/tag/robot/>

2.3.1. (05.13.01)

Р.Р. Раупов, В.В. Афанасьев

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
Институт радиоэлектроники, фотоники и цифровых технологий,
Кафедра электронных и квантовых средств передачи информации,
Казань, 89172662137rrt@gmail.com, nsdx@yandex.ru

**ШУМОВАЯ МАСКИРОВКА ФАЗОВОЙ МАНИПУЛЯЦИИ СИГНАЛАМИ
МНОГОЛЕПЕСТКОВЫХ ДИСКРЕТНО-НЕЛИНЕЙНЫХ JERK СИСТЕМ**

В работе проведено исследование фильтров селективного режекторирования для избирательного подавления псевдослучайных маскирующих сигналов, генерируемых многолепестковой дискретно-нелинейной Jerk системой. Исследованы зависимости коэффициентов селективного подавления на выходе режекторных фильтров от нормированного числа отсчетов сигналов, выполнена оценка достоверности выделения маскируемых информационных сигналов.

Ключевые слова: динамический хаос, многолепестковая Jerk система, селективное подавление, функционально-режекторный фильтр.

При построении современных систем конфиденциальной передачи информации с хаотической маскировкой на эффектах динамического хаоса, для выделения полезных сигналов необходимо обеспечить подавление псевдослучайных маскирующих сигналов в условиях действия помех и шумов. В системах с хаотической маскировкой эффективно использование метода селективного подавления сигналов функционально-режекторными фильтрами [1]. Использование многолепестковых систем в качестве генераторов псевдослучайных сигналов в современных системах связи с динамическим хаосом позволяет обеспечить более высокий уровень конфиденциальности и защищенности передаваемой информации [2].

Цель работы – исследование селективного подавления функционально-режекторными фильтрами маскирующих сигналов многолепестковой дискретно-нелинейной Jerk системы с динамическим хаосом, а также обоснование рекомендаций по выбору структуры функционально-режекторных фильтров при передаче фазо-манипулированных сигналов (ФМн).

Функционально-режекторные фильтры (ФРФ) селективного подавления, синтезируемые по принципу двухканальности теории инвариантности, могут быть реализованы на базе интегро-дифференцирующих устройств и перемножителей сигналов. Режекторный фильтр 3-Д компонент псевдослучайных сигналов, генерируемых дискретно-нелинейными системами с хаотической динамикой, представляет собой трехканальный цифровой фильтр, каналы которого обеспечивают селективное подавление соответствующей маскирующей компоненты [1].

Псевдослучайные маскирующие сигналы предлагается формировать при помощи управляемой многолепестковой дискретно-нелинейной Jerk системы. Один из широко используемых вариантов реализации системы Jerk описывается системой уравнений [2]:

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = z \\ \dot{z} = -x - y - az + f(x), \end{cases}$$

где x, y, z – переменные системы; a – параметр, определяющий режим работы системы; $f(x)$ – нелинейная функция, определяющая количество спиралей в фазовом пространстве исследуемой динамической системы.

Численное решение нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих динамику многолепестковой системы Jerk, проводилось методом Рунге-Кутты 4-ого порядка с варьируемой величиной относительного шага временной дискретизации, нормированного к периоду квазирезонансных колебаний в системе.

Сигнал, поступающий на вход ФРФ, представляет собой аддитивную смесь полезного информационного сигнала и псевдослучайного маскирующего сигнала, а также действующих шумов и помех. В качестве полезного информационного ФМн сигнала в работе рассмотрен сигнал с двоичной фазовой манипуляцией (BPSK).

Селективное подавление компонент $U_{inx}(t)$, $U_{iny}(t)$, $U_{inz}(t)$ сигналов многолепестковой системы Jerk режекторным фильтром на основе дифференцирования выполняется согласно:

$$\begin{cases} U_{outx_d}(t) = \frac{dU_{inx}(t)}{dt} - U_{iny}(t) \\ U_{outy_d}(t) = \frac{dU_{iny}(t)}{dt} - U_{inz}(t) \\ U_{outz_d}(t) = \frac{dU_{inz}(t)}{dt} - (-U_{inx}(t) - U_{iny}(t) - a \cdot U_{inz}(t) + f(U_{inx}(t))), \end{cases}$$

где: $U_{inx}(t)$, $U_{iny}(t)$, $U_{inz}(t)$ – X, Y, Z компоненты входного 3-D сигнала; $U_{outx_d}(t)$, $U_{outy_d}(t)$, $U_{outz_d}(t)$ – сигналы на выходе режекторного фильтра 3-D сигналов с дифференцированием.

Селективное подавление компонент $U_{inx}(t)$, $U_{iny}(t)$, $U_{inz}(t)$ сигналов многолепестковой системы Jerk режекторным фильтром на основе интегрирования выполняется согласно:

$$\begin{cases} U_{outx_i}(t) = \int_0^t U_{iny}(t) dt - U_{inx}(t) \\ U_{outy_i}(t) = \int_0^t U_{inz}(t) dt - U_{iny}(t) \\ U_{outz_i}(t) = \int_0^t (-U_{inx}(t) - U_{iny}(t) - a \cdot U_{inz}(t) + f(U_{inx}(t))) dt - U_{inz}(t), \end{cases}$$

где: $U_{inx}(t)$, $U_{iny}(t)$, $U_{inz}(t)$ – X, Y, Z компоненты входного 3-D сигнала; $U_{outx_i}(t)$, $U_{outy_i}(t)$, $U_{outz_i}(t)$ – сигналы на выходе режекторного фильтра 3-D сигналов с интегрированием.

Моделирование предлагаемых фильтров селективного подавления сигналов системы Jerk выполнено в программной среде Matlab [3]. В работе проведена оценка достоверности выделения информационных BPSK сигналов, при шумовом маскировании псевдослучайными сигналами Jerk системы. Оценены изменения вероятностей правильного определения моментов коммутации фазы маскируемых BPSK сигналов по выходным сигналам ФРФ, при изменении сигнально-помеховой обстановки.

В таблице 1 приведены полученные зависимости от величины отношения с/ш вероятностей W правильного определения временных моментов переключения фазы по выходным сигналам режекторных фильтров, построенных на основе дифференцирования (ФРФ1) и интегрирования (ФРФ2), при применении маскирующих псевдослучайных сигналов многолепестковой системы Jerk.

Таблица 1 – Зависимости W от отношения с/ш

с/ш, дБ	16	17	18	19	20	21	22	23
ФРФ1	0.38	0.57	0.58	0.68	0.8	0.88	0.96	0.97
ФРФ2	0.41	0.78	0.92	0.96	0.98	1	1	1

Установлено, что режекторный фильтр, построенный на основе интегрирования компонент многолепестковой Jerk системы, обеспечивает более высокую вероятность правильного определения временных моментов переключения фазы исходного BPSK

сигнала. Исследование сравнительной эффективности селективного подавления маскирующих сигналов предложенными режекторными фильтрами проводилось путем оценивания коэффициента подавления K_p , определяемого отношением среднеквадратического отклонения (СКО) выходного сигнала к СКО входного сигнала исследуемых ФРФ.

На рис.1 представлены полученные зависимости коэффициентов K_p для сигнальных компонент X, Y, Z многолепестковой системы Jerk, от числа отсчетов N, нормированных к периоду квазирезонансных колебаний в системе для ФРФ на основе интегрирования.

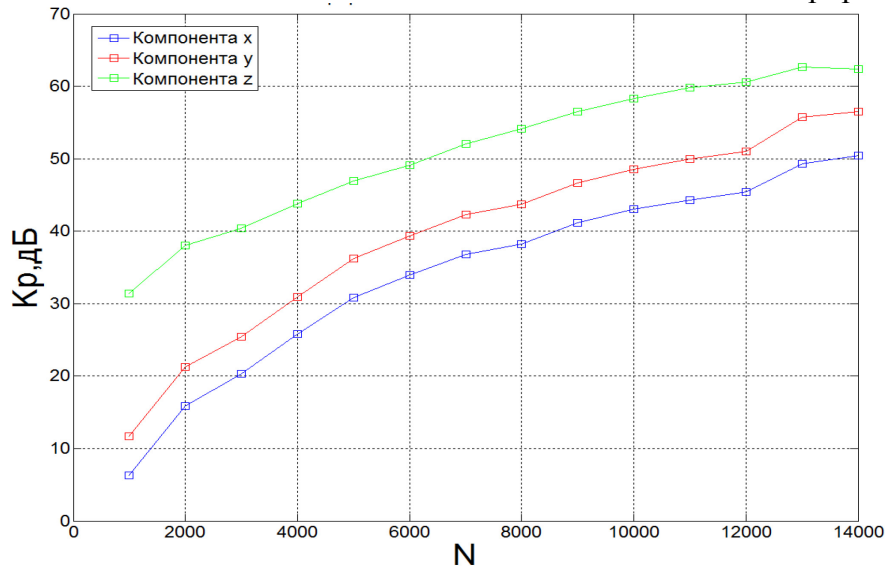


Рис. 1 – Зависимости коэффициентов K_p для компонент X, Y, Z от N.

Установлено, что с увеличением значений N, нормированных к периоду квазирезонансных колебаний, в интервале от 10000 до 14000 относительное увеличение K_p сравнительно невелико. Однако, при этом значимо возрастает объем выполняемых вычислений, требуемых для селективного режектирования маскирующих сигналов, что в результате может привести к снижению быстродействия цифровой системы передачи информации с шумовым маскированием. Проведенное исследование показало, что рекомендуемый диапазон значений N составляет от 5000 до 7000 при шумовой маскировке BPSK сигналами системы Jerk. Установлено, что лучшее подавление маскирующих сигналов наблюдается при построении ФРФ на основе интегрирования сигнальной компоненты Z многолепестковой системы Jerk. В этом случае, в рекомендуемом интервале значений N коэффициент подавления K_p маскирующего сигнала составляет не менее 52 дБ.

Таким образом, разработаны средства избирательного режектирования функционально-режекторными фильтрами маскирующих сигналов дискретно-нелинейной многолепестковой системы Jerk, сопоставлена эффективность двух вариантов режекторных фильтров. Показано, что применение функционально-режекторных фильтров с интегрированием сигналов системы Jerk повышает степень подавления маскирующих сигналов и увеличивает достоверность выделения маскируемых информационных BPSK сигналов.

Список литературы

1. Afanasiev V.V., Mardanshin E.R. Nonlinear functional-rejection signals filters / Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SINKHROINFO 2017, article № 7997498.
2. Chunxia L., Jie Y., Xiangchun X., Limin A., Yan Q., Youngqing F. Research on the multi-scroll chaos generation based on Jerk Mode / Procedia Engineering 29, 2012, pp. 957-961.
3. Раупов Р.Р., Афанасьев В.В. Моделирование селективного подавления маскирующих сигналов многолепестковых дискретно-нелинейных систем. // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы 14-й Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2021.- С. 87-88.

2.3.1. (05.13.01)

Л.О. Федосова

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева,
институт промышленных технологий машиностроения,
кафедра автоматизация машиностроения,
Нижний Новгород, fedosovaludmila@list.ru

ПОДГОТОВКА СИНТЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В работе представлен метод формирования синтетических данных о состоянии технического объекта, позволяющий использовать нейросетевые технологии для задачи диагностирования в условиях недостатка реальных данных.

Ключевые слова: *синтетические данные, нейронные сети, диагностирование, Blender.*

На этапе проверки качества изготавливаемой продукции большую роль играет визуально-оптический метод неразрушающего контроля [1]. Данный метод востребован в промышленности и может иметь широкое применение в самых различных производственных задачах, среди которых является обеспечение на входном контроле требуемого уровня качества таких изделий для энергетики как длинномерные трубы малого диаметра.

Требования к контролю задаются в технических условиях для соответствующих труб и не допускают наличие дефектов, таких как вмятины, трещины, риски, ржавчины и др.

На пути внедрения интеллектуальных систем контроля качества поверхности технических объектов в промышленности, стоят две основные проблемы, основанные на использовании теории нейронных сетей:

- недостаточность реальных изображений с дефектами (в том числе размеченных), необходимых для применения методов машинного обучения и решения задачи диагностирования состояния технического объекта т.е. бинарной классификация изображений труб на трубы с дефектами и чистые трубы без дефектов;
- необходимость разработки обоснованной процедуры подтверждения качества работы систем технического зрения, в том числе для регулирующих органов [2].

Одним из подходов к решению данных проблем, является применение трехмерных моделей технических объектов с нанесенными на них параметризованными дефектами. С помощью данных моделей можно создавать выборки размеченных изображений поверхности очень больших объемов, необходимых для обучения нейронных сетей. Кроме того, четкая взаимосвязь размеров и характеристик дефектов с их изображениями, позволяет получить доказательную базу, подтверждающую качество работы систем технического зрения [3,4].

В качестве среды разработки синтетической базы изображений целесообразно использовать профессиональное, свободное и открытое программное обеспечение для создания трёхмерной компьютерной графики Blender, которое обладает встроенными средствами автоматизации.

С целью формирования синтетической выборки методом создания реалистичных 3D моделей, производится отбор наиболее часто встречающихся дефектов, таких как продольная риска, кольцевая риска, вмятина, ржавчина и цвета побежалости.

На первом этапе для формирования синтетических изображений внутренней поверхности трубы с дефектом в среде Blender необходимо создать трехмерную модель трубы, произвести настройку материала трубы, параметров рендеринга и освещения.

Затем производится параметрическое описание дефектов в среде Blender с помощью текстурирования моделей, то есть путем добавления шейдеров к материалу трубы. Сначала добавляются ноды, которые будут являться базой для дефектов, а затем регулируя параметры в нодах, настраиваются дефекты (рис.1).

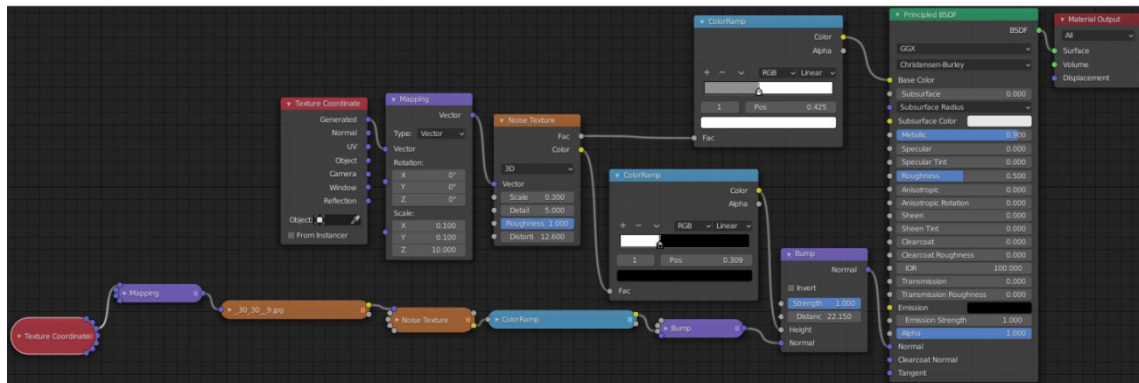


Рис.1 – Результат добавления базовых нод для формирования дефектов в среде Blender

Следующим этапом следует автоматизация процесса генерации обучающей выборки, а именно изображений трубы с дефектом и маски данного изображения.

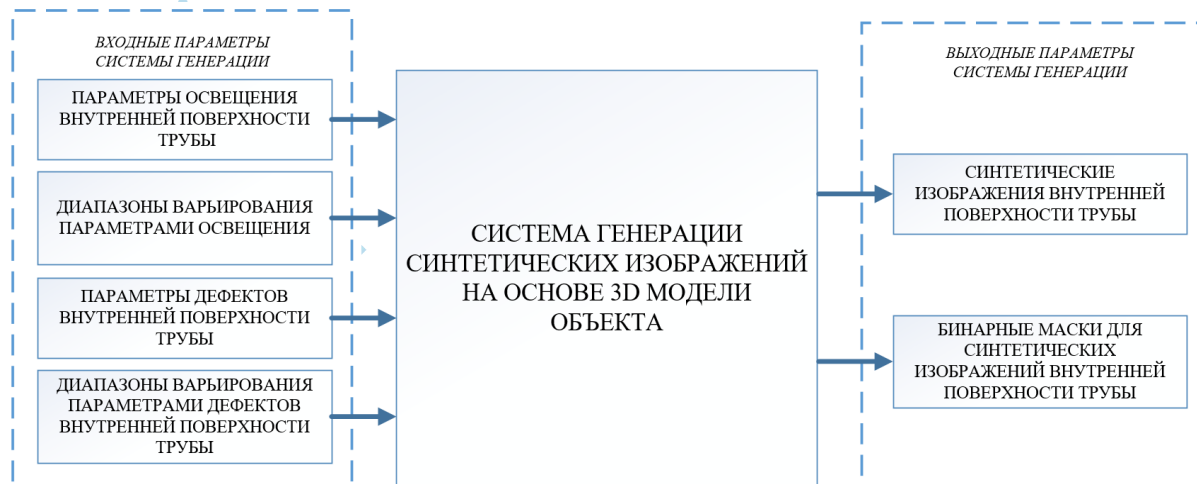


Рис.2 – Входные и выходные параметры системы генерации синтетических данных

В начале создания системы автоматизации генерации синтетических данных задаются входные и выходные параметры (рис.2). На рис.3 и рис.4 представлен алгоритм и интерфейс системы автоматизированной генерации синтетических изображений мы соответственно.

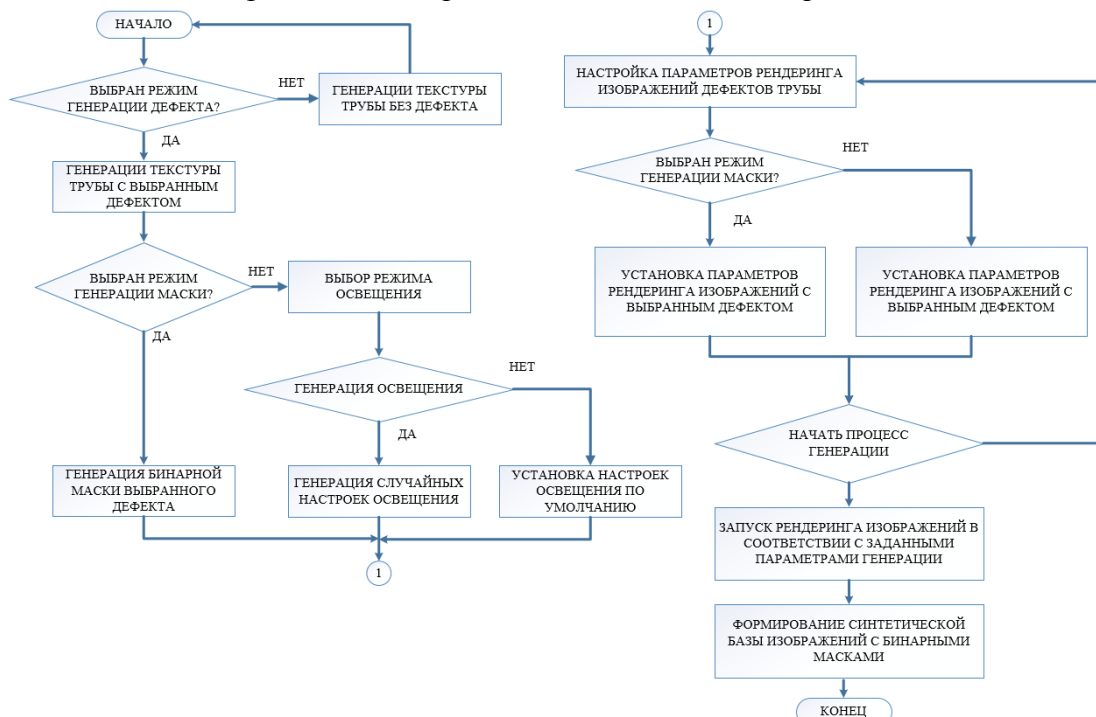


Рис.3 – Алгоритм генерации синтетических изображений внутренней поверхности трубы

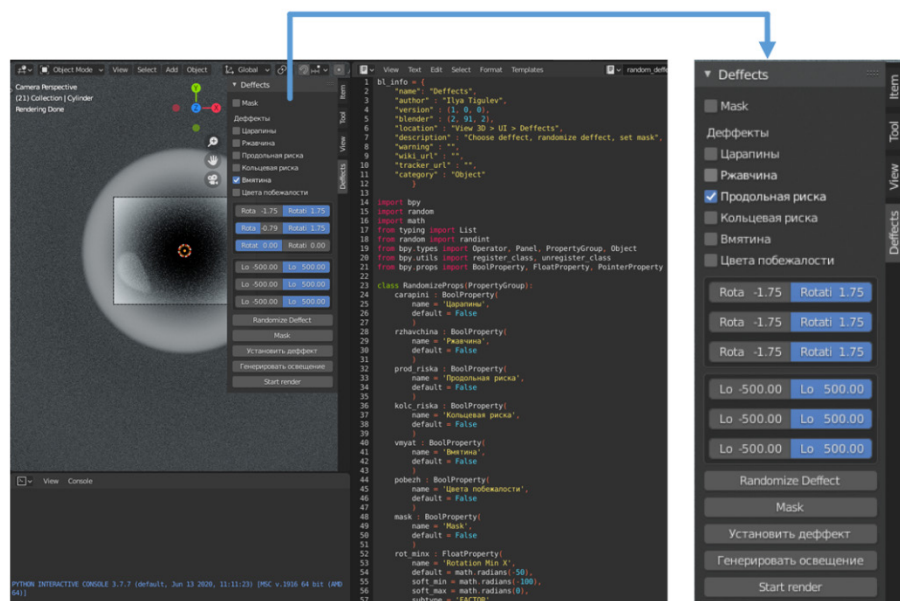


Рис.4 – Интерфейс программной среды Blender с модулем генерации синтетических данных

В таблице показаны фотографии реальных труб с дефектами и примеры сгенерированных изображений с дефектами и их маски.

Таблица – Примеры генерации синтетических данных в среде Blender

Реальные изображения внутренней поверхности трубы с дефектом				
Синтетические изображения внутренней поверхности трубы с дефектами				
Маски синтетических изображений внутренней поверхности трубы с дефектами				

Использование автоматизированной системы генерации синтетических данных позволяет одновременно создавать и производить разметку синтетических данных путем создания маски, а также позволяет структурировать визуальную информацию о состоянии технических объектов в виде подготовленной синтетической выборки для обучения нейронных сетей. Метод формирования синтетической выборки для обучения нейронных сетей позволяет применять нейросетевые технологии в задаче диагностирования технических объектов в условиях, где процесс получения реальных данных затруднен и наблюдается недостаток данных для обучения.

Список литературы

1. Цапаев А.П. Методы и алгоритмы распознавания изображений для обнаружения дефектов внутренней поверхности труб с целью автоматизации визуального контроля: дис. канд. техн. наук. – Нижний Новгород, 2013.
2. Ломакина Л.С., Манцеров С.А., Чернобаев И.Д. // Нейро-нечеткие классификаторы. Теория и практика: Монография. – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2021. – С. 117-122.
3. Fedosova L.O., Kretinin O.V., Popov E.V., Tsapaev A.P., Tyurikov M.I. Synthesis And Visualization Of Image Datasets Of Parametric 3d Model For Neural Network Training And Testing In Data-poor Conditions [Electronic resource] // Scientific Visualization – Electronic text data. – 2021. – volume 13. – number 5. – P. 65 - 77. – Mode of access: <http://sv-journal.org/2021-5/06>. –Title from screen.
4. Fedosova L.O., Mantserov S.A., Tsapaev A.P. Parametric model of pipe defect description for generation of training set for machine learning in data-poor conditions [Electronic resource] // Proceedings - 2019 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2019, 08-14 September 2019./ IEEE Xplore Digital Library. – Electronic text data. – Sochi, 2019. – P. 8867740. – Mode of access: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8867740>. –Title from screen.

2.3.1. (05.13.01)

¹А.С. Филатов, ²Е.Э. Куклина, ³И.В. Николаева¹Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, FilatovAS@mail.ru,²Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,
Институт землеустройства, кадастров и мелиорации,
Улан-Удэ, e_gunt@mail.ru,³Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,
автодорожный факультет,
Якутск, iva.nikolaeva@s-vfu.ru**ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Применение высоких технологий дает особенно впечатляющий результат в тех отраслях народного хозяйства, которые считаются наиболее отсталыми и депрессивными. В этом отношении сельское хозяйство нашей страны – вне конкуренции, но, несмотря на это, российский бизнес начинает широкое внедрение информационных технологий в сельском хозяйстве. Попытки наладить эффективное и осмысленное управление в сельском хозяйстве наталкиваются на массу препятствий. В первую очередь – это отсутствие достоверных сведений, как о местности, так и о характере землепользования и его режиме. В статье приводится краткий анализ применения ГИС-технологии и робототизации в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: *ГИС-технологии, сельское хозяйство, землепользование.*

Сельскохозяйственная отрасль находится в постоянном развитии. Каждый год для разных направлений АПК предлагаются инновационные решения, помогающие сделать ведение аграрного бизнеса более эффективным и менее затратным. Однако наибольшее внимание всех сельхозпроизводителей традиционно привлекают разработки в сфере сельхозмашиностроения. Существует необходимость существенной модернизации машинного и технологического оснащения сельского хозяйства, предусматривающей разработку современного дизайна сельскохозяйственных машин, а также внедрение в производство роботизированных систем, ГИС-технологии. Эти технологии являются инструментом, обеспечивающим решение трех основных задач, обуславливающих успех в условиях современного рынка – наличие своевременной объективной информации, способность принять верные управленческие решения и возможность реализовать эти решения на практике. Решение этих трех взаимосвязанных задач возможно за счет применения специализированных технических средств и программного обеспечения. Максимальная эффективность достигается в результате построения комплекса программно-технических средств (КПТС), включающего следующие подсистемы (табл.1):

Таблица 1 – Максимальная эффективность комплекса программно-технических средств

№п/п	Комплекс программно-технических средств (КПТС), включающего следующее подсистемы	Примечание
1	Аппаратные средства для точного земледелия	системы параллельного вождения
		пробоотборники и почвенный анализ
		системы дифференцированного внесения; - датчики урожая

2	Мониторинг сельскохозяйственных угодий	мониторинг границ рабочих участков полей
		агрохимический мониторинг полей
		картирование урожайности
		анализ условий местности
3	Мониторинг техники	автоматизированный сбор данных, на основе GPS навигации
		визуализация перемещений техники; - оперативный учет сельскохозяйственных работ
4	Технологическое планирование и управление	техничко-экономическое планирование
		оперативное планирование
		оперативный учет сельскохозяйственной продукции
5	Бюджетирование и финансовый учет	бюджетирование и финансовый учет
		финансовый анализ
		консолидация данных в МСФО

На рис.1 приведена система дистанционного управления контроля положения и функционирования сельхозтехники.



Рис.1 – Система дистанционного управления контроля положения и функционирования сельхозтехники

Идея применения робототехнических технологий в сельском хозяйстве является относительно новой, вместе с этим возможности их применения для повышения производительности труда огромны. Роботы, выполняющие такие сельскохозяйственные операции как опрыскивание, механическая борьба с сорняками, сбор фруктов, позволят фермерам уменьшить отрицательное воздействие на окружающую среду, повысить точность и эффективность. Роботы выполняют сложные задачи, которые вредны для здоровья людей, они могут защитить работников от вредного воздействия химических веществ при обработке растений вручную. В сельскохозяйственных операциях, с точки зрения подготовки семенного ложа, обработки почвы, посева или пересадки растений, внесения удобрений и химических веществ, межкультурной эксплуатации и уборки урожая, используется человеческий, животный или механический источник энергии. Механическая мощность управляемой сельскохозяйственной техники не позволяет оптимизировать эксплуатационные расходы, время и все другие затраты. На сегодняшний день трактор – это основной источник энергии машины, от которого зависит большая часть механизации хозяйства. Большая часть работы современной фермы выполняется с использованием трактора в качестве основной техники с прикреплением к нему различных агрегатов. Производство продукции сельского хозяйства весьма разнообразно в различных направлениях. Даже сельскохозяйственные фермы, выращивающие одни и те же культуры, могут отличаться по топологии, инфраструктуре, способу производства и т.д. На основании всестороннего изучения особенностей применения роботизированных платформ в сельском хозяйстве, а также использования обобщённого опыта различных компаний специализирующихся на создании подобных роботов предлагается новый модульный подход к созданию многофункциональной автономной роботизированной платформы

сельскохозяйственного назначения. Модульные роботизированные платформы позволяют адаптироваться к разнообразию технологий выращивания сельскохозяйственной продукции. Создаваемые мобильные роботы (рисунок 2) должны быть аппаратно-модульными в том смысле, что они могут быть реконфигурированы для получения необходимых физических свойств для работы в различных производственных системах—таких как туннели, теплицы, открытые поля и сады, - а их механические свойства могут быть адаптированы для регулировки ширины дорожки, требований к мощности, дорожного просвета, грузоподъемности и т.д.

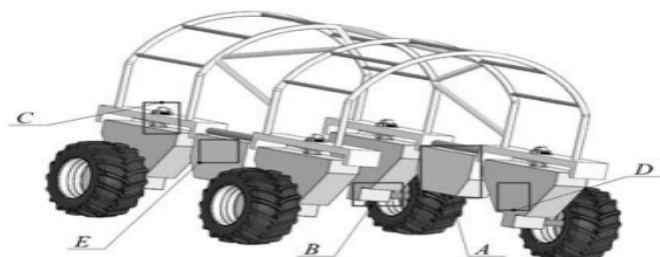


Рис. 2 – Примеры расположения модулей на роботизированной платформе:

А - корпус аккумулятора; В - модуль привода; С - модуль рулевого управления;

Д - модуль подвески; Е - прототип модуля сопряжения с датчиками

Программное обеспечение робота должно обобщать работы с большим изменением конструкций роботов, которые могут быть реализованы путем сборки аппаратных модулей в различных конфигурациях. Сельскохозяйственные роботы должны работать на фермах с очень разной инфраструктурой и условиями эксплуатации [1-4]. Одним из способов сделать роботов жизнеспособным вариантом для фермеров, как экономически, так и с практической точки зрения - является разработка роботизированных систем, способных работать во всех этих операционных средах. Одной из проблем современного земледелия является использование тяжелой техники на фермерских полях. Большой вес современных тракторов вызывает уплотнение почвы, что имеет ряд негативных последствий, среди которых снижение. Поэтому в идеале сельскохозяйственные машины должны быть легкими. Это стало возможным благодаря внедрению на фермах легких мобильных роботов. Поскольку роботы могут работать автономно, не требуя водителя для каждой машины, несколько небольших роботов могут быть использованы для замены каждого большого трактора, сохраняя производство на том же уровне. В этом смысле, новое программное обеспечение, которое приводит к полностью автономным роботам, необходимо для того, чтобы сделать эти легкие роботы жизнеспособной альтернативой тяжелой автотракторной технике.

Список литературы

1. Бугаевский Л.М. Геоинформационные системы [Текст]: учеб. для вузов / Бугаевский Л.М., Цветков, В.Я – М. : Златоуст – 2000. – 342 с. 14.
2. Ознамец В.В. Геодезическое информационное обеспечение устойчивого развития территорий. М.: МАКС Пресс, 2018. 134 с. 8. Бахарева Н.А. Геоданные в земельном кадастре // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. 3 (15). С. 69-79.
3. Кокиева Г.Е. Покрытие потребности кормов для вскармливания сельскохозяйственным животным путем микробного синтеза/ Г.Е. Кокиева// Инновационная деятельность в АПК: Состояние, проблемы, перспективы. сборник материалов научно-практической конференции "XIV Ларионовские чтения". 2020. с. 161-169
4. Кокиева, Г.Е., Друзьянова, В.П. Исследование автоматизированной системы управления микроклиматом парника. Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 1 (57). С. 70-78.

2.3.1. (05.13.01)

**С.В. Харлашина, Д.К. Лобанов канд. техн. наук,
Т.Г. Орешенко канд. техн. наук, Н.В. Штабель, Е.Г. Баранова**

Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнева,
институт космической техники,
кафедра систем автоматического управления,
Красноярск, kharlashina.v@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ТОКОВЫРАВНИВАНИЯ

В работе представлены результаты сравнительного анализа восьми методов параллельного включения стабилизаторов напряжения и тока, решающих задачу токовыравнивания. Результатом исследования стал выбор оптимального, с учетом критериев качества, метода токовыравнивания. Данное исследование может принести практическую пользу при разработке источников питания и усилителей, основополагающим принципом устройства которых является их параллельная работа.

Ключевые слова: *методы токовыравнивания, источники напряжения, стабилизатор тока, стабилизатор напряжения.*

В настоящее время происходит рост мощности систем электропитания космических аппаратов (КА), что в свою очередь требует разработки новых более мощных наземных средств испытаний: имитаторов систем электропитания, имитаторов солнечных и аккумуляторных батарей [1]. Имитаторы включают в себя источники питания. На практике для получения большего выходного тока часто используют два и более источников питания, включенных параллельно.

Проблема такого способа масштабирования характеристик заключается в появлении в цепи тока, протекающего между источниками. Это происходит в связи с тем, что источники напряжения не могут иметь идентичные характеристики и обладают некой погрешностью выходного напряжения и внутреннего сопротивления [2], определяемой технологическими разбросами радиоэлементов. Несбалансированные токи могут привести к преждевременному старению наиболее нагруженных элементов, что снизит вероятность безотказной работы, а это отрицательно скажется на надежности всей системы [3]. Кроме этого недостатка возникает проблема неравномерного распределения нагрузки на источники: более нагруженным окажется источник с большим напряжением [4]. Для решения данной проблемы рекомендуется использовать методы токовыравнивания.

Известны следующие методы токовыравнивания:

1. метод автоматического подстраивания тока ведомого СН под ток ведущего СН;
2. метод автоматического подстраивания тока ведомого СН под среднее значение тока одного СН;
3. метод автоматического подстраивания токов СН друг под друга;
4. метод автоматического подстраивания токов всех СН под среднее значение тока одного источника;
5. метод автоматического подстраивания тока ведомого СТ под ток ведущего СН;
6. метод автоматического подстраивания тока ведомого СТ под среднее значение тока одного СН;
7. метод автоматического подстраивания токов СН и СТ друг под друга;
8. метод автоматического подстраивания токов СН и СТ под среднее значение тока одного источника.

В качестве критериев сравнения используем приведенную погрешность токовыравнивания и значения общего сопротивления источников в зависимости от величины коэффициента передачи обратной связи.

Приведенная погрешность токовыравнивания может быть определена по формуле [5]:

$$\delta I = \frac{\frac{I}{2} - I_2}{I_{\max}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где I – общий ток, выдаваемый двумя источниками напряжения;

I_2 – ток, выдаваемый вторым источником напряжения;

$I_{\max}$ – максимальный требуемый ток, выдаваемый одним источником (45 А).

Методы токовыравнивания позволяют уменьшить общее сопротивление подключенных параллельно источников напряжения относительно внутреннего сопротивления одного источника. Для сравнения методов будем рассчитывать отношение общего сопротивления параллельно включенных источников к внутреннему сопротивлению одного источника K_R [6]:

$$K_R = \frac{U_{xx} - U}{I \cdot R_{вн}} \quad (2)$$

где U_{xx} – напряжение холостого хода;

U – выходное напряжение параллельно работающих источников;

I – общий ток, выдаваемый двумя источниками напряжения;

$R_{вн}$ – внутреннее сопротивление одного источника напряжения.

Структурные схемы [7] методов токовыравнивания №1 - №4 представлены на рисунке 1:

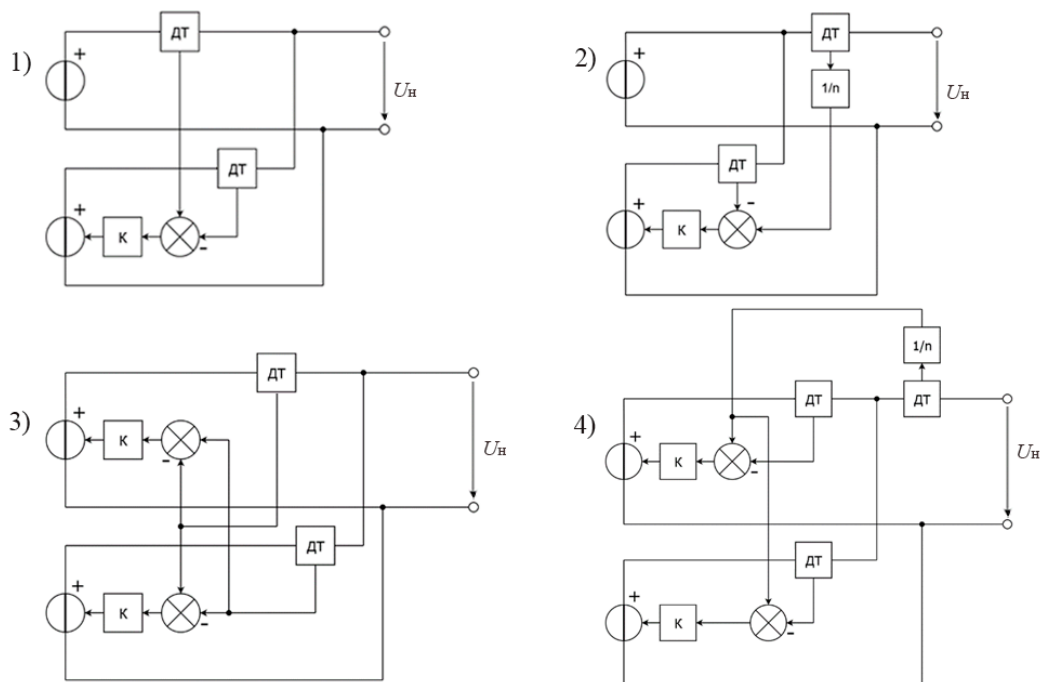


Рис. 1 – 1) Структурная схема первого метода токовыравнивания;

2) Структурная схема второго метода токовыравнивания;

3) Структурная схема третьего метода токовыравнивания;

4) Структурная схема четвертого метода токовыравнивания

Структурные схемы первого, второго, третьего и четвертого методов описываются следующими системами уравнений соответственно [8]:

$$\begin{cases} U = U_{T1} \cdot k - R_{BH1}^{CH} \cdot I_1 \\ U = \left(U_{T2} + \frac{U_{K2}}{K_{ДН}} \right) \cdot k - R_{BH2}^{CH} \cdot I_2 \\ I = I_1 + I_2 \\ U_{K2} = K \cdot (I_1 \cdot K_{ДТ1} - I_2 \cdot K_{ДТ2}) \end{cases}, \quad (3)$$

$$\begin{cases} U = \left(U_{T1} + \frac{U_{K1}}{K_{ДН}} \right) \cdot k - R_{BH1}^{CH} \cdot I_1 \\ U = \left(U_{T2} + \frac{U_{K2}}{K_{ДН}} \right) \cdot k - R_{BH2}^{CH} \cdot I_2 \\ I = I_1 + I_2 \\ U_{K1} = K_1 \cdot (I_2 \cdot K_{ДТ2} - I_1 \cdot K_{ДТ1}) \\ U_{K2} = K_2 \cdot (I_1 \cdot K_{ДТ1} - I_2 \cdot K_{ДТ2}) \end{cases}, \quad (5)$$

$$\begin{cases} U = U_{T1} \cdot k - R_{BH1}^{CH} \cdot I_1 \\ U = \left(U_{T2} + \frac{U_{K2}}{K_{ДН}} \right) \cdot k - R_{BH2}^{CH} \cdot I_2 \\ I = I_1 + I_2 \\ U_{K2} = K \cdot \left(I \cdot K_{ДТ1} \cdot \frac{1}{n} - I_2 \cdot K_{ДТ2} \right) \end{cases}, \quad (4)$$

$$\begin{cases} U = \left(U_{T1} + \frac{U_{K1}}{K_{ДН}} \right) \cdot k - R_{BH1}^{CH} \cdot I_1 \\ U = \left(U_{T2} + \frac{U_{K2}}{K_{ДН}} \right) \cdot k - R_{BH2}^{CH} \cdot I_2 \\ I = I_1 + I_2 \\ U_{K1} = K_1 \cdot \left(I \cdot K_{ДТ} \cdot \frac{1}{n} - I_1 \cdot K_{ДТ1} \right) \\ U_{K2} = K_2 \cdot \left(I \cdot K_{ДТ} \cdot \frac{1}{n} - I_2 \cdot K_{ДТ2} \right) \end{cases}, \quad (6)$$

Структурные схемы методов токовыравнивания №5 - №8 представлены на рисунке 2:

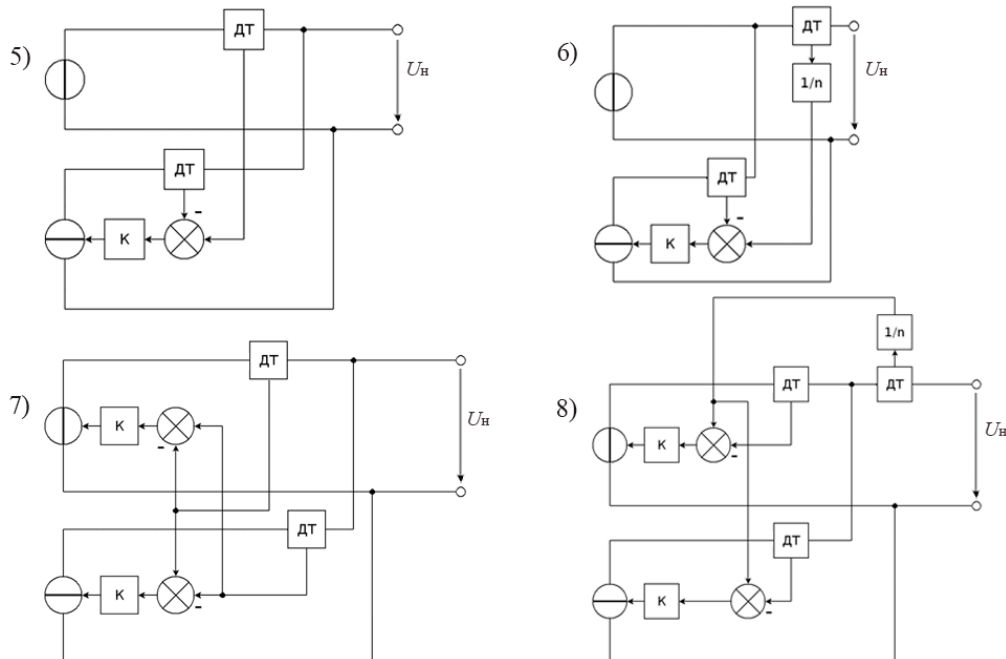


Рис. 2 – 5) Структурная схема пятого метода токовыравнивания;
6) Структурная схема шестого метода токовыравнивания;
7) Структурная схема седьмого метода токовыравнивания;
8) Структурная схема восьмого метода токовыравнивания

Структурные схемы пятого, шестого, седьмого и восьмого методов описываются следующими системами уравнений соответственно:

$$\begin{cases} U = U_{T1} \cdot k - R_{BH}^{ИСТ} \cdot I_1 \\ I_2 = K_{K3} \cdot U_{K2} - \frac{U}{R_{BH}^{ИСТ}} \\ I = I_1 + I_2 \\ U_{K2} = K \cdot (I_1 \cdot K_{ДТ1} - I_2 \cdot K_{ДТ2}) \end{cases}, \quad (7)$$

$$\begin{cases} U = \left(U_{T1} + \frac{U_{K1}}{K_{ДН}} \right) \cdot k - R_{BH}^{ИСТ} \cdot I_1 \\ I_2 = K_{K3} \cdot U_{K2} - \frac{U}{R_{BH}^{ИСТ}} \\ I = I_1 + I_2 \\ U_{K1} = K_1 \cdot (I_2 \cdot K_{ДТ2} - I_1 \cdot K_{ДТ1}) \\ U_{K2} = K_2 \cdot (I_1 \cdot K_{ДТ1} - I_2 \cdot K_{ДТ2}) \end{cases}, \quad (9)$$

$$\begin{cases} U = U_{T1} \cdot k - R_{BH}^{ИСТ} \cdot I_1 \\ I_2 = K_{K3} \cdot U_{K2} - \frac{U}{R_{BH}^{ИСТ}} \\ I = I_1 + I_2 \\ U_{K2} = K \cdot \left(I \cdot K_{ДТ1} \cdot \frac{1}{n} - I_2 \cdot K_{ДТ2} \right) \end{cases}, \quad (8)$$

$$\begin{cases} U = \left(U_{T1} + \frac{U_{K1}}{K_{ДН}} \right) \cdot k - R_{BH}^{ИСТ} \cdot I_1 \\ I_2 = K_{K3} \cdot U_{K2} - \frac{U}{R_{BH}^{ИСТ}} \\ I = I_1 + I_2 \\ U_{K1} = K_1 \cdot \left(I \cdot K_{ДТ} \cdot \frac{1}{n} - I_1 \cdot K_{ДТ1} \right) \\ U_{K2} = K_2 \cdot \left(I \cdot K_{ДТ} \cdot \frac{1}{n} - I_2 \cdot K_{ДТ2} \right) \end{cases}, \quad (10)$$

Для каждого метода путем подстановки значения тока, выдаваемого вторым модулем, и общего тока двух модулей в уравнение (1), получим зависимости погрешности токовыравнивания от коэффициента ОС (рисунок 3):

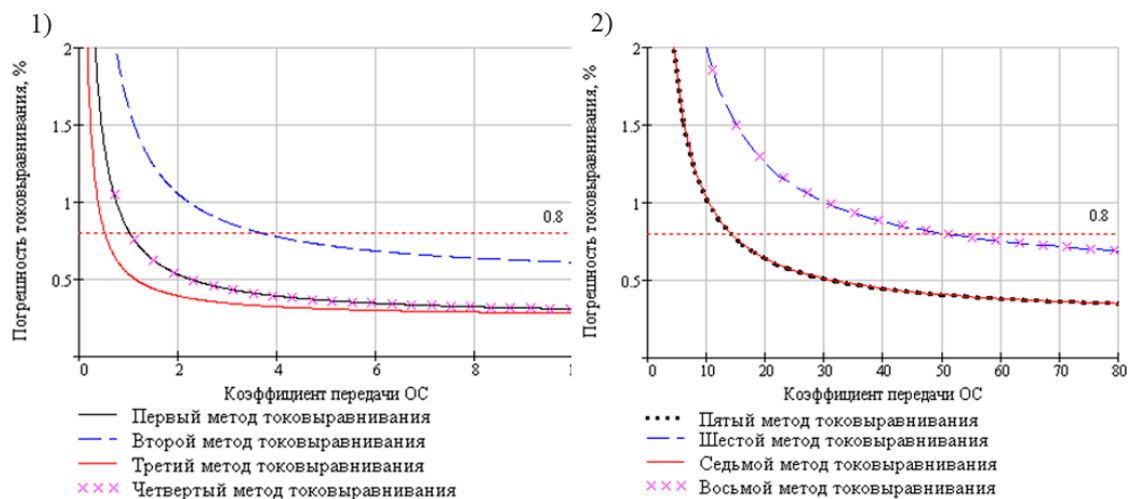


Рис. 3 – Графики приведенной погрешности токовыравнивания

Для каждого метода путем подстановки значения общего тока, выдаваемого двумя источниками напряжения, и выходного напряжения параллельно работающих источников в уравнение (2), получим зависимости относительного сопротивления источников напряжения от коэффициента ОС (рисунок 4):

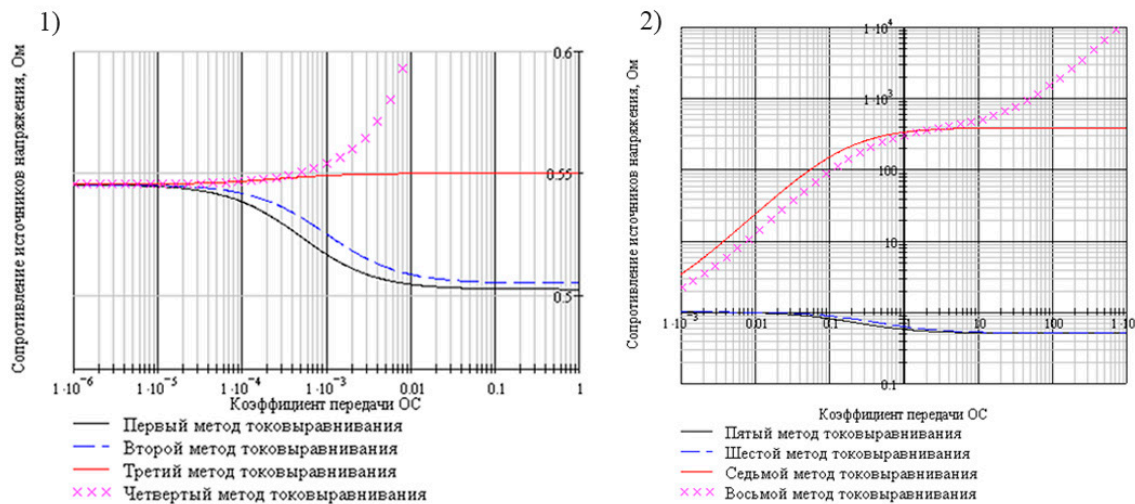


Рис. 4 – Графики относительного сопротивления источников напряжения при различных методах токовыравнивания

Анализ полученных графиков показал, что наименьшим относительным сопротивлением источники обладают при первом методе, а наименьшая погрешность токовыравнивания достигается третьим методом. Так как одним из важных критериев качества является относительное сопротивление параллельно работающих источников, то первый метод токовыравнивания более подходящий для получения большего выходного тока.

Список литературы

1. Мизрах Е.А., Пойманов Д.Н., Балакирев Р.В., Ткачёв С.Б. Автоматизированная система имитации электрических характеристик систем электропитания космических аппаратов // Сибирский журнал науки и технологий. 2016. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannaya-sistema-imitatsii-elektricheskikh-harakteristik-sistem-elektropitaniya-kosmicheskikh-apparatov>
2. Юдинцев А.Г. Многофункциональный энергосберегающий имитационный нагрузочный комплекс для систем электропитания космических аппаратов / А.Г. Юдинцев, В.М. Рулевский, Ю.А. Шиняков, Ю.А. Кремзуков // Доклады ТУСУРа. – Томск, 2011. – №2(24), часть 1. – С. 275–282.
3. Орешенко Т.Г. Расчет надежности функциональных элементов систем управления : Методические указания к выполнению курсовой работы для студентов специальностей 24.05.06 «Системы управления летательными аппаратами» и 24.04.02 «Системы управления движением и навигация» / сост. Т. Г. Орешенко, Е. В. Пашенко; Сиб. гос. ун-т. науки и технол-й – Красноярск, 2019. – 54 с.
4. Russell A. Paralleling power supplies: Many viable options, but know the tradeoffs / A. Russell // Radiolocman. – 2016. - № 62. – P. 34-39.
5. Рабинович С.Г. Погрешности измерений / Издательство: Л.: Энергия // 1978 г. – 262 с.
6. Носкова Е.Е. Управление токораспределением в многомодульных системах электроснабжения космических аппаратов: автореферат диссертации // Красноярск, 1995
7. Мизрах Е.А. Теория автоматического управления: линейные непрерывные системы: учебное пособие., издание второе / Е.А. Мизрах. – Красноярск: САА, 1997. – 184 с.
8. Мизрах, Е.А. Проектирование систем автоматического управления [Текст]: методическое пособие к курсовому проекту / Е.А. Мизрах. – Красноярск: САА, 1998.

2.3.1. (05.13.01)

¹Ш.Т. Юсупов, ²Н.Д. Балданов¹Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,

Якутск, ShUsupov@gmail.com,

²Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,

Институт землеустройства, кадастров и мелиорации,

Улан-Удэ, nimbu_bald@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
В ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИИ**

Геоинформационная система может включать в свой состав пространственные базы данных (в том числе, под управлением универсальных СУБД), редакторы растровой и векторной графики, различные средства пространственного анализа данных. Применяются в картографии, геологии, метеорологии, землеустройстве, экологии, муниципальном управлении, транспорте, экономике, обороне и многих других областях. Научные, технические, технологические и прикладные аспекты проектирования, создания и использования геоинформационных систем изучаются геоинформатикой. В статье описывается информационное обеспечение в землепользовании.

Ключевые слова: ГИС-технологии, геоинформационные системы, землепользование.

Использование ИТ в сельском хозяйстве ограничивалось применением компьютеров и ПО в основном для управления финансами и отслеживания коммерческих сделок. Не так давно фермеры начали использовать цифровые технологии для мониторинга сельскохозяйственных культур, домашнего скота и различных элементов сельскохозяйственного процесса. Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности управления сельскохозяйственным производством является использование информационных систем на базе геоинформационных технологий. Информационное обеспечение в землепользовании я включает несколько видов: получения кадастровой информации, получение управленческой информации, получение сигнальной информации и получение и предоставление информации общего доступа. Землепользование состоит в рациональном использовании и управлении земельными ресурсами [1-2].

Управление земельными ресурсами охватывает весь спектр общественных отношений – от социального до экономического, правового, экологического и других видов управления. Поэтому управление земельными ресурсами – сложно организованная система. Управление осуществляют многими методами и средствами, оно является предметом изучения многих наук и включает следующие аспекты (табл.1):

Таблица 1 – Перечень аспектов, которые осуществляются перечнем методов и средств

№п/п	Наименование аспекта	Примечание
1	политический	обеспечивающий выполнение социально-политических, экономических и экологических задач государства по рациональному использованию земельных ресурсов
2	административно-управленческий	связанный с формированием системы государственных и муниципальных органов управления земельными ресурсами, разграничением их компетенций, организацией выполнения ими взаимосогласованных функций; – правовой, обеспечивающий рациональное использование и охрану земли на основании правовых норм, закрепленных в законодательных актах

3	научный	связанный с разработкой научно обоснованных рекомендаций по управлению земельными ресурсами с учетом достижений научно-технического прогресса
	экономический	определяющий условия эффективного использования земель
	внедренческий	связанный с разработкой и осуществлением экономических, социальных и иных рычагов, стимулов и мероприятий по рациональному использованию и охране земель

Наряду с управленческой функцией, одна из основных функций землепользования - информационная функция. Она состоит в информационном обеспечении граждан, организаций и органов государственной власти и управления достоверными и точными сведениями об объектах недвижимости, их правовом статусе, а также кадастровой стоимости. На рис.1 приведена область применения Информационных технологии



Рис.1 – Область применения Информационных технологии

Информационная функция землепользования требует информационной поддержки. Отсюда вытекает важность информационного обеспечения землепользования [2]. На рис.2 приведена схема информационного обеспечения в землепользовании. Геоинформационные технологии можно определить как совокупность программно-технологических средств получения новых видов информации об окружающем мире. Геоинформационные технологии предназначены для повышения эффективности: процессов управления, хранения и представления информации, обработки и поддержки принятия решений. Основной единицей в ГИС являются данные. Данные (лат. datum – акт) – совокупность фактов и сведений, представленных в каком-либо формализованном виде для их использования в науке и других сферах человеческой деятельности.



Рис. 2 – Схема информационного обеспечения в землепользовании

Под данными в среде ГИС понимается информация, известная об объектах реального мира; результаты наблюдений и измерений этих объектов. ГИС как любая система состоит из совокупности связанных между собой подсистем (рис. 3). Система прогнозирования урожайности строится на методах наблюдения за состоянием посевов с учетом влияния природно-климатических условий. Данная технология позволяет отслеживать динамику развития сельскохозяйственных культур, условий вегетации, определять сроки их созревания и оптимальные сроки начала уборки, проводить экономический анализ при минимальном и максимальном уровнях урожайности стабильно возможных для конкретных условий [3].

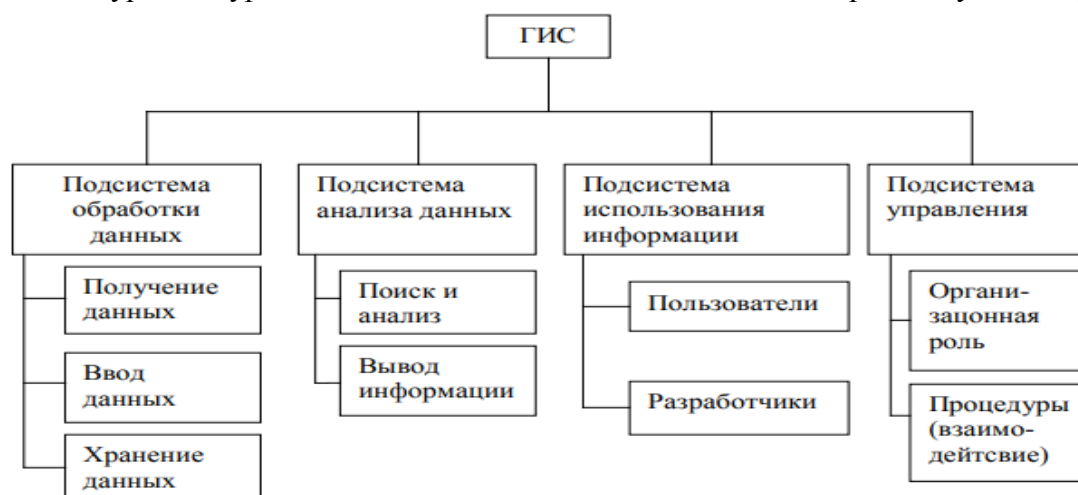


Рис. 3 – Подсистемы ГИС

«Роботизация» производства особо актуальна для больших фермерских хозяйств. Информационное обеспечение землепользования представляет собой сложную информационную, организационную и технологическую систему, включающую технологии, вычисления, систематизацию, правовую идентификацию. В настоящее время информационное обеспечение землепользования не сформировано в виде целостной системы. Кадастровая информация составляет информационную основу землепользования. Информационное обеспечение землепользования включает и разные виды информации. Разнообразие форм и нормативных требований к другим видам информации создает проблемы их согласованного использования и является препятствием эффективного использования информации в землепользовании [3-4].

Список литературы

1. Бугаевский Л.М. Геоинформационные системы [Текст]: учеб. для вузов / Бугаевский Л.М., Цветков, В.Я – М. : Златоуст – 2000. – 342 с. 14.
2. Ознамец В.В. Геодезическое информационное обеспечение устойчивого развития территорий. М.: МАКС Пресс, 2018. 134 с. 8. Бахарева Н.А. Геоданные в земельном кадастре // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. 3 (15). С. 69-79.
3. Кокиева Г.Е. Покрытие потребности кормов для вскармливания сельскохозяйственным животным путем микробного синтеза/ Г.Е. Кокиева// Инновационная деятельность в АПК: Состояние, проблемы, перспективы. сборник материалов научно-практической конференции "XIV Ларионовские чтения". 2020. с. 161-169
4. Кокиева Г.Е., Друзянова В.П. Исследование автоматизированной системы управления микроклиматом парника. Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 1 (57). С. 70-78.

2.3.1. (05.13.01)

¹В.Д. Яковлева, ²А.С. Семиусова¹Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, DmitrievaTG@mail.ru,²Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,
Институт землеустройства, кадастров и мелиорации,
Улан-Удэ, pushkareva_alena@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Современные электроразведочные технологии существенно дополняют сведения об инженерно-геологическом строении объекта и территории исследований. В статье рассмотрены применение методов электротомографии при исследовании состояния гидротехнических сооружений. В качестве примера приведены итоги работ на ГТС Сытыкан Республики Саха (Якутия) по одному профилю.

Ключевые слова: *электротомография, гидротехнические сооружения, талик, методы, исследования, удельное сопротивление, электроразведка.*

Гидротехнические сооружения достигают типа – от плотина до хвостохранилищ промышленных отходов – в процессе эксплуатации требуется постоянный контроль состояния, основной целью которого является достижение защиты через тело плотины. Образованию протечки предшествует опасный инженерно-геологический процесс – сквозная фильтрация. Сквозная фильтрация приводит к повышению водопроницаемости грунта за счёт суффозии, ослабляет структурную прочность грунта, на хвостохранилищах – восстановление грунтов водорастворимыми компонентами хвостов. Для плотин, обнаруженных в постоянном контроле мерзлоты и сложенных мёрзлыми грунтами, сквозная фильтрация опасна для всех термокарстовых процессов. Геофизические методы контроля, в частности, электроразведка, обладают рядом неоспоримых выгод. В установленном порядке можно получить информацию о состоянии всего тела дамбы и наличии зоны защиты, сквозной фильтрации или аномального обводнения в ней.

Современные электроразведочные технологии позволяют существенно дополнить представления об инженерно-геологическом строении объекта, основанные на данных бурения. С помощью геофизических методов выявляются особенности строения изучаемой территории, неучтённые при буровых работах, уточняется инженерно-геологическое строение территории. Главной целью проведённых исследований является оценка геологической информативности метода электротомографии при выявлении путей фильтрации техногенных вод из гидрозолоотвала в разрезе пород. Электротомография является современной модификацией метода вертикального электрического зондирования. Электротомография основана на многоэлектродных измерениях и автоматической инверсии полученных данных. При электротомографии в качестве питающих и измерительных электродов используются одни и те же расположенные на профиле заземления (рис. 1). Их количество может достигать нескольких десятков и даже сотен штук. Электроды заземляются с одинаковым шагом (обычно 5 м) и подключаются к коммутационному кабелю (косе). Такая схема измерений приводит к существенному увеличению плотности наблюдений по сравнению с традиционным методом вертикальных электрических зондирования. При этом плотность измерений соответствует детальности многоразного электропрофилирования с определенным шагом по профилю (1, 2,5, 5 и т.д. м). На синтетических и полевых данных показано, что фокусирующая по георадиолокационным

осям синфазности инверсия электротомографической модели является эффективным инструментом снижения неопределенности интерпретации геофизических данных, полученных в условиях влияния техногенных помех или в случае высокой степени эквивалентности решения обратной задачи. Специальная аппаратура поочередно коммутирует и опрашивает различные комбинации электродов. В результате измерений получают информацию о распределении кажущегося удельного электрического сопротивления по разрезу. Полученные данные по профилю обрабатываются совместно. Такой подход позволяет построить двумерный геоэлектрический разрез и учесть влияние рельефа. Двумерную обработку выполняют с применением процедуры именуемой «двумерной автоматической инверсией», реализуемой в специальных программах (Res2Dinv, ZondRes2D и другие). На вход программы подаются результаты измерений, полученные с помощью многоэлектродной установки, в итоге формируется геоэлектрический разрез – распределение электрических свойств горных пород по глубине и по латерали. Сопоставляя данные электротомографии с априорной геологической информацией, проводят геологическую интерпретацию разрезов сопротивления [2].

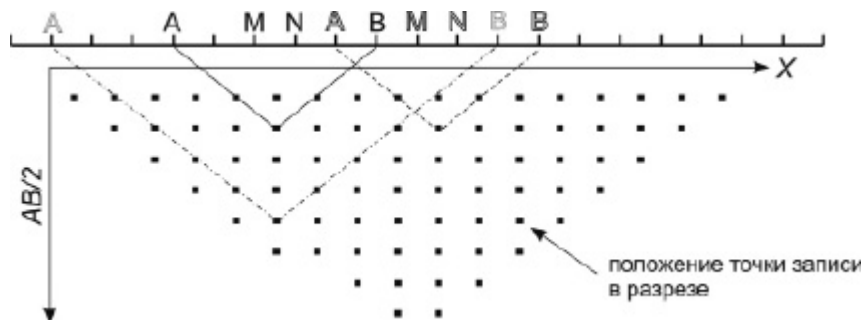


Рис.1 – Схема заземлений при электротомографии и положение точки записи на псевдоразрезе: АВ – питающие электроды; MN – приемные электроды

В зависимости от подключения к прибору одни и те же электроды играют роль питающих или приемных [1-3].

Практическое применение электротомографии

В нашей стране использование электротомографии рекомендовано Госстроем России (СП 11-105-97). Применение двумерной электроразведки целесообразно при всех детальными (масштаб 1:2000 и крупнее) геофизических исследованиях – при инженерно-геологических и гидрогеологических изысканиях, изучении геологического разреза на малых и средних глубинах при поисках и разведке полезных ископаемых, а также в менее традиционных областях применения малоглубинной геофизики – изучении археологических памятников, решении геоэкологических и других задач. Для изучения геоэлектрических разрезов, значительно отличающихся от горизонтально-слоистых, применение электротомографии является необходимым условием для надежной интерпретации. Такое сложное строение обычно характерно для рудных зон и зон тектонических нарушений, оползней, насыпных и искусственных грунтов в зонах городской застройки, многолетнемерзлых пород, при крутом падении слоев и при наличии карста [1].

Практический пример

Работы по геоэлектротомографии на ГТС Сытыкан следует рассматривать как работы по 2-м участкам. Первый участок это правобережное примыкание, по нему было выполнено 4 профиля длиной 715 м и 535 м. Второй участок это левобережное примыкание плотины. По нему выполнено 5 профилей длиной 355 м 4 профиля и 1 профиль длиной 535 м.

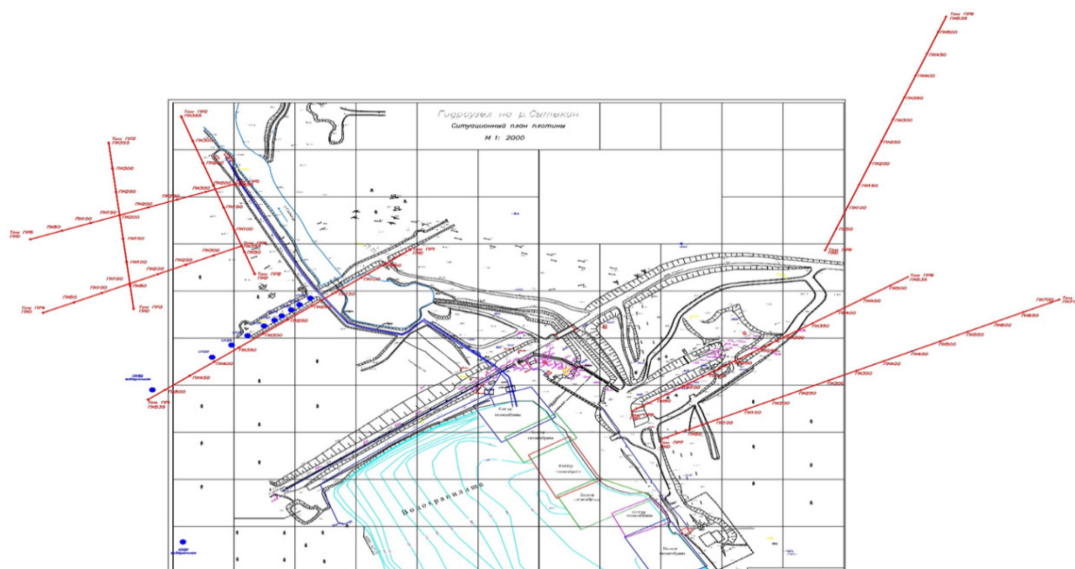


Рис.2 – Схема профилей по работам методом геоэлектротомографии в районе строительного котлована

Схема профилей по работам методом геоэлектротомографии в районе строительного котлована представлена на рисунке 2. Рассмотрим профиль 6. Профиль 6 расположен в горнолыжной станции и имеет длину 535м. Результаты инверсии полевых данных по профилю 6 представлены на рисунке 3. По полученным данным видно, что область распространения талика, фиксируется от начала профиля до 300 м, на интервале глубин 240 м – 280 м.

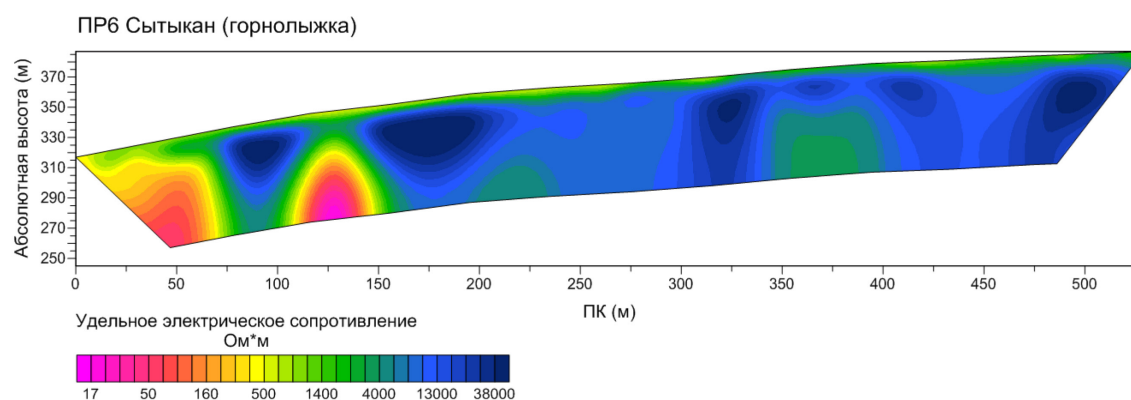


Рис. 3 – Гидроузел на р. Сытыкан. Результаты обработки данных электротомографии по профилю 6

Критерий выбора талой зоны выбран из расчета, что в талом состоянии для данной территории характерно удельное сопротивление менее 1000 Ом*м. На рисунке талая зона выделена черным пунктиром. На конце профиля (интервал 500 м-620 м) выделяется интенсивная аномалия низких сопротивлений (менее 300 Ом*м), она связана с помехами от высоковольтных линий, которые пересекает профиль (выделено белым пунктиром).

Список литературы

1. Бобачев А.А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации/ Приборы и системы разведочной геофизики. 2006, N02, 14-17.
2. Оленченко В.В., Усманов М.Т., Усманова Л.И., Цыренжапов С.В. Выявление путей миграции техногенных вод из гидротехнических сооружений методом электротомографии (на примере золоотвала Читинской ТЭЦ-1)/ Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 1 (часть 1) – С. 101-105
3. Ерофеев Л.Я., Вахромеев Г.С., Зинченко В.С., Номоконова Г.Г. Физика горных пород: учебник для вузов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 520 с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ — 2.3.3. (05.13.06)**

2.3.3. (05.13.06)

¹Г.А. Гареева канд. педагог. наук, ¹Д.К. Садыков, ¹Ю.А. Яшина,
¹Э.И. Ахатова, ²Д.Р. Григорьева канд. педагог. наук

¹Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
кафедра информационных систем,
Набережные Челны,
²Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Набережночелнинский институт,
кафедра экономики предприятий и организаций,
Набережные Челны, Screeper.chat@gmail.com, gagareeva1977@mail.ru,
d.r.grigoreva@mail.ru

**РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ НОРМАТИВА ЗАПАСОВ ПРОДУКЦИИ**

В данной статье описывается процесс разработки компонентов программного обеспечения для автоматизации расчетов норматива запасов продукции. Весь процесс разработки реализован на node.js в качестве хоста, JavaScript - в качестве языка программирования клиентской части и язык разметки html в качестве интерфейса.

Функционал программы связывает клиента с api системой хоста, хост в свою очередь идентифицирует, аутентифицирует, авторизует и, накладывая соответствующие права, отправляет запрос в api сервера. Сервер в свою очередь отдает данные обратно, в соответствии со всеми входящими параметрами.

Ключевые слова: разработка, расчет, JavaScript, автоматизация, node.js, запасы, сервер, клиент, запрос, express, web-приложение, аутентификация.

В настоящее время программное обеспечение используется в большей части производственных процессов предприятия. От его надежности и функциональности зависит качество производимого продукта. Разработка компонентов программного обеспечения для автоматизации расчетов норматива запасов продукции является актуальной задачей, для решения которой следует применять методики, способные гарантировать стабильную работу разрабатываемого кода при различных условиях эксплуатации.

JavaScript это язык, который позволяет применять сложные вещи на web странице — каждый раз, когда на web странице происходит что-то большее, чем просто её статичное отображение — отображение периодически обновляемого контента, или интерактивных карт, или анимация 2D/3D графики, или прокрутка видео в проигрывателе [2].

Узел или Node.js это программная платформа, основанная на движке V8 (перевод JavaScript в машинный код), превращающая JavaScript из узкоспециализированного языка в язык общего назначения. Node.js добавляет возможность JavaScript взаимодействовать с устройствами ввода-вывода через свой API, написанный на C++, подключать другие внешние библиотеки, написанные на разных языках, предоставляя им вызовы из кода JavaScript. Node.js используется в основном на сервере, выступая в качестве веб-сервера, но его можно разрабатывать на Node.js и оконные приложения рабочего стола (с использованием NW.js, AppJS или Electron для Linux, Windows и macOS) и даже программные микроконтроллеры (например, tessel, low.js и эспруино). В основе Node.js является событийно-ориентированным и асинхронным (или реактивным) программированием с неблокирующим вводом-выводом [5].

Веб-фреймворк Express (Node.js/JavaScript) представляет собой популярный веб-фреймворк, написанный на JavaScript и работающий внутри среды исполнения node.js. Этот модуль освещает некоторые ключевые преимущества этого фреймворка, установку среды разработки и выполнение основных задач веб-разработки и развёртывания.

API (интерфейс прикладного программирования) - это описание способов (набор классов, процедур, функций, структур или констант), которыми одна компьютерная программа может взаимодействовать с другой программой. Обычно он включается в описание интернет-протокола (например, RFC[2]), программного фреймворка (фреймворка)[3] или стандарта вызова функций операционной системы[4]. Это часто реализуется отдельной библиотекой программного обеспечения или службой операционной системы. Он используется программистами при написании всевозможных приложений [1].

Веб-приложение - это клиент-серверное приложение, в котором клиент взаимодействует с веб-сервером с помощью браузера. Логика веб-приложения распределена между сервером и клиентом, данные хранятся в основном на сервере, обмен информацией осуществляется по сети. Одним из преимуществ такого подхода является тот факт, что клиенты не зависят от операционной системы конкретного пользователя, поэтому веб-приложения являются кроссплатформенными сервисами [3].

Интерфейс программы разработан с помощью современного языка разметки html скомпилированный через специальную библиотеку express (расширение которого описывается как «.ejs»). Это помогает внедрять язык программирования JavaScript сразу в страницу, написанную на актуальном, современном языке разметки html.

Работнику (пользователю) необходимо идентифицироваться, введя свой логин в соответствующее поле. После чего необходимо аутентифицироваться, введя пароль в соответствующее поле. После нажатия кнопки «Войти», отправляется запрос, в заголовке которого привязывается зашифрованный пароль и логин.

Хост проверяет структурное соответствие пароля и логина и отправляет на api-сервер тоже в зашифрованном виде. Далее сервер авторизует пользователя, при условии, что аутентификация прошла успешно. Интерфейс страницы входа представлен на рисунке 1.

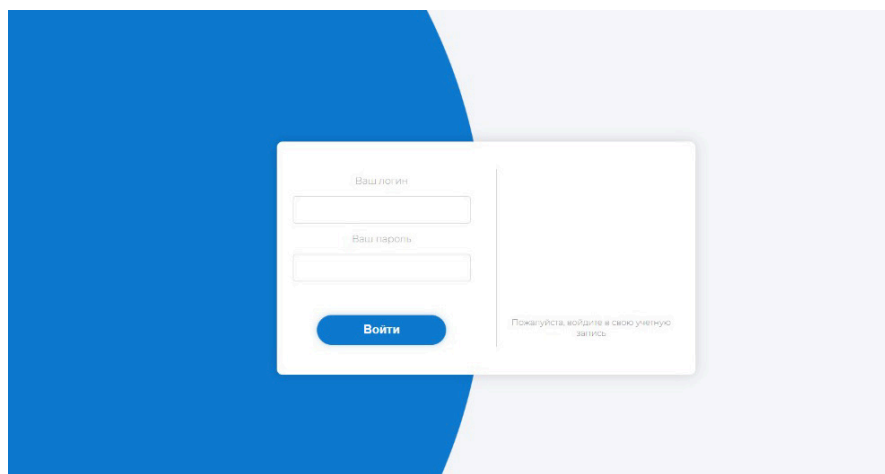


Рис. 1 – Интерфейс страницы входа

После авторизации пользователю предоставляется возможность выбора года, плавающего квартала (три месяца в периоде от начала прошлого года до конца следующего квартала от текущей даты), параметры отдела, признаки планов (рис.2).

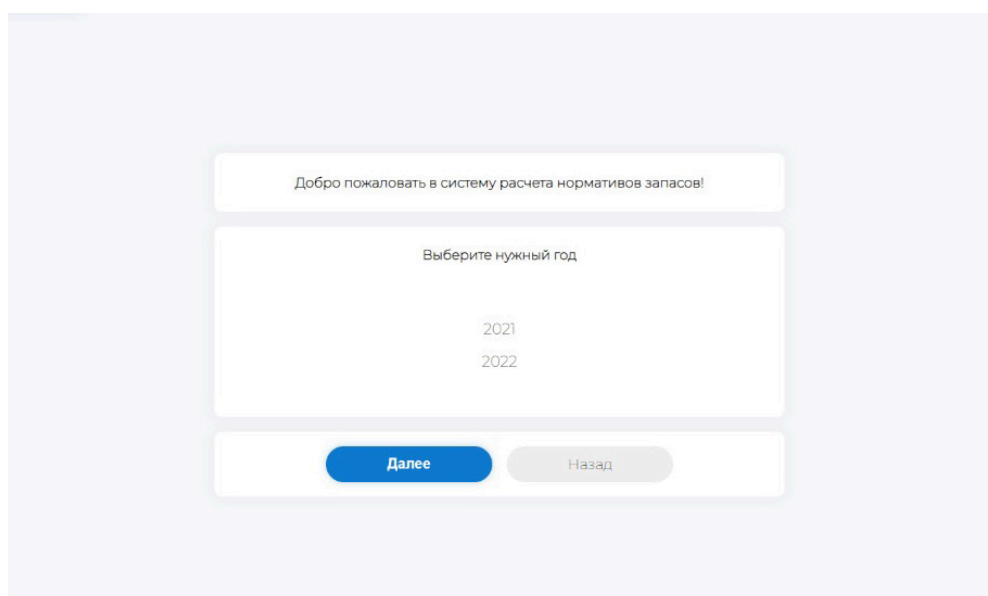


Рис. 2 – Интерфейс страницы входа

После авторизации и выбора необходимых параметров пользователю формируется таблица с планом остатков производственных продуктов. При нажатии на кнопку «Сделать корректировки», пользователь может ввести в норматив плана запаса необходимые корректировки.

При нажатии на кнопки «Экспорт в Excel» и «Экспорт сводный» можно экспортировать в Excel, либо таблицу запасов с соответствующими параметрами, либо сводную таблицу запасов по всем отделам соответственно. С помощью кнопки «Фильтр» можно установить критерии фильтров по месяцам, по поставщикам, по виду запасов.

Интерфейс таблицы плана запасов представлен на рисунке 3.

Рис. 3 – Интерфейс таблицы плана запасов

При выполнении каждого запроса на сервер (при выполнении любых действий) в заголовке отправляется token с зашифрованной информацией о пользователе и о текущей сессии.

На сервере в свою очередь происходит проверка авторизации пользователя и о ликвидности текущей сессии. Это позволяет защитить данные от несанкционированного доступа и предотвращает логические ошибки взаимодействия нескольких пользователей с данными.

Весь процесс разработки компонентов программного обеспечения для автоматизации расчетов норматива запасов продукции реализован на node.js в качестве хоста, JavaScript - в качестве языка программирования клиентской части и язык разметки html в качестве интерфейса.

Функционал программы связывает клиента с api системой хоста, хост в свою очередь идентифицирует, аутентифицирует, авторизует и, накладывая соответствующие права, отправляет запрос в api сервера. Сервер в свою очередь отдает данные обратно, в соответствии со всеми входящими параметрами. Разработанные компоненты программного обеспечения могут использоваться в различных предприятиях.

Список литературы

1. Гарева Г.А., Шакиров А.Р., Григорьева Д.Р., Басыров Р.Р. Диагностика программного и аппаратного обеспечения ПК на предприятии машиностроения / Научно-технический вестник Поволжья, № 8, 2021. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2021. – С.45-48.
2. Емельянов Д.В., Мустафин А.Ф., Петров А.Н., Хамидуллин М.Р. Разработка компонентов аппаратно-программной системы контроля управления и доступа на примере предприятия ООО Паралакс Поволжье - Курск: ЗАО «Университетская книга», 2020.- С. 96.
3. Построение на движке JavaScript // Официальная документация Node.js URL: <https://nodejs.org/en/> (дата обращения: 27.02.2022).
4. Григорьева Д.Р., Салихова А.И., Гарева Г.А., Басыров Р.Р. Использование информационных технологий для автоматизации бухгалтерского учета / Вестник связи. № 1. – 2021. – С.44-48.
5. Основы JavaScript // Современный учебник JavaScript URL: <https://learn.javascript.ru/> (дата обращения: 27.02.2022).

2.3.3. (05.13.06)

В.А. Егоров канд. техн. наук, П.М. Цымбалов

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
факультет энергетики и управления, кафедра электропривода и автоматизации
промышленных установок,
Комсомольск-на-Амуре, egoroff_v@list.ru, pavel_met@mail.ru

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МНОГООСЕВЫМ ПОЗИЦИОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ШТАМПОВОЧНО-ПРЕССОВОЙ МАШИНЫ

Предложен алгоритм формирования трехмерной поверхности изделия для многоосевой штамповочно-прессовой машины. Выполнен расчёт и моделирование системы управления многоосевым электроприводом.

Ключевые слова: Многоосевой позиционный электропривод, машина для обработки металлов давлением, алгоритм формирования поверхности, моделирование.

В последние десятилетия ведутся разработки технологий и оборудования для обработки металлов и сплавов давлением в режимах пластичности и сверхпластичности [1].

Машина для обработки металлов давлением (штамповочно-прессовая машина) представляет из себя два встречно направленных массива гидро или электроцилиндров, закрепленных в узловых точках плоскостей-оснований, параллельных друг другу [1]. Формирование трехмерной поверхности изделия осуществляется за счёт программного изменения длин штоков цилиндров.

Создание подобного оборудования требует решения ряда научных и инженерных задач, одной из которых является разработка системы управления многоосевым позиционным электроприводом машины.

Система позиционного электропривода локальной оси (координаты) организована с использованием синхронной машины в качестве электродвигателя и подчиненной системы регулирования контуров тока, скорости и положения (рисунок 1).

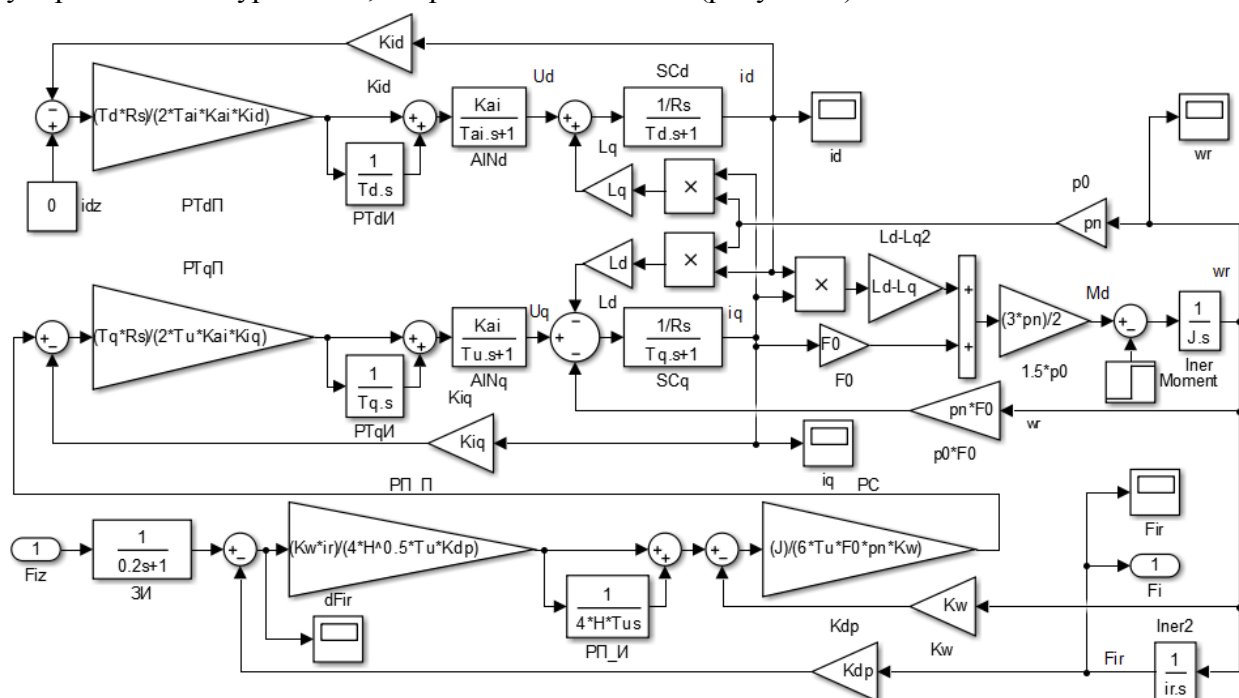


Рис.1 – Структурная схема позиционного электропривода локальной оси

Уравнения синхронного электродвигателя в координатах dq [2]:

$$\left. \begin{aligned} i_d &= \frac{1/R_s}{T_d p + 1} (U_d + L_q p_0 \omega_r i_q); \\ i_q &= \frac{1/R_s}{T_q p + 1} (U_q - L_d p_0 \omega_r i_d - \Phi_0 p_0 \omega_r); \\ M_d &= \frac{3}{2} p_0 (\Phi_0 i_q + (L_d - L_q) i_d i_q); \\ \omega_r &= (M_d - M_n) / J p; \\ \theta_r &= \omega_r / i_r p, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где R_s, L – активное сопротивление и собственная индуктивность обмоток статора; $T_d = L_d / R_s$ и $T_q = L_q / R_s$ – электромагнитные постоянные времени обмоток статора; p_0 – число пар полюсов машины; $U = U_d + jU_q, i = i_d + ji_q$ – вектора напряжения и тока статора; Φ_0 – амплитуда потока магнитного поля ротора, сцепленного с обмотками статора; M_d и M_n – момент двигателя и нагрузки; J – момент инерции ротора; i_r – передаточное число редуктора; ω_r, θ_r – скорость и угол поворота вала ротора.

Контура тока в каналах d и q настроены на модульный оптимум. Передаточные функции регуляторов тока:

$$W_{\text{rtd}}(p) = \frac{T_d R_s}{2T_{ai} K_{ai} K_{id}} \frac{T_d p + 1}{T_d p}; \quad W_{\text{rtq}}(p) = \frac{T_q R_s}{2T_{\mu} K_{ai} K_{iq}} \frac{T_q p + 1}{T_q p},$$

где K_{ai}, T_{ai} – коэффициент передачи и постоянная времени автономного инвертора; K_{id}, K_{iq} – коэффициенты датчиков тока обмоток статора; T_{μ} – малая постоянная времени контура тока по оси q ($T_{\mu} \geq T_{ai}$).

Для обеспечения плавности перемещений, настройка контура скорости выполнена так же на модульный оптимум. Передаточная функция регулятора скорости:

$$W_{\text{pc}}(p) = \frac{J}{6T_{\mu} \Phi_0 p_0 K_w},$$

где K_w – коэффициент датчика скорости.

При настройке контура положения следует исходить из того, что при работе в режиме пластичности: требования к динамике системы невысоки; перерегулирование должно отсутствовать; необходим астатизм по положению. Для выполнения перечисленных выше требований, контур положения может быть настроен на модифицированный симметричный оптимум [3] и применён задатчик интенсивности в виде аperiodического звена первого порядка.

Если принять показатель колебательности замкнутой скорректированной системы $M_{\omega \text{cp}} = 0,95$, то ширина среднечастотной части желаемой логарифмической амплитудно-частотной характеристики разомкнутого контура положения $H = 18,06$ [3]. В этом случае, передаточная функция регулятора положения:

$$W_{\text{rp}}(p) = \frac{K_w i_r}{4\sqrt{H} T_{\mu} K_{dp}} \frac{4HT_{\mu} p + 1}{4HT_{\mu} p}$$

где K_{dp} – коэффициент датчика положения.

Система позиционирования i -ой оси состоит из двух подсистем изображённых на рисунке 1. Каждая подсистема управляет положением основной и оппозитной осей соответственно. Сигнал задания на вход системы управления оппозитной оси поступает через функцию изменения знака.

Результат моделирования системы позиционирования i -ой оси показан на рисунке 2а.

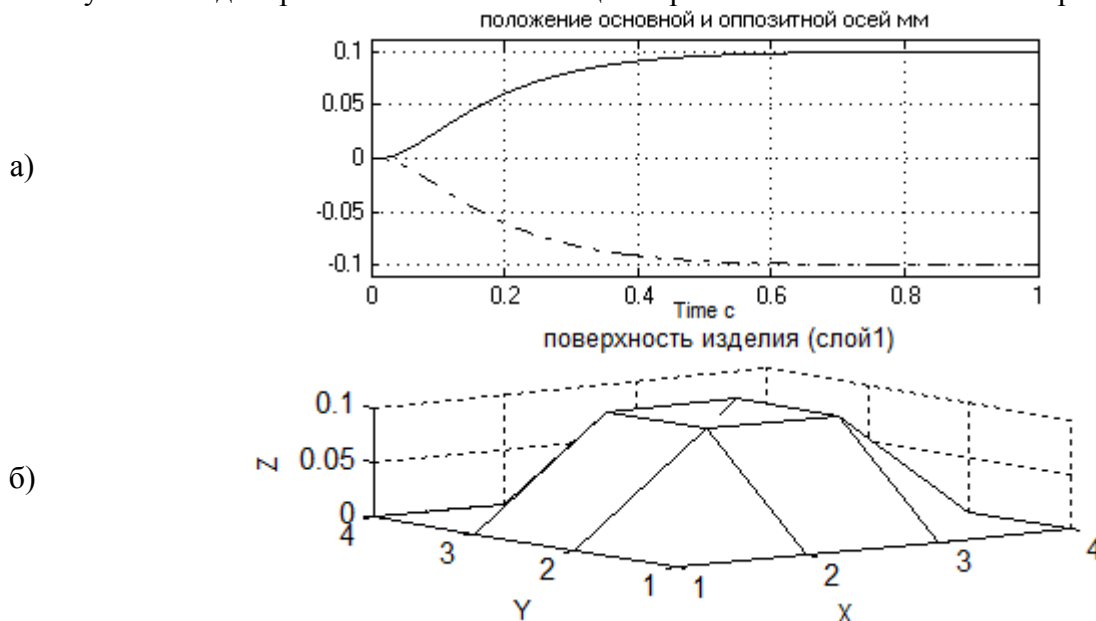


Рис. 2 – Результаты моделирования системы позиционирования
а) – переходные процессы по углу; б) – поверхность изделия (слой1)

Алгоритм послойного формирования трехмерной поверхности изделия для многоосевой штамповочно-прессовой машины приведён на рисунке 3.

Силовые электроцилиндры закреплены в узловых точках плоскости XY.

Перемещение штоков цилиндров происходит в направлении оси Z, пока ложно условие $Z_{i,j} \geq Z_{i,j \max}$. Переменная $Z_{i,j}$ является задающим воздействием на позиционный привод, расположенный в узловой точке плоскости XY с координатами i,j .

Тестирование алгоритма формирования трехмерной поверхности изделия выполнялось на модели изображенной на рисунке 4. Параметры модели: $R_s=0.96$; $L_d=0.00525$; $L_q=0.00225$; $p_n=4$; $F_0=0.183$; $J=0.13$; $K_{ai}=200$; $K_w=0.1$; $K_{id}=1$; $K_{iq}=1$; $T_{ai}=0.0002$; $T_u=0.003$; $K_{dp}=1$; $i_r=1$; $N=18.06$. Координаты поверхности изделия заданы в массиве $Z_{\max}$ (рисунок 4б). Поверхность формируется с шагом $\Delta Z = 0,1$ мм. Результат формирования первого слоя поверхности изделия моделью, показан на рисунке 2б.

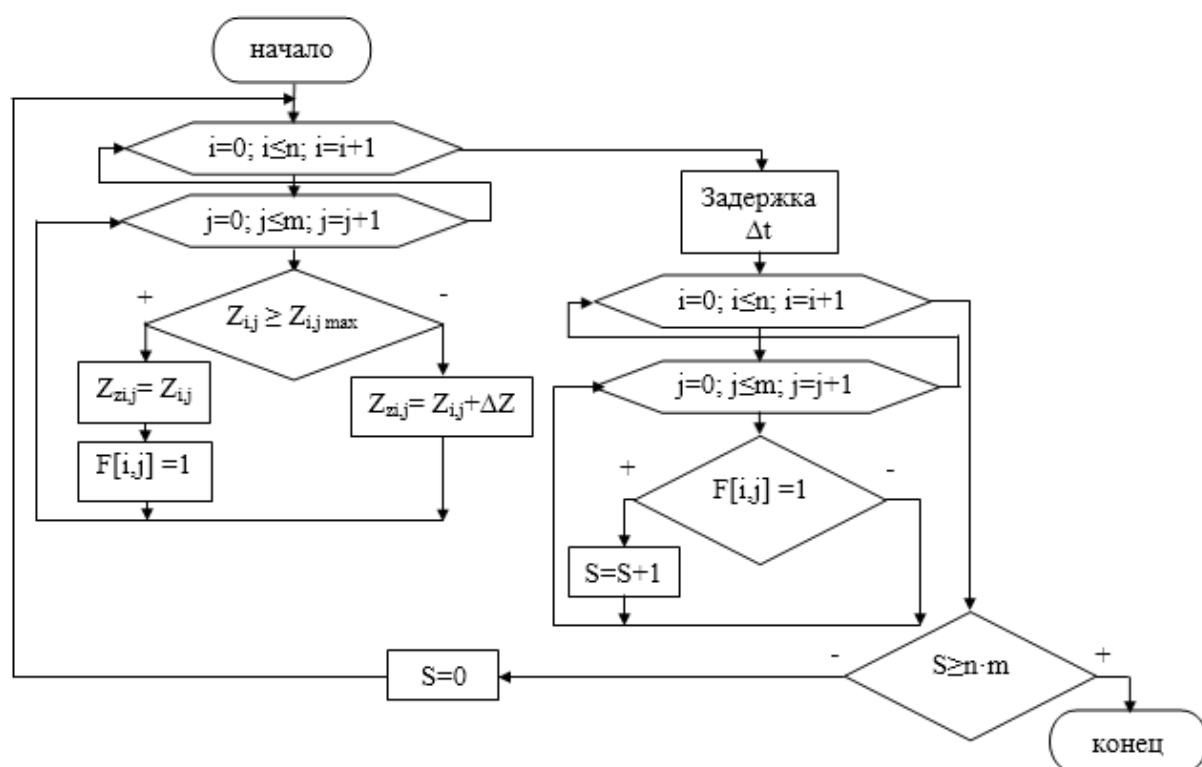
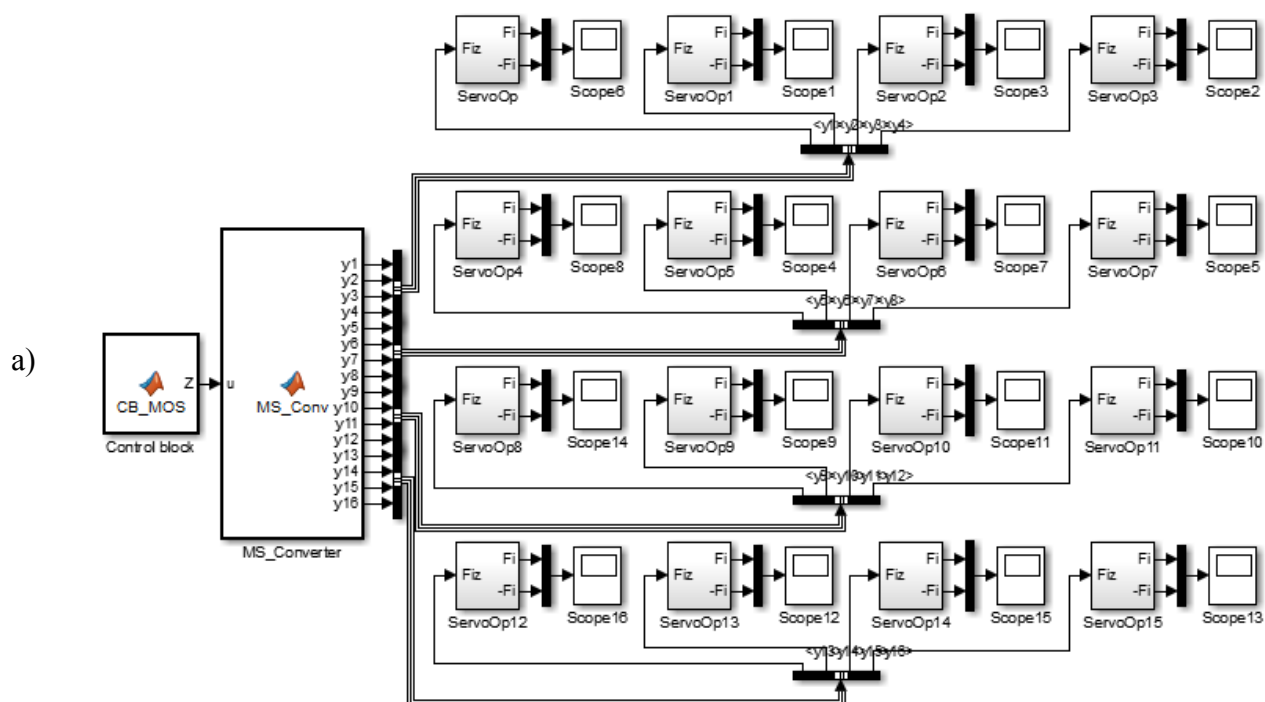


Рис.3 – Алгоритм формирования трехмерной поверхности изделия



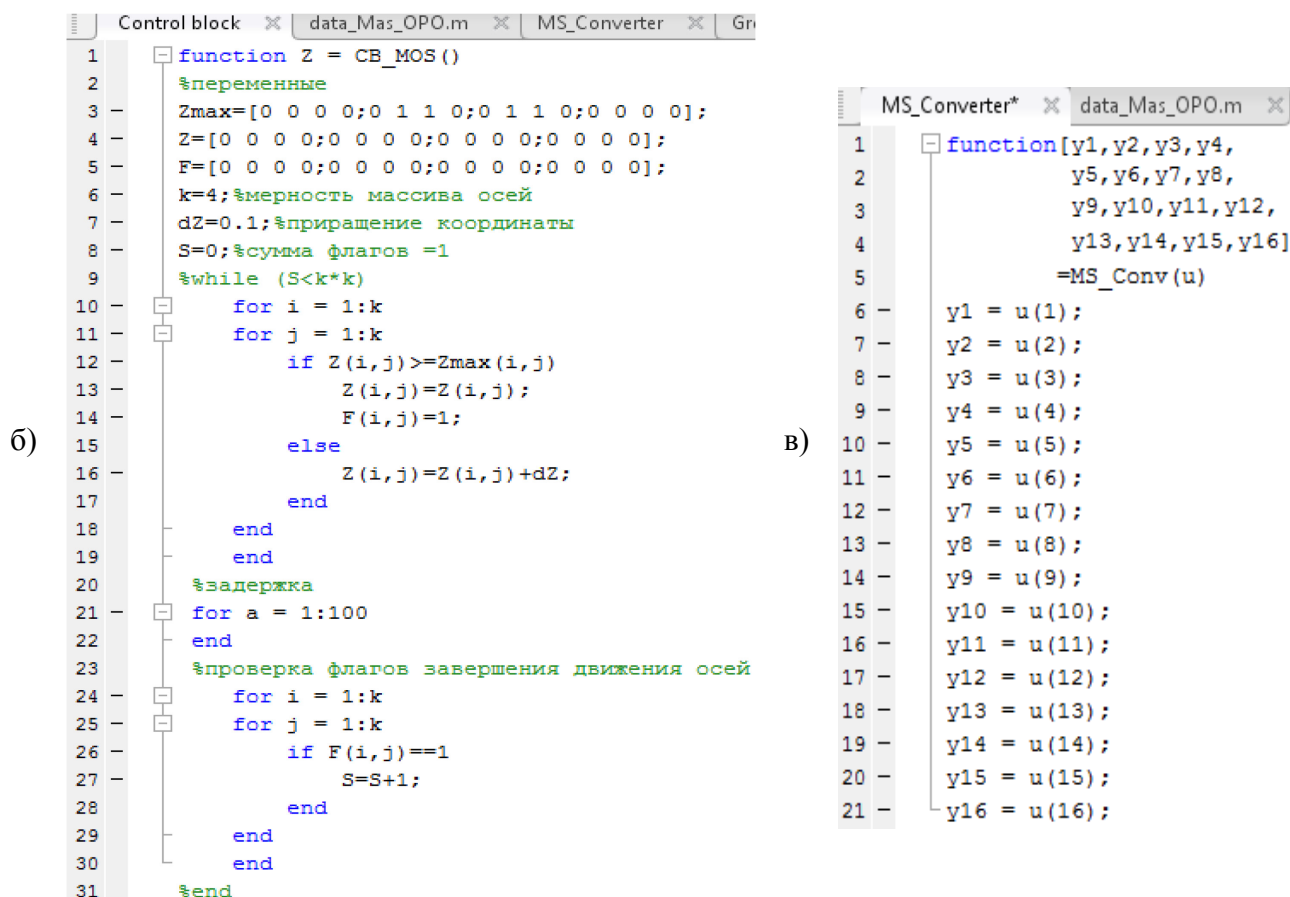


Рис. 4 – Модель системы управления многоосевым электроприводом
 а) – структурная схема; б) – реализация алгоритма формирования поверхности;
 в) – функция преобразования матрица-скаляр

Полученные результаты позволяют заключить, что спроектированная система управления многокоординатным позиционным электроприводом штамповочно-прессовой машины работоспособна, и может послужить прототипом при создании реальной установки обработки металлов давлением.

Список литературы

1. Горев Б.В. Технология формообразования крупногабаритных деталей из листа и плит в режиме ползучести // Технология машиностроения. – 2008. – № 2. – С.11–17.
2. Герман-Галкин С.Г. Matlab/Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С.Г. Герман-Галкин – С.-Пб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
3. Egorov V.A., Egorova J.G. Modernization of Setting for Symmetrical Optimum // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) Publisher IEEE. art. no.8934360. Vladivostok. Russia. (DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934360).

2.3.3. (05.13.06)

С.В. Костин

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Белгород, serg.vlad1994@mail.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КИНЕМАТИКИ ДЕЛЬТА-РОБОТА ДЛЯ СОРТИРОВКИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

В статье проведён сравнительный анализ существующих методов решения прямой (ПЗК) и обратной (ОЗК) задач кинематики параллельных дельта-роботов. Продемонстрированы преимущества алгоритмов автоматизированного решения задач кинематики при использовании их в системах автоматизации дельта-роботов по сравнению с уже имеющимися способами. Также предоставлена количественная оценка эффективности автоматизированных алгоритмов решения задач кинематики.

Ключевые слова: *Математическое моделирование, сортировка отходов, задачи кинематики, параллельный робот.*

Введение

В современной промышленности роботы выполняют погрузку, разгрузку, сварку, окраску, складирование, дефектоскопию, обработку деталей и прочее. Более подробный обзор применения дельта-роботов представлен в работе [1]. Для оптимального управления промышленным дельта-роботом необходимо иметь его математическую модель, которая заключается в решении ПЗК и ОЗК, как, например, в работах [2 – 5].

Сравнительный анализ известных методов решения задач кинематики.

Для роботов последовательной структуры существует общее решение ОЗК и ПЗК. Для параллельных манипуляторов, в которые входят дельта-роботы, необходимо решать ПЗК и ОЗК индивидуально для каждой структуры [6 – 8]. Это увеличивает объёмы вычислений и не позволяет прийти к единому решению. Тем не менее, есть исследования по синтезу обобщённого алгоритма решения задач кинематики как для опытных экземпляров, так и для серийных промышленных роботов [9]. Проанализируем отдельно существующие подходы к решению ПЗК и ОЗК параллельного дельта-робота.

Представленный в [7] алгоритм удобен для вычислений. На его основе можно синтезировать обобщённый способ решения ПЗК. Авторы [6] также исследовали вопрос решения задач кинематики для дельта-робота. Однако алгоритм предложен только для дельта-робота с тремя звеньями и основан на решении квадратных уравнений.

При решении ОЗК используют различные подходы. Например, в [3] используется матричный подход. В этом случае требуется решить порядка четырёх матричных уравнений. В работе [10] решение ОЗК синтезировано исключительно для одной структуры параллельного манипулятора. Этот алгоритм невозможно применять к разным видам дельта-роботов. Авторы работы [11] синтезировали универсальный алгоритм решения ОЗК для целого класса дельта-роботов с правильным многоугольником в основании. В дальнейшем будет рассматриваться оценка эффективности алгоритма, представленного в [11].

Оценка эффективности алгоритмов автоматизированного решения

Предложенная в статье [11] методика является применимой для любого дельта-робота с основанием в виде правильного многоугольника. Для использования алгоритма в системах управления роботами нет необходимости вычислять координаты шарнира J_1 каждого ребра по формулам, предложенным в [11], так как они нужны только для визуализации рассчитанной конфигурации дельта-робота. Это позволяет оптимизировать объём вычислений, сократив его на $3k$ этапов, где k – количество рёбер. Как видно, объём вычислений меньше, чем для манипулятора последовательной структуры, которая

предполагает вычисление углов поворота приводов по трём осям в каждом шарнире. В дельта-роботе необходимо выполнить расчёт угла поворота каждого привода лишь в одной плоскости. Рассмотрим для сравнения системы управления последовательным манипулятором с K звеньями, и параллельным дельта-роботом с K рёбрами. Объем вычислений, который необходим для решения ОЗК для последовательного робота составляет:

$$N_1(K) = K(rot_x + rot_y + rot_z + tran), \quad (1)$$

где rot – операция поворота по соответствующей оси. В выражение (1) для которого входят тригонометрические функции; $tran$ – операция параллельного переноса вдоль звена робота. Для дельта-робота оценка количества вычислений имеет вид:

$$N_2(K) = KB, \quad (2)$$

где B – операция вычисления угла β , представленная в [11]. В состав (2) входят выражения для вычисления длин векторов. Таким образом, для решения ОЗК дельта-робота необходимо выполнить минимум на $3K$ меньше укрупнённых этапов математических вычислений по сравнению с решением ОЗК последовательного манипулятора.

В работах [3, 10] решение ОЗК выполняется с помощью систем квадратных уравнений. Предложенный в исследовании [11] метод является менее затратным, так как вместо повышения порядка системы квадратных уравнений использует только одно математическое соотношение. Таким образом, разработанный в работе [11] алгоритм позволяет решать ОЗК с меньшими затратами и не требует перенастройки для решения ОЗК целого класса дельта-роботов с правильным многоугольником в основании.

Важной характеристикой робота является размер и вид его рабочей зоны, которая строится с помощью многократного решения ПЗК. Исходными данными для решения ПЗК служат конструктивные размеры робота и углы поворота приводов, которые находятся в пределах от 90^0 до 235^0 .

Для построения рабочей зоны дельта-робота необходимо решить ПЗК $(\Delta\beta/q)^N$ раз. На каждом шаге угол поворота каждого привода изменяется с шагом q . Диапазон поворота каждого привода равен $\Delta\beta$. Количество рёбер робота равно N . Оценка эффективности построения рабочей зоны дельта-робота определяется соотношением (3):

$$\mu = (\Delta\beta/q)^N / ((\Delta\beta/q)^{KM})^{KM}, \quad (3)$$

где K – количество звеньев робота, M – число степеней свободы каждого звена, N – количество рёбер робота. Для решения ПЗК дельта-робота необходимо выполнить в $1/\mu$ раз меньше математических операций по сравнению с решением ПЗК последовательного робота. Из анализа исследований [6, 7] видно, что основной способ решения ПЗК – использование квадратных уравнений и их систем, что требует значительных вычислительных ресурсов. Разработанный в исследовании [11] алгоритм позволяет без дополнительных доработок решать ПЗК параллельных дельта-роботов с правильным многоугольником в основании, являясь универсальным для целого класса роботов. Полученные математические соотношения позволяют сделать вывод об эффективности представленных в [11] методов решения задач кинематики дельта-робота. По сравнению с манипулятором последовательной структуры и вычисления углов поворота его приводов, расчёт углов поворота приводов дельта роботов требует меньше, что снижает нагрузку на систему автоматического управления.

Заключение

Итак, разработанный в [11] алгоритм требует выполнения на $3k$ меньше операций по сравнению методами решения задач кинематики последовательных роботов, где k – количество рёбер параллельного дельта-робота и количество звеньев соответствующего параллельного робота. По сравнению с методами решения задач кинематики, разработанные алгоритмы не используют уравнения высокого порядка, что также позволяет оптимизировать требования к вычислительной мощности. Эти факты позволяют ускорить процесс

сортировки и производительность комплекса. Результаты исследования можно использовать при проектировании промышленных роботизированных комплексов сортировки бытовых отходов, а также при изучении кинематики параллельных манипуляторов.

Работа выполнена в рамках гранта ФСИ «Разработка роботизированной технологической линии сортировки бытовых отходов на основе технического зрения», договор от 04 июля 2020 г № 15536ГУ/2020.

Список литературы

1. *Костин С.В.* Особенности применения робототехнических комплексов на базе дельта-роботов // *Science and world*. 2019. № 11 (75). Vol. I.
2. *Рашиоян Г.В.* Структурный синтез роботов параллельной структуры на основе теории винтов и понятия взаимности // *Фундаментальные исследования*. 2016. №12. С. 771 – 776.
3. *Avizzano C.A., Filippeschi A., Villegas J. M. J., Ruffaldi E.* An Optimal Geometric Model for Clavels Delta Robot // 2015 IEEE European Modelling Symposium (EMS). 2015. P. 232 – 237.
4. *Brinker J., Corves B., Wahle M.* Comparative Study of Inverse Dynamics based on Clavel's Delta robot // *Proceedings of the 14th IFToMM World Congress*. 2015. P. 220 – 230.
5. *Coronado E., Maya M., Cardenas A., Guarneros O., Piovesan D.* Vision-based Control of a Delta Parallel Robot via Linear Camera-Space Manipulation // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2017. V. 85(1). P. 93–106.
6. *Князев И.В., Масальский Г.Б.* Решение прямой задачи кинематики для дельта-параллельного робота // *Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив Свободный-2016»*, посвящённая Году образования в Содружестве Независимых Государств: сборник материалов. Красноярск. 2016. С.17 – 19.
7. *Лапиков А.Л., Пащенко В.Н.* Алгоритм решения прямой задачи кинематики многосекционного манипулятора параллельной структуры // *Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн.* 2014. N12. С. 128 – 136.
8. *Shen H., Yang L., Zhu X., Li J., Yin H.* A Method for Structure Coupling-Reducing of Parallel Mechanisms // *Intelligent Robotics and Applications. 8th International Conference, ICIRA 2015*. 2015. Part 3. P. 199 – 210.
9. *Lu X., Zhao Y., Liu M.* Self-Learning Interval Type-2 Fuzzy Neural Network Controllers for Trajectory Control of a Delta Parallel Robot // *Neurocomputing*. 2018. N283. P. 107 – 119.
10. *Романов А.В., Пащенко В.Н.* Решение обратной задачи кинематики для манипулятора параллельной структуры с тремя степенями свободы на базе кривошипно-шатунного механизма // *Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн.* 2015. № 9. С. 53 – 68.
11. *Костин С.В., Шамраев А.А.* Синтез математической модели дельта-робота для использования в задачах сортировки твёрдых бытовых отходов // *Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2020): сборник материалов VIII Международной научно-технической конференции (г. Белгород, 24-25 сентября, 2020 г).* 2020. – С. 209 – 213.

2.3.3. (05.13.06)

С.В. Кунев, М.О. Давыдов

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва»,
институт электроники и светотехники,
кафедра метрологии, стандартизации и сертификации,
Саранск, maksfuckyeah@bk.ru, univ21@list.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ПОВЕРКЕ СЧЕТЧИКОВ ГАЗА

В данной работе рассмотрены основные нормативные документы, регламентирующие процессы поверки счетчиков газа. Проведен анализ основных алгоритмов расчета погрешности при поверке, согласно применяемой нормативной документации. А также разработано программное обеспечение для расчета данной погрешности в целях автоматизации процесса поверки счетчиков газа.

Ключевые слова: *счетчик газа, поверка, автоматизация, погрешность, методика поверки, многократные измерения, язык программирования.*

В качества приборов учета природного газа, как в промышленности, так и в бытовой сфере, применяются счетчики газа. Данные средства измерений при использовании их в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений (в большинстве областей применения счетчиков газа) подлежат обязательной поверке. Согласно [1] поверка средств измерений осуществляется по методике поверки, установленной при проведении испытаний средства измерений в целях утверждения типа и указанной в описании типа средства измерений.

В настоящее время поверка счетчиков газа проводится по методикам поверки, изложенным в [2], [3], предполагает проведение многократных измерений с последующей обработкой результатов измерений для расчета погрешности и последующего установления пригодности средства измерения к дальнейшей эксплуатации.

Многократные измерения применяются в большинстве случаев при проведении измерений, они являются самыми распространенными. При многократных измерениях минимальное число измерений должно быть больше трех. Многократные измерения для одной и той же величины постоянного размера производиться при повышенных требованиях к точности измерений. Преимущество многократных измерений заключается в том, что значительно снижаются влияния случайных факторов, поступающих извне и влияющих на погрешность измерений.

Для определения погрешностей многократных измерений в отечественной практике используется методика, описанная в [4]. Методика распространяется только для результатов измерений, принадлежащих нормальному закону распределения.

Данная методика предлагает ряд этапов обработки многократных измерений, на этих этапах предполагается определение ряда параметров:

- среднее арифметическое значение исправленных результатов измерений;
- смещенное среднее квадратическое отклонение;
- среднее квадратическое отклонение среднего арифметического (оценки измеряемой величины);
- доверительные границы (без учета знака) случайной погрешности оценки измеряемой величины;
- границу не исключённой систематической погрешности оценки измеряемой величины;
- доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины.

В данной методике также предусмотрено исключение грубых погрешностей измерения. Для этого применяется критерий Граббса, который предполагает учёт грубых погрешностей, через сравнение минимального и максимального значения результатов измерения с табличным значением (критерий G_T).

Для автоматизации процесса обработки результатов многократных измерений с целью упрощения оценки погрешности результатов измерения и увеличения производительности работ организаций, занимающихся поверкой за счет сокращения времени на расчет погрешности, была разработана программное обеспечение для автоматического расчета погрешности результатов многократных измерений.

Разработка данной программы осуществлялась на языке программирования C, в среде Microsoft Visual Studio.

Язык C – это универсальный язык программирования, для которого характерны экономичность выражения, современный набор операторов и типов данных. Язык C не связан с какими-либо определенными аппаратными средствами или системами, и на нем легко писать программы, которые можно пропускать без изменений на любой ЭВМ, имеющей C-компилятор. Язык Си является универсальным языком программирования.

Microsoft Visual Studio — линейка продуктов компании Microsoft, включающих интегрированную среду разработки программного обеспечения и ряд других инструментальных средств. Visual Studio включает в себя редактор исходного кода с поддержкой технологии IntelliSense и возможностью простейшего рефакторинга кода. Остальные встраиваемые инструменты включают в себя редактор форм для упрощения создания графического интерфейса приложения, веб-редактор, дизайнер классов и дизайнер схемы базы данных [5].

Создание данной программы осуществлялось через цикл while. Цикл while – это простой цикл со структурой, изображенной на рисунке 1. Он является преусловным циклом, и он выполняется только тогда, когда условие верно [6].

```
while ( /*условие*/ )  
{  
    // тело цикл - тут находится код, который необходимо повторять  
}
```

Рис. 1 – структура написания цикла While

Тело цикла начинает выполняться, если условие цикла – истинно. Условие представляет собой логическое выражение. То есть условие может быть абсолютно любым — любое сочетание логических выражений.

Также при разработке были использованы следующие массивы и переменные:

- а) массив Znach – отвечает за хранение значений;
- б) массив ZnachNSP – отвечает за хранение значений НСП;
- в) переменные EffectSizeArray и EffectSizeArray2 – отвечают за хранение размерности массивов значений и значений НСП;
- г) переменная dover отвечает за хранение доверительной вероятности;
- д) массивы grabs99 и grabs95 – отвечают за хранение табличных значений Граббса для доверительной вероятности 0,99 и 0,95;
- е) массивы Student95 и Student99 – отвечают за хранение табличных значений Стьюдента для доверительной вероятности 0,95 и 0,99;
- ж) переменные kold, kold2, I, ker и sreds являются вспомогательными;
- з) переменные SredZnach, sko и skox – отвечают за хранение среднего значения, СКО и СКО среднего арифметического соответственно;
- и) массивы qvantil1, qvantil5, qvantil95 и qvantil99 нужны для хранения табличных значений квантилей распределения 1%, 5%, 95% и 99% соответственно;
- к) массивы g1, g2 и g5 нужны для хранения табличных значений нужных для проверки 2-го критерия.

Данная программа рассчитана на расчет погрешности не более 40 результатов измерения, в которых может учитываться до трех составляющих неисключенной систематической погрешности, а также в программе есть возможность использования двух уровней значимости 95% и 99%.

Ниже представлен элемент кода, который отвечает за расчёт по критерию Граббса (рисунок 2).

```
//критерий граббса
if ((dover = 99) and (EffectSizeArray<40)) {
    prik = grabs99[EffectSizeArray - 1];
}
else if ((dover = 95) and (EffectSizeArray >= 40)) { prik = grabs99[39 - 2]; }

if ((dover = 95) and (EffectSizeArray < 40)) {
    prik = grabs95[EffectSizeArray - 1];
}
else if ((dover = 95) and (EffectSizeArray >= 40)) { prik = grabs95[39 - 2]; }
```

Рис. 2 – Элемент кода расчета критерия Граббса

Если обнаруживается грубая ошибка, то программа удаляет из результатов измерений, тот результат измерения, который является ошибочным и повторно проводит вычисления без учета промаха.

Разработанная программа может быть использована для расчета погрешности результатов многократных измерений. Кроме того, она позволит сократить время на обработку результатов измерения и исключить возможную ошибку оператора при вычислениях.

Список литературы

1. Российская федерация. Законы. Об обеспечении единства измерений : Федеральный закон № 102-ФЗ: текст с изменениями и дополнениями на 8 декабря 2020: [принят Государственной думой 11 июня 2008 года : одобрен Советом Федерации 18 июня года]. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : [сайт информ.-правовой компании]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904. – Режим доступа: сеть интернет.
2. ГОСТ 8.324–2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Счетчики газа. Методика поверки – Взамен ГОСТ 8.324-78 ; введ. 01.01.2004. – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии ; М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 11 с.
3. МИ 2944–2005 Инструкция. Счетчики газа бытовые. Методика поверки на месте эксплуатации с помощью эталонного счетчика. – Введена впервые ; введ. 19.05.2005. – Федеральное государственное унитарное предприятие Всероссийский научно-исследовательский институт расходометрии ; Казань, 2004. – 8 с.
4. ГОСТ Р 8.736–2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. – Введен впервые ; введ. 13.11.2011. - Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии ; М. : Стандартинформ, 2012. – 12 с.
5. Керниган Б.В. Язык программирования Си [Электронный ресурс] / Б. В. Керниган, Д. М. Ритчи. – Режим доступа: https://ee.kpi.ua/~prat/edu/books/programming/c/1_K_R.pdf.
6. Microsoft Visual Studio [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio.

2.3.3. (05.13.06)

Е.Н. Леонов, канд. техн. наук, И.Н. Гладков

ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет,
Институт промышленных технологий и инжиниринга,
кафедра электроэнергетики,
Тюмень, leonoven@tyuiu.ru

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВИРТУАЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИНДУСТРИИ 4.0

Рассматриваются технические и эксплуатационные требования к виртуальным электростанциям, поддерживаемые технологиями индустрии 4.0, для функциональной совместимости и интеграции их в сети распределенной генерации.

Ключевые слова: *распределенная генерация, виртуальная электрическая станция, индустрия 4.0, эксплуатационные требования.*

Введение

Трудности организации систем с виртуальными электростанциями (ВЭС) обусловлены с их сложной структурой, возникающих при интеграции нескольких источников распределенной генерации (РГ), а также необходимостью быстрого реагирования на изменение нагрузки потребителей, сложностью инструментов регулирования, требующих более высокого уровня цифровизации [1].

В настоящее время Индустрия 4.0 выступает ключевым фактором как горизонтальной, так и вертикальной интеграции сложных систем. Она в режиме реального времени обеспечивает оптимальные энергетические операции, распределение, прогнозирование, ценообразование и реагирование на спрос для предприятий. А также учитывает технические и экономические ограничения, в том числе связанные с кибербезопасностью.

Чтобы удовлетворить требования к энергообеспечению в реальном времени, а также требования надежности, гибкости, устойчивости, операционным системам требуются автоматизированные интеллектуальные распределенные технологии и интерфейсы управления, методы обработки данных, протоколы и облачные платформы.

Обеспечение этих требований от нескольких источников РГ привело к появлению и объединения функционирования ВЭС. При надлежащем проектировании эта технология компенсирует истощение и рост стоимости традиционных энергоресурсов, особенно сейчас, когда централизованное производство энергии все больше смещается в сторону управления РГ; когда операции управления системами не могут быть выполнены без учета базовых требований, как со стороны системы, так и со стороны РГ.

Реконфигурация сети поставок дает конкурентные преимущества за счет прогнозного управления и представляет собой более гибкую и отказоустойчивую сеть, которая сокращает путь доставки энергии потребителю, улучшает качество электроснабжения потребителей, повышать экономию и КПД системы. Прогнозирование нагрузки потребителей при межсетевом взаимодействии повышает степень надёжности и качества электроснабжения.

Реагирование на изменение нагрузки меняет настройки сети, которая определяет конечного потребителя в цепи поставок. Для достижения системной цели приоритизации критических нагрузок, экономии затрат на электроэнергию, энергоэффективности и снижения пиковой нагрузки сеть с помощью передовых технологий связи и управления использует политику ценообразования в зависимости от нагрузки, более эффективное планирование энергопотребления и взаимозаменяемое планирование мощности для производства и контроля энергии.

Влияние концепции «Индустрия 4.0» на работу виртуальных электростанций

Индустрия 4.0 – это полная автоматизация облачной шины данных четвертого уровня, которая, как ожидается, повысит глобальную конкурентоспособность и откроет тенденцию к производству энергии внутри страны. Это интегрированная технологическая инфраструктура с программным сервисом, который подключает, отслеживает, прогнозирует, планирует, анализирует и оптимизирует любую систему для получения оптимальной производительности. Его основные системные составляющие включают в себя датчики и измерительные устройства, сети передачи данных (LAN и WAN), встроенные вычисления (обеспечивают эффективный локальный контроль и автоматизированную работу физических систем), облачные вычисления (масштабируемая платформа программного обеспечения для оптимизации и управления), аналитику больших данных (выделение полезной информации из огромного количества сенсорных и рабочих данных), системный инжиниринг (оптимальное проектирование, проверка и валидация сложных крупномасштабных систем) и алгоритмы адаптивного и прогнозирующего управления (динамическая оптимизация работы системы с учетом безопасности, производительности и других ограничений). Его отличительные особенности включают адаптируемость к любой сети и требованиям к данным, явное управление интерфейсом (сочетает в себе множество программных модулей и возможность координации команды); избирательность источника (находит и доставляет именно нужные данные в нужное место и в нужное время); и независимость от сервера.

Программный сервер формирует ключевые драйверы для всего спектра прогнозов и постоянно отслеживает и обменивается информацией о текущем уровне запасов энергии, выявляет проблемы и изменяет уровни спроса с помощью скоординированного процесса и обеспечивает поставку, а также качество энергии на рынке. Встроенные электронные устройства, датчики и интерфейсы подключения в цифровом виде соединяются друг с другом, образуя интегрированную платформу для быстрого и глубокого анализа данных, которая обеспечивает более глубокое понимание процесса принятия решений. Интернет вещей (IoT), межмашинное взаимодействие (M2M) и киберфизические системы, архиваторы данных необходимы для реализации Индустрии 4.0, а программно-определяемые сети (рис. 1) – это новая концепция, которая может помочь в общении устройств, являющихся частью сети, способствующей оцифровке ВЭС.

Программно-определяемая сеть позволяет коммуницировать устройствам Индустрии 4.0 и формировать стек шлюзов с сетевыми устройствами РГ и облаком.

Индустрия 4.0 в ВЭС это технология, основанная на революционном шаге, который обеспечивает энергосбережение в установках. Это приводит к увеличению производительности, а также к улучшению организационной и производственной эффективности. Тем не менее она сталкивается с проблемами в оцифровке объектов ВЭС, которые связаны с требованиями к совместимости, кибербезопасности, надежности, доступности и задержке информационных потоков для критически важных систем интеллектуальной инфраструктуры, требования которых отличаются для обычных потребительских приложений. Важной проблемой является безопасность данных и постоянное обновление серверов хранения.

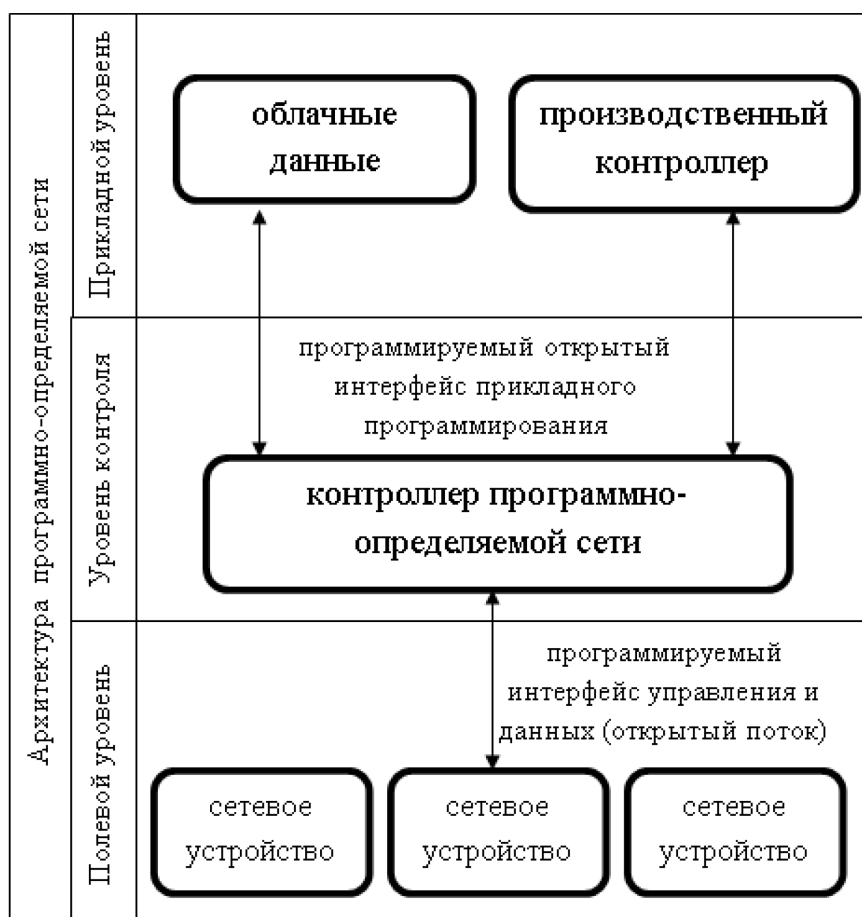


Рис. 1 – Архитектура программно-определяемой сети с производственным контроллером

Процесс системной интеграции

Интегрированное решение обеспечивает оптимизированную работу децентрализованного контроллера РГ, что позволяет гибко регулировать производство энергии с минимальным риском. В литературе не существует основы разработки и проектирования ВЭС, исследование структуры таких ВЭС проведены в относительно небольшом числе работ, например [2, 3].

Сложная киберфизическая и иерархическая структура ВЭС обеспечивает баланс мощности в энергосистеме, используя двунаправленную сетевую структуру, распределенную интеллектуальную систему принятия решений. В системе используется многоагентный подход обмена информацией между источниками, сетями и потребителями электроэнергии, основанный на событиях, с использованием общей стратегии экономии энергоресурсов. Для достижения большей интеграции ВЭС использует Индустрию 4.0 для оптимизации планирования, текущего и суточного прогнозирования изменения нагрузки, погоды, данных генератора и цен на электроэнергию в режиме реального времени. Этот интеллектуальный энергетический баланс опирается на управление техническим обслуживанием, а также постоянный мониторинг износа, поломок с помощью интеллектуальных датчиков. Изменения в производстве и поставках, а также учет ресурсов выполняются заранее. Это создает новые бизнес-модели сотрудничества производителей и потребителей энергии, сетевых организаций и сервисных компаний.

На рисунке 2 приведены блоки, которые формируют оперативное управление функциональными возможностями ВЭС.



Рис. 2 – Интерактивный процесс операционных функций ВЭС

Заключение

Сложность виртуальной электростанции требует согласованных усилий по интеграции системы, конфигурации, вариантов компонентов, операционного анализа и других требований к их управлению. Интеграция технических требований, пакетов программ, информации через Индустрию 4.0 обеспечивает взаимодействие участников энергетического рынка.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р.
2. Головицков В.О. Виртуальная электростанция – новый субъект рынка электроэнергии (проблемы функционирования и развития) // В сборнике: Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2017. – С. 87-91.
3. Виртуальные электростанции. Модели функционирования / Маняйкин А.А., Маняйкина Т.Н., Черных Н.В. // В сборнике: Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 2019. – С. 227-230.

2.3.3. (05.13.06)

**Т.Г. Орешенко канд. техн. наук, Д.К. Лобанов канд. техн. наук,
Е.Г. Баранова, С.В. Харлашина**

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева,
Красноярск, veisver@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СТЫКОМ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧЕМ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ ПОРООБРАЗОВАНИЯ

В статье составлена модель порообразования, а так же для получения качественных сварных соединений предложена усовершенствованная система слежения за стыком, обеспечивающая соблюдение наиболее универсальной технологической рекомендации о применении круговой развертки луча.

Ключевые слова: порообразование, сварной шов, сварка, поры.

Задаче автоматизации технологических процессов сварки посвящено множество работ, в том числе и современных [7]. На сегодняшний день разработаны способы формирования качественных сварных соединений, как материалов больших толщин, так и тонких листовых. Несмотря на это, в процессе отработки режимов автоматизированной сварки новых изделий дефекты сварных швов являются явлением частым, что в случае автоматизированной электронно-лучевой сварки вызывает необходимость неоднократных повторных проходов с вакуумированием камеры, что удлиняет стадию технологической подготовки производства в разы из-за необходимости контроля образцов с получением шлифов и их последующей микроскопии. Исходя из этого, актуальной остается задача автоматизации подбора режимов электронно-лучевой сварки по результатам порообразования.

Порообразование относится к сложным физико-химическим явлениям. Его развитие протекает в несколько стадий: формирование микропор, развитие пор в объеме сварочной ванны в процессе диффузии и коалесценции, дегазация ванны за счет всплывания пузырьков [1].

В промышленных сплавах алюминия уже имеются микропоры. Поэтому образование пор в алюминиевых сплавах логичнее рассматривать как процесс развития микропор в поры. Микропоры возникают в междендритном пространстве, в местах расположения включений, примесей, легирующих элементов. При кристаллизации не успевшие покинуть сварочную ванну пузырьки превращаются в поры. Увеличение микропор в объеме происходит в жидком металле в результате диффузии в них водорода, растворенного в металле. В пузырьках атомарный водород переходит в молекулярную форму и создает в них определенное давление, уравнивающееся внешним давлением, оказываемое на пузырек. В период, когда размер поры мал – она будет оставаться сферической, благодаря силе поверхностного натяжения. При росте пор в междендритном пространстве – форма поры будет заметно отличаться от сферической вследствие неодновременности затвердевания основного металла и включений [2]. Таким образом, данный процесс оказывается, направлен на установление равновесия в системе газ – металл.

Рассмотрим подробнее процесс электронно-лучевой сварки в целях составления модели порообразования.

Предположим, что одиночная пора радиуса r_0 находится в жидком металле ванны. Дальнейшее поведение поры будет определяться выталкивающей (архимедовой) силой и равнодействующей сил поверхностного натяжения в неоднородно нагретой жидкости. Кроме того, пора будет перемещаться вместе с движением металла сварочной ванны, характер которого зависит от формы и размеров ванны, места расположения пузырька и других факторов.

В большинстве литературных источников динамику всплытия пузырька рассматривают без учета нестационарных связей, однако они играют важную роль в ряде многих процессов. В связи с этим необходимо оценить динамику изменения формы пузырька в различных режимах всплытия с учетом нестационарных сил.

В простейшем случае для определения динамики всплытия сферической поры диаметром D в жидкости, то есть для нахождения зависимости скорости всплытия пузырька от времени $u(t)$, можно использовать уравнение движения пузырька в форме второго закона Ньютона с учетом силы тяжести, силы Архимеда, вязкости жидкости и стоксовского режима движения в проекции на ось z , направленную вертикально вверх (противоположно направлению вектору ускорения свободного падения g)

$$\frac{du}{dt} = g\left(\frac{\rho_{ж}}{\rho_z} - 1\right) - \frac{18\mu}{\rho_z D^2} u \quad (1)$$

где $\rho_{ж}$ - плотность расплава, г/мм³, ρ_z - плотность газа, г/мм³, μ - динамическая вязкость жидкости Па·с [7].

Для случая стационарного всплытия [7]

$$u_0 = \frac{(\rho_{ж} - \rho_z) D^2}{18\mu} g \quad (2)$$

Видно, что скорость стационарного всплытия пузырька пропорциональна квадрату диаметра. Максимальный диаметр пузырька D_{max} , для которого выполняется условие стоксовского режима ($Re \ll 1$)

$$Re = \frac{\rho_{ж} (\rho_{ж} - \rho_z) D^3}{18\mu^2} g \quad (3)$$

Отсюда, при $Re=1$ получим D_{max} :

$$D_{max} = \sqrt[3]{\frac{18\mu^2}{\rho_{ж} (\rho_{ж} - \rho_z) g}} \quad (4)$$

Прочие динамические параметры определяются путем решения уравнения (1).

Так при $A = \frac{18\mu}{\rho_z D^2}$ и $B = \left(\frac{\rho_{ж}}{\rho_z} - 1\right)g$ зависимость скорости всплытия пузырька от времени

$$u(t) = \frac{B}{A} [1 - \exp(-At)] \quad (5)$$

Иначе:

$$u = u_0 \left[1 - \exp\left(-t \frac{18\mu}{\rho_z D^2}\right) \right]$$

Всплытие пузырька с учетом присоединенной массы идет медленнее, чем без учета присоединенной массы.

Поскольку температура в сварочной ванне распределяется неравномерно, то движущийся пузырек будет попадать в зоны с различной температурой, что приведет к изменению скорости его всплывания, так как входящие в формулу величины плотности и вязкости зависят от температуры расплава [8]

$$\left. \begin{aligned} \rho_{жс} &= a - b(T - T_{пл}) \\ \mu &= c + \frac{d}{T^2} \\ \sigma &= \sigma_{пл} - \frac{d\sigma}{dT}(T - T_{пл}) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

здесь $a, b, c, d, \frac{d\sigma}{dT}$ - коэффициенты, зависящие от типа металла или сплава; $T_{пл}, \sigma_{пл}$ - температура и поверхностное натяжение в точке плавления, К.

Равнодействующая сил поверхностного натяжения является результатом неравномерного сжатия пузырька и направлена в сторону увеличения температуры металла и стремится перемещать газовый пузырек практически по нормали. Переносная скорость перемещения газового пузырька в ванне равна скорости движения жидкого металла, величина которой зависит от параметров режима сварки. Скорость осевого потока жидкого металла достигает наибольшей величины в нижней части кратера ванны и по мере перемещения в хвостовую часть ванны замедляется.

Условия дальнейшего роста поверхности поры F для ЭЛС можно получить из модели, описанной в [3], если давлением в сварочной камере пренебречь

$$F > 5,4 \frac{\sigma^3}{P_g} \quad (7)$$

При этом поверхностное натяжение зависит от температуры как

$$\sigma(T) = \sigma_0 - K(T - T_0) \quad (8)$$

где σ_0 – поверхностное натяжение при температуре T_0 .

$$K = \frac{d\sigma}{dT} - \text{константа.}$$

Если неравенство не выполняется, то газ из пузырька растворяется в металле.

Полученные соотношения должны быть дополнены распределениями температуры и вязкости при ЭЛС

$$T = T_0 + \frac{Q}{2\pi\lambda\delta} e^{-\frac{vx}{2a}} \left(r \sqrt{\frac{v^2}{4a^2} + \frac{b}{a}} \right) \quad (9)$$

$$\sigma = \sigma_{пл} - \frac{d\sigma}{dT}(T - T_{пл}) \quad (10)$$

$$a = \frac{\lambda}{c\rho} \quad (11)$$

где ρ – плотность расплава, г/мм³, c – теплоемкость при постоянном давлении, Дж/К, T – абсолютная температура, К, v – скорость сварки, мм/с, Q – теплота от имеющихся источников, Дж, λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(мм·К), x, r – координаты, мм, δ – толщина свариваемых деталей, мм, b – коэффициент, зависящий от сплава, σ – поверхностное натяжение, Н/мм. Подставляя значение T в σ , а затем, в рассматриваемое неравенство, получим

$$F > 5,4 \frac{\left(\sigma_0 - \frac{KQre^{-cvx\rho} \sqrt{c^2 \rho^2 v^2 + 4b\lambda\rho}}{4\pi\lambda(\sigma_0 - K(T - T_0))} \right)^3}{P_g}$$

Модуляция тока луча не рассматривалась вследствие того, что многочисленные попытки модуляции тока пучка, равно как и осцилляция уровня фокусировки при сварке металлов средней и большой толщины не дали положительных результатов (имеют место интенсивное разбрызгивание металла и образование подрезов с обеих сторон пучка) [4].

Тем не менее, при сканировании электронным пучком стыка изделия происходит изменение распределения температуры на поверхности свариваемых деталей, возникают центробежные силы. Температурное поле на поверхности канала проплавления при круговой развертке можно представить следующим образом [5]

$$T \approx T_{cp} + \Delta T \sin(2\pi ft - \varphi) \quad (12)$$

$$\Delta T \approx 0.4 \frac{q\eta \sin \alpha}{\lambda} \sqrt{\frac{ad}{fr}}, \quad (13)$$

где φ – азимутальный угол между направлением сварки и рассматриваемой точкой сварочной ванны, T_{cp} – средняя температура парогазового канала, К, ΔT – амплитуда изменения температуры, К, q – плотность мощности в пучке электронов (в тепловых единицах), Дж, η – КПД передачи энергии пучком, d – диаметр пучка, мм, α – угол встречи пучка в поверхность канала проплавления.

Синусоидальная составляющая температуры вызывает турбулентные течения в сварочной ванне и поперечную составляющую силы, действующую на газовые пузырьки, вызывая их подъем с глубины по спиральной траектории с радиусом, равным радиусу сканирования плюс ширина зоны термического влияния.

В условиях равенства всех сил (Бассе, Архимеда, тяжести, поверхностного натяжения и силы, возникающей под действием сканирования электронного луча) форма пузырька будет приближена к сферической. Преобладание одной из них будет изменять форму в определенном направлении.

Решение неравенства для F позволяет оценить размер поры, а также осуществить его минимизацию подбором соответствующих параметров технологического процесса, входящих в неравенство. А при автоматическом контроле формирования сварного шва в процессе электронно-лучевой сварки в режиме реального времени, данное неравенство можно использовать непосредственно в ходе процесса во избежание необходимости увеличения количества свариваемых образцов.

Следует отметить, что с увеличением скорости сварки до некоторого значения количество пор в шве значительно снижается. Это связано с уменьшением температурного влияния на металл деталей, и, как следствие, с уменьшением испарения и перехода зародышей пор в более крупные поры. С повышением скорости поры становятся мельче, форма их шарообразна. При превышении критической скорости поры снова начинают возникать в шве в районе прохождения парогазового канала из-за быстрого охлаждения (Рис. 1).

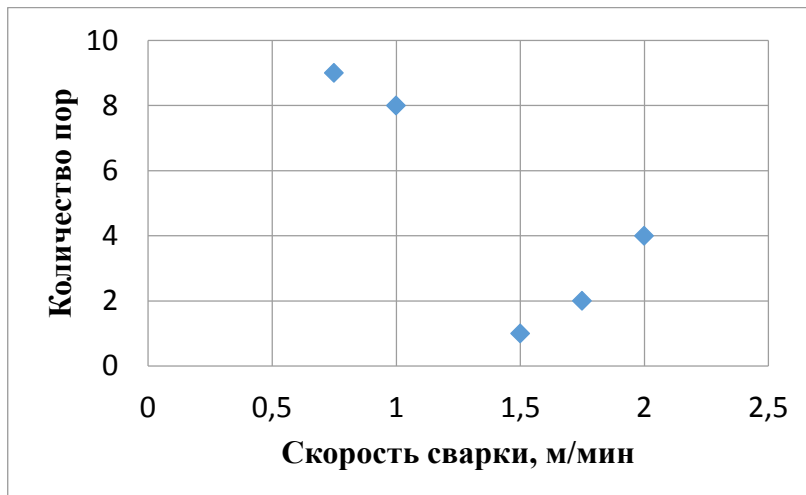


Рис. 1 – Зависимость количества пор от скорости сварки алюминиево-титанового сплава

Поры, возникающие при различных скоростях сварки, встречаются в различных частях шва – как в верхней части, так и ближе к корню. При меньших скоростях пузырьки газа успевают подняться ближе к поверхности и поры расположены выше. А при больших скоростях сварки металл охлаждается и затвердевает быстрее, не давая порам вырасти и подняться выше.

При промежуточных скоростях сварки и охлаждения формируются так называемые червоточины – междендритные поры, имеющие вытянутую форму. Их форма обусловлена ростом зародыша поры в межкристаллитном пространстве, в то время, когда большая часть кристалла уже образовалась.

Пористость формируется не только в жидком состоянии, но и в твердой фазе, к примеру, в зоне термического влияния, или в затвердевшей сварочной ванне во время ее охлаждения. Такая пористость имеет размер примерно 1-2 микрона в диаметре. Тем не менее, при многопроходной сварке такие поры объединяются и могут вырастать. Применение предварительных проходов в целях подогрева сварочной ванны способствует лучшей дегазации сварочной ванны вследствие того, что при предварительной проходе зародыши пор объединяются в более крупные пузырьки, а уже при выполнении ЭЛС данные пузырьки обладают достаточным диаметром для быстрого выхода на поверхность.

Расфокусировка электронного луча также оказывает значительное влияние на формирование пористости при ЭЛС. Эта величина определяет пористость, вызываемую схлапыванием парогазового канала. Проведенные исследования показывают, что фокусировка луча оказывает избирательное воздействие на величину пористости (Рис. 2).

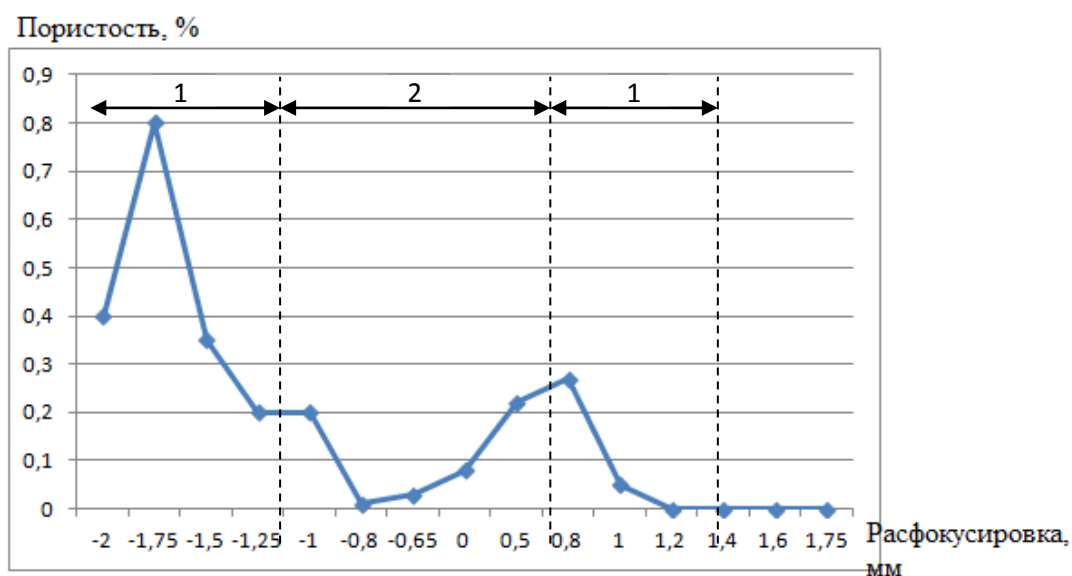


Рис. 2 – Пористость, образованная при различных величинах расфокусировки луча при скорости сварки 0,5 м/мин: 1 – нестабильный парогазовый канал; 2 – стабильный парогазовый канал

С уменьшением скорости сварки сплава АМгб с 50 до 10 м/ч объем пор возрастает более чем в 40 раз, что хорошо коррелируется с ранними исследованиями, проводимыми в данном направлении [6]. Особенно резко содержание пор увеличивается при снижении скорости ниже критической – для АМгб это 10 м/ч. Это можно объяснить перегревом сварочной ванны и интенсивным испарением магния. С увеличением скорости сварки количество газовых пор в сварных соединениях из сплава АМгб значительно сокращается, а плотность швов повышается. Форма же пор в данном случае, определяемая газовой пористостью, представляет собой сферическую.

Анализ изменения формы пор и скорости их перемещения в стыке указывает на зависимость формы от технологических параметров сварочного процесса. С увеличением пятна нагрева и зоны температурного влияния количество и размеры пор увеличиваются.

При скоростях сварки ниже критической образуются узкие вытянутые поры-червоточины, обусловленные скоплением газа между кристаллитами застывающего металла. На основании этого разработаны технологические рекомендации, направленные на снижение пористости в процессе сварки экспериментальных и обрабатываемых сплавов (Таблица).

Таблица – Классификация вариантов формы и размещения пор в сварных соединениях, полученных ЭЛС

Дефект	Причина	Способ устранения
Мелкая локализованная пористость	Высокое содержание в основном металле растворенных газов и других примесей и неметаллических включений	Дегазация металла, применение круговой развертки электронного луча
Цепочка мелких пор (диаметром 0,01...0,075 мм) вблизи линии сплавления на отдельных участках шва	Дефекты обработки кромок свариваемых поверхностей, наличие оксидной пленки, наличие забоин и вмятин	Алмазная обработка поверхности и обезжиривание стыкуемых поверхностей, а также расширение зазора для отвода газов, применение круговой развертки электронного луча
Крупные поры ближе к поверхности, иногда подрезы	Расфокусировка электронного луча	Настройка фокусировки путем изменения тока фокусировки, применение круговой развертки электронного луча
Поры в нижней части шва при сварке с полным проплавлением	Высокая скорость сварки при большой толщине металла	Снижение скорости сварки, применение круговой развертки электронного луча
Крупная вытянутая пора на линии сплавления в середине толщины ванны	Образование парогазового мешка при высокой скорости сварки	Снижение скорости сварки
Повторяющаяся пористость в шве появляющаяся после технического обслуживания сварочной пушки	Отсутствие юстировки	Юстировка и настройка ЭЛП с помощью технологических приспособлений

Наиболее универсальной рекомендацией для получения качественных сварных соединений, которую возможно реализовать, является применение круговой развертки электронного луча. С учетом этого можно предложить усовершенствованную систему слежения за стыком (Рис. 3), позволяющую организовать перемешивание расплава в сварочной ванне.

Список литературы

1. Зусин В.Я., Серенко В.А. Сварки и наплавка алюминия и его сплавов / В.Я. Зусин, В.А. Серенко. Мариуполь.: изд-во «Рената», 2004. – 468с.
2. Formation and distribution of porosity in Al-Si welds / P-A Legait, A thesis submitted to the faculty of the Worcester polytechnic institute in partial fulfillment of the requirements for the degree of masters of science in material science and engineering, May 2005.
3. Акопянц К.С. Предотвращение образования корневых дефектов при электроннолучевой сварке // Автоматическая сварка №6 (375), 1984. – С. 59-61.
4. Кайдалов А.А., Назаренко О.К. Основные технологические приемы сварки электронным пучком / Автоматическая сварка №4 (397), 1986. – С. 51-58.
5. Негода Е.Н. Тепловые процессы при сварке: учеб. пособие / Е.Н. Негода; Дальневосточный государственный технический университет. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. – 125 с.
6. Бондарев А.А., Воропай Н.М., Ищенко А.Я., Рабкин Д.М. Влияние технологических факторов на пористость швов на алюминии, выполненных электроннолучевой сваркой / Автоматическая сварка №8 (233), 1972. – С. 24-26.
7. Орешенко Т.Г., Орешенко П.Ю., Якубович О.П. Изменение формы пористости при электронно-лучевой сварке алюминиевых сплавов / Тез. докл. XXXV Всерос. конф. по проблемам науки и технологий, Миасс: МСНТ, 2015
8. [Электронный ресурс] режим обращения: <http://www.spetsselectrode.ru/download/kinetika-obrazovaniya-gazovih-puzirkov/3.htm> (Дата обращения 02.12.2020)

2.3.3. (05.13.06)

А.В. Пенязь, П.Р. Черепанова, Я.И. Шамлицкий

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева,
Красноярск,

АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТЕВОГО ОБЩЕНИЯ

В данной статье обоснована актуальность исследования, с учетом применения программных средств для внутреннего общения. Проведен анализ имеющихся программных средств по шкале критериев. Выбран наиболее подходящий сервис для внутреннего общения. Показан пример использования сервиса Telegram для корпоративного общения. В завершении рассмотрены перспективы дальнейшего развития.

Ключевые слова: *сетевое общение, корпоративное общение, социальные сети.*

Работая в сети Internet, мы очень часто встречаемся с разного рода многопользовательскими программами. Огромную популярность имеют программные средства для организации сетевого общения, так как в них сконцентрирована очень большая и активная аудитория [1]. Каждый человек в наше время не может обойтись без общения удаленно. Потребность в использовании таких средств возрастает с каждым днем, хоть и их существует довольно большое количество.

Для всего этого используется программное обеспечение, которое и выполняет часть функций человека, заменяет бумажные хранилища данных и ускоряет работу.

Особенности применения программных средств для внутреннего общения

Средства коммуникации для современной организации – это инструмент, во многом определяющий успех компании и ее способность налаживания коммуникации внутри коллектива. Сегодня управление коммуникациями в организациях невозможно представить без внедрения информационных технологий, позволяющих значительно упростить построение контактов как внутри компании, так и с внешними адресатами.

Внедрение программных средств для внутреннего общения дает такие возможности как повышение оперативности и эффективности контактов, получение нужной информации в короткие сроки, связь со всеми сотрудниками. Корпоративные средства связи - хорошее решение для крупных компаний, которым требуется не только обеспечить сотрудников удобным средством связи, но и формировать корпоративную культуру, осуществлять рассылку новостей и сплочение сотрудников, а также безопасное хранение документации, доступность ко всему контенту или контактам персонала, преодоление расстояния, быстрая адаптация к коллективу, возможность неформального общения, повышение лояльности [1].

Анализ имеющихся средств сетевого общения

Сетевое общение можно реализовывать с помощью различных программных обеспечений. Виды таких обеспечений представлены на рисунке 1. Эта схема отражает основные типы ПО для организации сетевого общения.

Каждый вид сетевого общения должен выполнять необходимые функции, например, возможность работать с информационными ресурсами, рассылать данные, пересылать необходимые файлы и уведомлять о новостях, составлять свой досуг [4].

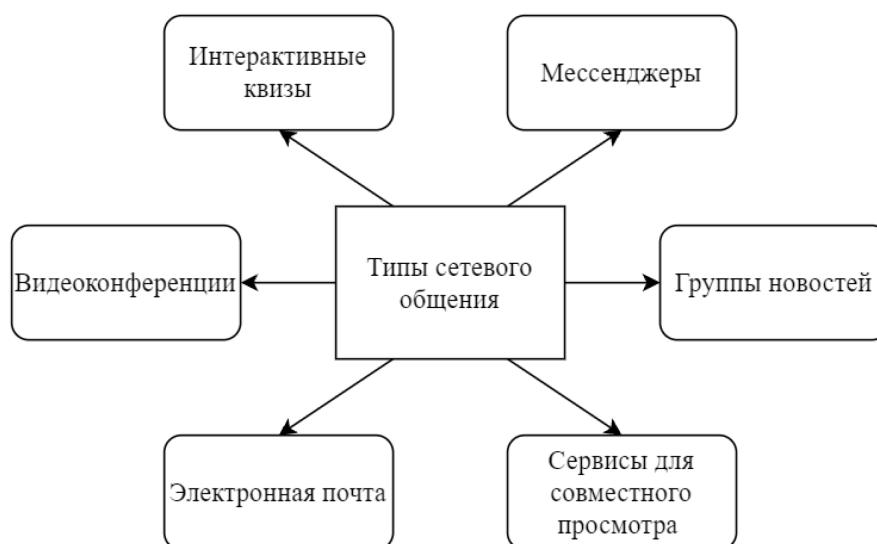


Рис.1 – Виды ПО для организации сетевого общения

Для сравнения продуктов сетевого общения необходимо выделить критерии, по которым будем проводить сравнение. Эти критерии основаны на пожеланиях пользователей.

- Плата за пользование
- Наличие чатов и живой ленты
- Есть ли функционал комментариев и насколько он широк
- Интеграция с облачными хранилищами, какова база?
- Сколько Гб для хранения в облаке
- Хранение файлов в одном месте
- Удобство интерфейса
- Общие возможности функционала

Для анализа были выбраны одни из самых востребованных программных обеспечений, такие как:

- Битрикс24.Офис
- YouGile
- Telegram

Анализируя программные обеспечения, которые представлены выше, составлена таблица 1, ориентируясь на критерии, которые были оглашены в начале пункта.

Таблица 1 – Критерии оценивания сетевых программных обеспечений

Критерий/Программные средства	Битрикс24.Офис	YouGile	Telegram
Плата за пользование	До 5 пользователей - бесплатно	До 10 сотрудников-бесплатно	бесплатно
Наличие чатов и живой ленты	Личные и групповые чаты + Живая лента	Чат в каждой задаче	Личные и групповые чаты
Функционал комментариев	Комментарии можно скрыть и удалить	Все действия с комментариями возможны	Доступны комментарии в личных и групповых чатах
Интеграция с облачными хранилищами	Dropbox, Google Диск, Яндекс.Диск, OneDrive	нет	нет

Место на облаке	5 гб	Нет – на бесплатном тарифе	Не ограничено, но файл не должен превышать 1,5Гб, а также хранение в чате с самим собой
Где хранятся файлы?	Группы и задачи	Можно закрепить в чате, в чатах, в группах	В личных и групповых чатах

Изучив таблицу, можно выделить 2 сервиса, которые по своему функционалу не уступают друг другу. Это “YouGile” и “Telegram”. “YouGile” будет удобен организациям, которые конкретно структурируют свои технические задания и придерживаются точного плана выполнения задач. “Telegram” в свою очередь многопользовательское обеспечение доступное на многих устройствах, в котором доступны звонки, чат, и файлы можно группировать по папкам.

Пример использования сети “Telegram” для решения задач корпоративного общения

Так как “Telegram” бесплатное приложение, доступное на многих устройствах, любой пользователь не столкнется с проблемами при установке и регистрации. После руководство организации создает групповой чат, в котором будет основное общение и обмен документами. Далее представлен интерактивный пример использования приложения внутри отдела. На рисунке 2 виден прототип общения в чате сотрудников отдела, а также вкладка для вложений. В том числе есть функция закрепления сообщений.

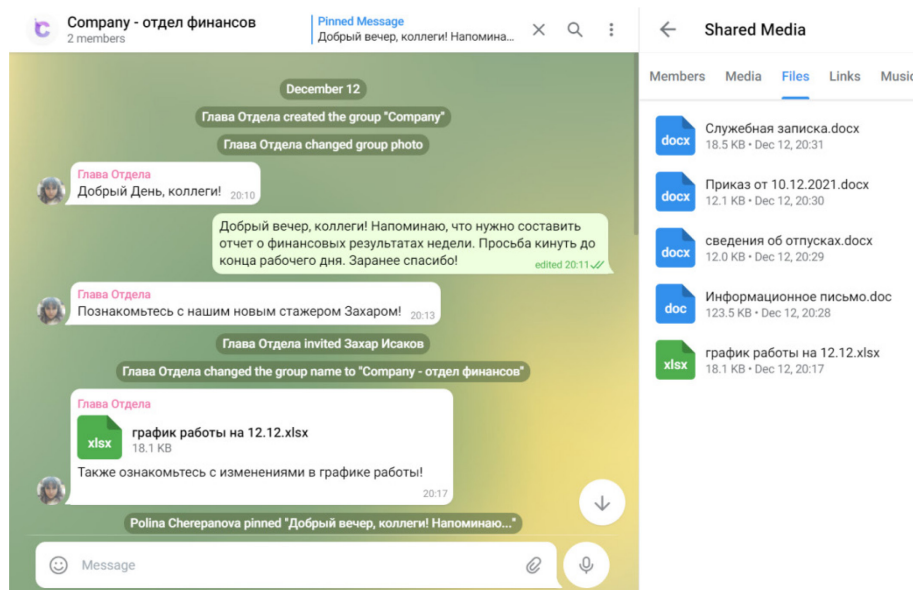


Рис. 2 – Пример чата в Telegram

В “Telegram” доступны аудио или видео звонки. Можно планировать их заранее, и все собеседники увидят время через сколько он начнется. Если время до звонка осталось, но пользователь уже хочет начать созвон, то можно нажать на кнопку “Начать сейчас”. Начало звонка показано на рисунке. На рисунке 3 виден функционал самого звонка, т.е. видно кто говорит. Есть кнопки для включения и выключения камеры с микрофоном, для выхода из звонка, а также кнопка для добавления участников.

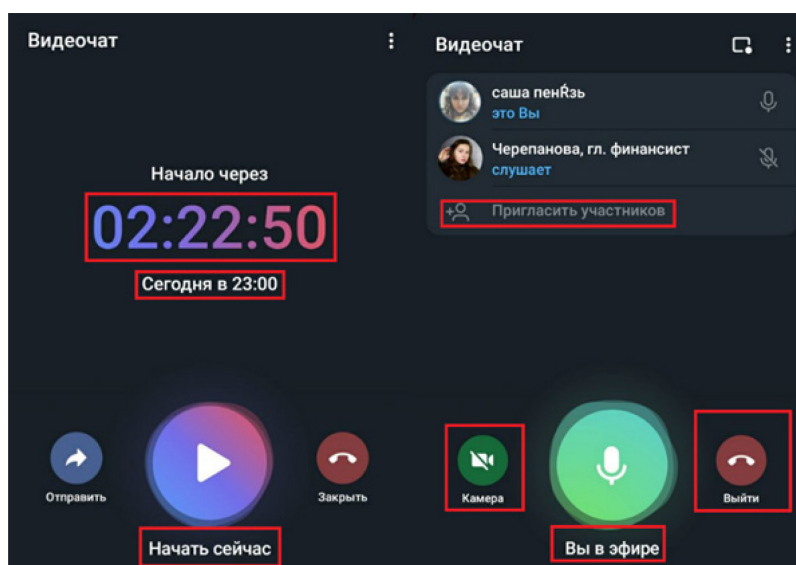


Рис. 3 – Видеоконференция в Telegram

Также на рисунке справа представлен пример самого видеосовещания, в котором указан лектор - человек, который в данный момент говорит, а также слушателей. Администраторы чата в праве приглашать гостей, которые не состоят в основном чате. Это будет полезно при переговорах с представителями других компаний. Также можно заметить, что можно выйти из конференции, а если вы являетесь администратором, то и закончить собрание по надобности.

Выше был представлен пример сетевого общения внутри организации в приложении “Telegram”. Были показаны главные функции, которые могут пригодиться в работе, такие как обмен файлами, обмен сообщениями, выполнение групповых звонков. “Telegram” очень прост в использовании, поэтому будет удобен каждой компании.

Общий вывод, анализ применения, перспективы развития

Процессы развития современных средств для организации сетевого общения очень стремительны, поэтому дальнейших перспектив в их использовании большое количество. Существует множество программных обеспечений, в которых содержится очень много функций. Порой из-за огромного количества лишних функций работа с программой становится слишком трудоемкой. Поэтому в средствах для организации сетевого общения главное мощная работа программы, а также комфортный и полезный функционал. В ПО необходимо иметь возможность обмена данными, поддерживать связь со всеми сотрудниками, а остальные функции может определять сама организация, в зависимости от своей отрасли работ. В будущем разработчики должны учитывать новые технологии для дальнейшего развития сетевого общения внутри компаний, так как это актуально в сфере трудовой деятельности.

Список литературы

1. Средства коммуникации для современной организации: сайт. – Москва, 2021 г. -.- URL: <https://www.prostoy.ru/2562.html> (дата обращения 10.12.2021) - Текст: электронный.
2. Информационное обеспечение персонала, или, как выстроить диалог в компании по вертикали и горизонтали: сайт. – Москва, 2021 г. -.- URL: https://aif.ru/boostbook/informatsionnoe-obespechenie-personala.html#Sposoby* (дата обращения 09.12.2021) – Текст: электронный.
3. Сетевое программное обеспечение: организация коллективной деятельности.: сайт – Москва, 2021 г. -.- URL: <https://fb.ru/article/255795/setevoe-programmnoe-obespechenie-organizatsiya-kollektivnoy-deyatelnosti> (дата обращения 11.12.2021) - Текст: электронный.
4. Функции Telegram: сайт. – Москва, 2021 г. -.- URL: https://protelegram.ru/2017/08/09/telegram_settings/ (дата обращения 13.12.2021) – Текст: электронный.
5. Telegram в качестве файлообменника.: сайт – Москва, 2021 г. -.- URL: <https://droidnews.ru/kak-ispolzovat-telegram-v-kachestve-fajloobmennika> (дата обращения 13.12.2021) - Текст: электронный.

2.3.3. (05.13.06)

**Н.Г. Семенова д-р педагог. наук, канд. техн. наук,
А.М. Семенов канд. техн. наук, Л.А. Влацкая канд. техн. наук**

Оренбургский государственный университет,
кафедра автоматизированного электропривода, электромеханики и электротехники,
Оренбург, ng_sem@mail.ru

НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЕТРО-ДИЗЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Статья посвящена разработке системы нечеткого вывода, обеспечивающей выбор режима работы ветро-дизельного комплекса (ВДК) и учитывающей факторы неопределенности работы ВДК по двум переменным: скорость ветра и энергопотребление. Представлены: характеристики термов входных и выходной переменных, матрица принятия решения по выбору режима работы ВДК; упрощенная имитационная модель нечеткой системы управления ВДК, позволяющая провести ее апробирование с использованием реальных данных, поступающих на вход системы управления ВДК. Сформулированы задачи дальнейшего исследования.

Ключевые слова: нечеткое моделирование, алгоритм Мамдани, ветро-дизельный комплекс, система нечеткого управления.

Одним из основных направлений государственной программы РФ «Социально-экономическое развитие Арктической зоны РФ» является развитие электроэнергетики с учетом географических (удаленность, труднодоступность, изолированность) и климатических (сильные ветра, отсутствие солнечного света на протяжении нескольких месяцев) особенностей территорий Арктики и Крайнего Севера [1]. В связи с этим актуальным и значимым становится разработка и развитие ветро-дизельных комплексов (ВДК), сочетающих в себе интеграцию традиционных источников энергии (дизель-генератор (ДГ)) и возобновляемых (ветрогенератор (ВГ)).

В состав системы управления ВДК, предназначенной для решения локальных задач, входят задающий блок и регулятор выходных переменных. Основными направлениями в области проектирования и модификации регуляторов ВДК определены следующие: использование пропорционально-интегрально-дифференцирующего (ПИД) регулятора; управление с прогнозирующей моделью; управление с использованием методов искусственного интеллекта.

Нечёткая логика наиболее подходит для решения задач оценки управления и принятия решений в области ветроэнергетики. Для нечеткого управления ВДК авторами предложено использовать две входные лингвистические переменные: «Скорость ветра», «Энергопотребление» и одну выходную: «Режим».

На основании экспертных оценок специалистов, эксплуатирующих ВДК, и опыта работы авторов статьи в области инженерии знаний составлены таблицы 1- 4, определяющих тип, параметры функции принадлежности $\mu(x)$ и прототип базы правил [2, 3].

Таблица 1 – Термы переменной «Скорость ветра», V

№	Название терма, V	Диапазон терма, м/с	Тип $\mu(V)$	Мощность ВГ, кВт
1	Очень низкая скорость ветра	0 - 3	Z	0
2	Низкая скорость ветра	3 - 7	Π	0 - 50
3	Средняя скорость ветра	7 - 11	Π	80 - 220
4	Высокая скорость ветра	11 - 25	Π	$P_{\text{ном}}$
5	Очень высокая скорость ветра	более 25	S	Отключение ВГ, во избежание механических повреждений.

Таблица 2 – Термы переменной «Энергопотребление», P

№	Название терма, P	Диапазон терма, кВт	Тип $\mu(P)$	Возможные режимы работы
1	Очень малое энергопотребление	0 - 150	Z	Нецелесообразно замещать генерацию ДГ генерацией ВГ
2	Малое энергопотребление	150 - 200	Π	Возможно замещать генерацию ДГ генерацией ВГ
3	Среднее энергопотребление	200 - 400	Π	Наиболее приемлем совместный режим ДГ и ВГ
4	Высокое энергопотребление	более 400	S	Целесообразна совместная работа ДГ и ВГ

Таблица 3 – Термы переменной «Режим», R

№	Название терма, R	Тип $\mu(R)$	Режимы работы ВДК
1	Только дизель	Z	ВДК работает только на ДГ, выработка энергии с ВГ отсутствует
2	Ветер - дизель	Δ	Режим ВДК характеризуется совместной работой ДГ и ВГ
3	Только ветер	S	ВДК работает только за счет выработки энергии ВГ при отключенном ДГ

Таблица 4 – Матрица принятия решения по определению режима ВДК

Скорость, V Мощность, P	Очень низкая V	Низкая V	Средняя V	Высокая V	Очень высокая V
Очень малая P	Только дизель	Только дизель	Только ветер	Только ветер	Только дизель
Малая P	Только дизель	Ветер-дизель	Только ветер	Только ветер	Только дизель
Средняя P	Только дизель	Ветер-дизель	Ветер-дизель	Только ветер	Только дизель
Высокая P	Только дизель	Ветер-дизель	Ветер-дизель	Ветер-дизель	Только дизель

Разработанные терм-множества лингвистических переменных и нечеткая база правил позволяют разработать систему нечеткого вывода для определения режима работы ВДК на основе алгоритма Мамдани [4]. На основных его этапах реализации использовались стандартные методы:

– агрегирование: $b_i = \min\{\mu(V), \mu(P)\}$;

– активизация: $\mu_i(R) = \min\{c_i, \mu(R)\}$;

– аккумулярование: $\mu_i(R) = \max\{\mu(R)\}$,

а на этапе дефаззификации – метод центра тяжести:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^k R_i \mu(R_i)}{\sum_{i=1}^k \mu(R_i)}.$$

Функциональная структура нечеткого регулятора, разработанного в приложении Fuzzy Logic Designer в среде MatLab, представлена на рисунке 1.

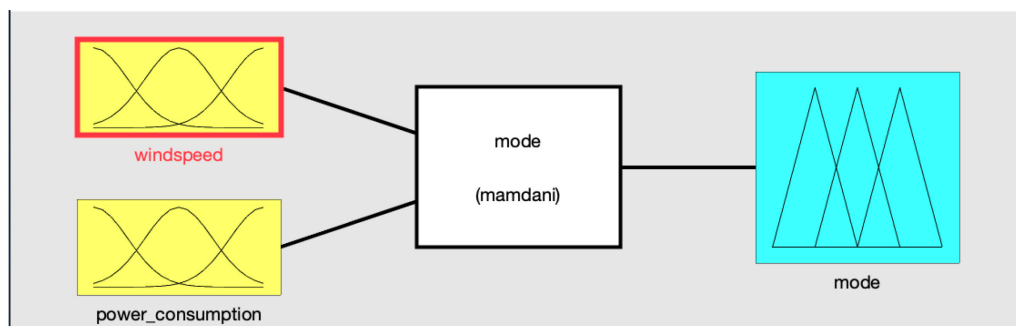


Рис. 1 – Функциональная структура нечеткой системы управления ВДК

На рисунке 1 введены следующие обозначения: «windspeed» - скорость ветра; «power_consumption» - энергопотребление; «mode» - режим.

Приложение Fuzzy Logic Designer среды MatLab позволяет протестировать разработанную базу лингвистических правил через подпрограмму Rule Viewer, рисунок 2.

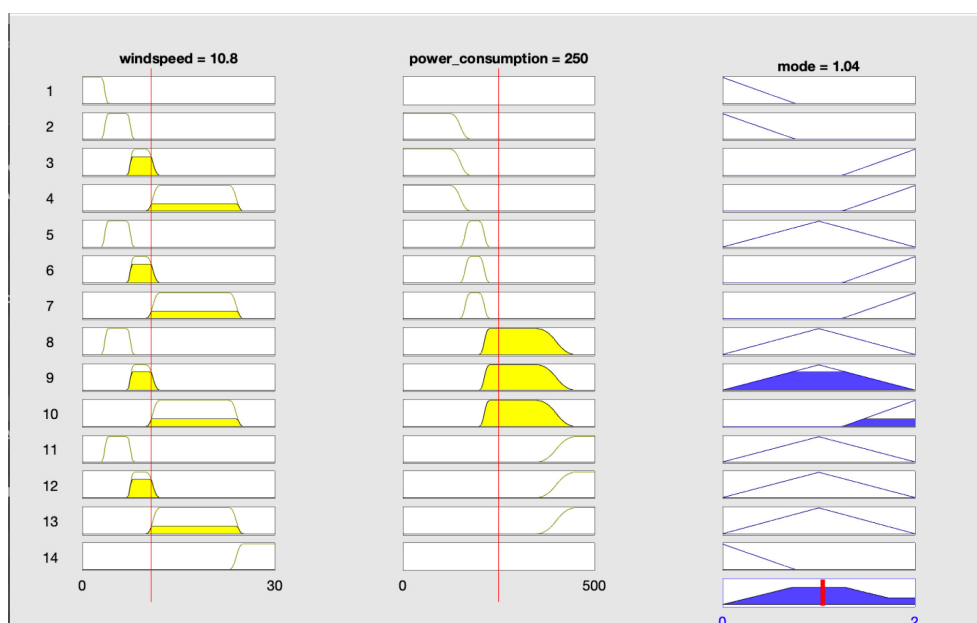


Рис. 2 – Тестирование алгоритма нечеткого вывода

Из рисунка 2 очевидно, что при скорости ветра 10,8 м/с, находящейся в пограничной области между термами «средняя» и «высокая», и «среднем» энергопотреблении режим работы ВДК определяется как «Ветер-Дизель».

Апробирование алгоритма нечеткого вывода для системы управления ВДК осуществлено на упрощенной имитационной модели, рисунок 3.

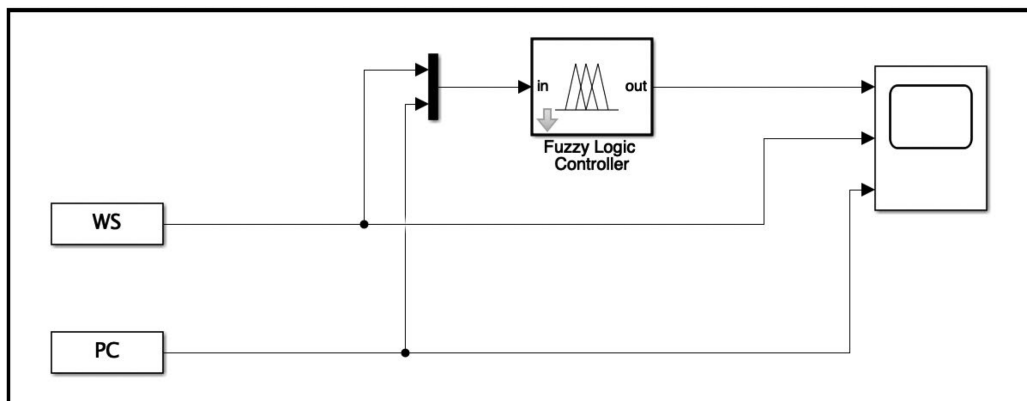


Рис. 3 – Модель для апробирования алгоритма нечеткого вывода

Для имитационной модели в качестве входных данных использованы 10-минутные интервальные данные по скорости ветра и энергопотреблению с реального ВДК, установленного в п. Новиково Сахалинской области за недельный период работы в зимний период.

Симуляция разработанной имитационной модели осуществлена с помощью скрипта Fuzzy_logic_approval.m. На рисунке 4 показаны результаты симуляции: первый график зеленого цвета - это график выходной переменной режима работы ВДК; второй график синего цвета – график скорости ветра; третий график красного цвета – график энергопотребления.

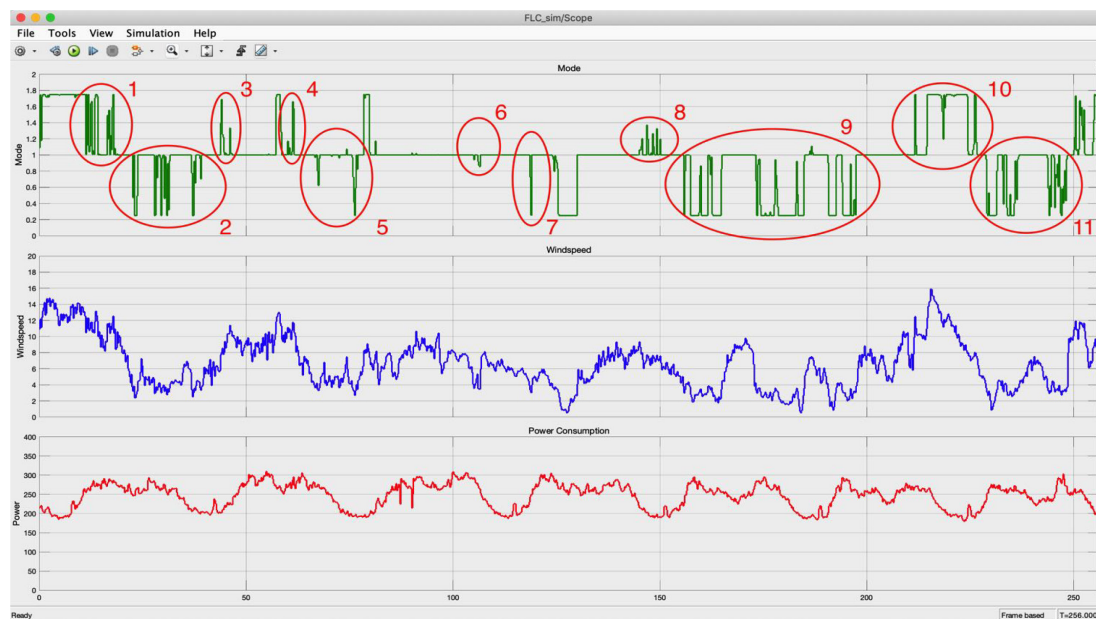


Рис. 4 – Графики симуляции работы имитационной модели

Анализ графиков позволил сформулировать следующее:

- графики подтвердили адекватность и достоверность программно реализованной в MatLab системы управления ВДК на основе алгоритма нечеткого вывода Мамдани для выбора необходимого режима работы ВДК в зависимости от входных значений скорости ветра и энергопотребления;

- при переключении режимов работы ВДК возникают частые динамические колебания (на первом графике они обведены красным цветом и пронумерованы), что приводит к снижению ресурса оборудования ВДК. Для уменьшения частоты этих колебаний, особенно при переключении между режимами «Только Ветер» и «Ветер-Дизель», необходимо дополнительно стабилизировать работу нечеткого регулятора.

Представленные результаты работы позволяют сформулировать научные задачи для дальнейшего исследования. К ним относятся: задача, связанная со стабилизацией динамики переключений с одного режима работы ВДК на другой; разработка интеллектуальной системы прогнозирования входных переменных и ее интеграция с системой нечеткого управления ВДК; выбор оборудования, программных и аппаратных средств для интеллектуальной системы управления ВДК.

Выводы:

1. Разработан и программно реализован нечеткий регулятор на основе разработанной базы правил и алгоритма Мамдани для управления ВДК, позволяющий осуществлять выбор режима работы ВДК по двум входным переменным: «Скорость ветра» и «Энергопотребление».

2. Разработана упрощенная имитационная модель нечеткой системы управления ВДК, позволяющая провести ее апробирование с использованием реальных входных данных. Анализ полученных результатов за недельный интервал времени в зимней период показал

корректную работу разработанной нечеткой системы управления ВДК по выбору режима функционирования ВДК.

3. Дальнейшее исследование по модернизации системы управления ВДК должно быть связано со стабилизацией динамических переключений при смене режима работы ВДК, а также разработкой и интеграцией в систему управления прогнозной модели параметров входных переменных.

Список литературы

1. Государственная программы РФ «Социально-экономическое развитие Арктической зоны РФ». - <https://rg.ru/2014/04/24/arktika-site-dok.html>
2. *Семенова Н.Г.* Разработка нечеткого регулятора определения режима работы ветродизельного комплекса / Н. Г. Семенова, М. М. Абдрашитов // *Энигма*, 2021. - Вып. 30, февраль. - С. 163-172.
3. *Семенов А.М.* Автоматизация контроля технологического процесса газового производства на основе теории нечеткой логики / А. М. Семенов, Л. А. Влацкая // *Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии» (КИП-2021): тр. X Всерос. науч.-техн. конф.* - Оренбург: ОГУ, 2021. - С. 199-202.
4. *Штовба С.Д.* Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба// – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

2.3.3. (05.13.06)

¹Л.А. Симонова д-р техн. наук, ²В.Н. Гильман

¹Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет,
кафедра «Автоматизации и управления»,
²ПАО «КАМАЗ» РИЗ,
Набережные Челны

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ФОРМИРОВАНИЮ ПОГРЕШНОСТЕЙ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СИЛОВОГО ЗУБОТОЧЕНИЯ POWER SKIVING

Рассмотрены виды погрешностей возникающих в станочной системе. Проведен анализ станочной системы с точки зрения иерархических уровней производства. Предложена методика расчета погрешности для оборудования силового зуботочения Power Skiving позволяющая повысить эффективность процесса.

Ключевые слова: *Power Skiving, зубообработка, точность.*

В современном машиностроительном производстве на этапе технологической подготовки используются различные программные продукты, позволяющие автоматизировать процесс формирования технологических процессов и их элементов, планировать их выполнение. Однако при формировании технологических процессов не учитывается степень износа оборудования, а соответственно точность изготовления деталей. Моделирование процесса изготовления деталей на оборудовании в условиях, приближенных к реальным, позволило бы спрогнозировать отклонения изготовления партии деталей, а также выходные характеристики машин, их отдельных систем и узлов, начиная уже с самых ранних стадий проектирования – с уровня принятия концепции. Интеграция имитационного моделирования в систему поддержки принятия решений на сегодняшний день может дать существенный прирост в эффективности любого процесса. Так, если делать анализ современных САПР, которые являются неотъемлемой частью автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП), то представление станочных систем в целом и формирование управляющих программ в частности, производится в них из условия взаимного функционирования идеализированных объектов между собой. Другими словами моделирование не предполагает учет возникающих погрешностей в узлах оборудования и/или между элементами станочной системы или учет износа инструмента, что определенно влияет на качество процесса.

Для обеспечения требуемого качества изготовления деталей необходимо контролировать размерные и качественные параметры, а также выдавать управляющие воздействия для компенсации различных отклонений параметров от заданных величин. Последнее возможно при наличии алгоритмов управления точностью, которые зависят от множества параметров.

При создании автоматизированной системы расчета погрешностей, позволяющей смоделировать процесс обработки с учетом износа инструмента и оборудования, более точно оценить стойкость инструмента и, следовательно, сократить излишние запасы инструмента за основу взята методика управлением динамической составляющей погрешности обработки на этапе проектирования [1].

Шевинговальный станок для силового зуботочения Power Skiving, являясь специализированным оборудованием, конструктивно идентичен пятикоординатному обрабатывающему центру. Определенно подобное оборудование кинематически значительно более сложное, чем, скажем, трехкоординатные станки. Соответственно, погрешности изготовления узлов станка, погрешности их сборки, деформации в процессе обработки накладывают на работу оборудования и точность изготовления детали погрешности.

Различают 5 основных видов погрешностей:

- геометрические погрешности;
- кинематические погрешности;
- динамические погрешности;
- температурные погрешности;
- погрешности упругих деформаций узлов оборудования;

Во многих случаях погрешности обработки, возникающие вследствие деформаций технологической системы и ее элементов, являются доминирующими в суммарной погрешности обработки. Существующие методики расчета, предложенные для станков с, относительно, простой кинематикой, позволяют рассчитать основные погрешности формы и размеров деталей [3,4]. Однако, даже в этом случае, расчетные зависимости, связывающие деформацию с образующейся при этом погрешностью или отсутствуют или же неприменимы для практического использования.

Для того чтобы определить «степень вклада» погрешности конкретного узла в общую погрешность, все промежуточные погрешности в соответствии с методикой предлагается систематизировать. С одной стороны - по объекту влияния погрешности, расположения заготовки или инструмента, а с другой, с целью обеспечения полноты информации о погрешностях, производить дифференцирование технологической операции на отдельные элементы с учетом иерархического уровня. Применительно к силовому зуботочению Power Skiving предлагается с провести анализ станочной системы с точки зрения иерархических уровней производства, выделив следующие структурные элементы: Операция (ОП), Установ (УСТ), Позиция (ПОЗ), Переход (ПЕР), Рабочий ход (РХ)

Начало каждой из систем координат СК_{*i*} связана с конкретным *i*-ым узлом станочной системы. Геометрически погрешность на *i*-ом уровне представляет собой вектор с началом в (*i*-1)-ой СК и концом *i*-ой СК. Геометрические параметры звеньев и погрешности изготовления *i*-го звена однозначно описываются в соответствующих СК. А взаимосвязи СК между собой определяют накопленную погрешность. Положение СК заготовки рассматривается векторно относительно СК станка. Положение инструмента описывается аналогичным вектором. В итоге пространственная модель системы будет характеризоваться двумя ветвями СК: ветвь заготовки (З) и ветвь инструмента (И). В идеальном случае, при отсутствии погрешностей вектор Δ равен нулю СК_И, СК_З совпадают. В случае оптимально работающей автоматизированной системы $\Delta \rightarrow 0$

На уровне Операция предлагается рассматривать систему координат станка СК_{СТ}. Начало отсчета этой системы координат находится в определенной производителем станка точке и не подлежит изменению (рис.1). Уровень Установ характеризуется постоянством условий базирования и закрепления заготовки в приспособлении. Причем, учитывая принцип соответствия, рассматриваются две ветви погрешностей: ветвь «заготовки» и ветвь «инструмента». Для ветви «инструмент» примем во внимание системы координат блока горизонтального суппорта СК_{СУПП}¹, вертикального суппорта СК_{СУПП}², поворотной головки СК_{ПГ} и блока поперечного суппорта СК_{СУПП}³. Для ветви «заготовка» система координат соответствующая приводу вращения заготовки СК_{ПР_ВР}.

Уровень Позиции характеризуется постоянством расположения приспособления с заготовкой, следовательно, на этом уровне располагается для ветви «инструмент» - шпиндельный узел вращения инструмента СК_{ШП}, а для ветви «заготовка» - система координат соответствующая зажимному 12-ти кулачковому патрону СК_{ПАТР}.

Для уровня Перехода характерно постоянство инструмента и режимов резания. Соответственно: для ветви «инструмент» рассматриваем непосредственно инструмент с системой координат – СК_И; для ветви «заготовка» рассматриваем заготовку с системой координат – СК_З.

Уровню Рабочий ход соответствует общая система координат для инструмента и заготовки СК_{РХ}, которая располагается в точке их касания.

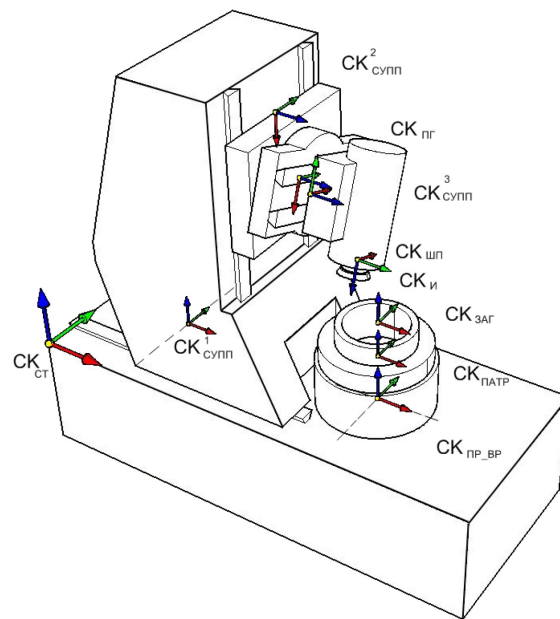


Рис. 1 – Расположение систем координат станка

Для моделирования системы погрешностей станка силового зуботочения Power Skiving предлагается рассматривать все погрешности в один малый промежуток времени с последующей аппроксимацией во времени. Это решит вопрос разнородности погрешностей. Далее, получая математические модели для каждой погрешности, осуществляется формирование модели погрешностей технологической системы в целом. Векторы предлагается описывать шестью координатами: три координаты конца вектора объекта влияния предыдущего уровня и три угла поворота осей координат рассматриваемого уровня.

В соответствии с предлагаемой методикой параметры подсистем «станок-заготовка» и «станок-инструмент» могут быть описаны двумя матрицами, строки которых соответствуют уровням технологического процесса, а столбцы содержат направления возможных перемещений заготовки, и инструмента.

Таблица 1 – Матрица погрешностей системы «станок – заготовка»

СЭ	X	Y	Z	α	β	γ
Установ (привод вращения заготовки)	$\Delta_{радX}^{изг}$ $\Delta_{радX}^{уст}$ $\Delta_{радX}^{износ}$	$\Delta_{радY}^{изг}$ $\Delta_{радY}^{уст}$ $\Delta_{радY}^{износ}$	$\Delta_{осев}^{изг}$ $\Delta_{осев}^{уст}$ $\Delta_{осев}^{износ}$			$\Delta_{ПР_ВР}^{круч}$
Позиция (патрон)	$\Delta_{радX}^{изг}$ $\Delta_{радX}^{уст}$ $\Delta_{радX}^{износ}$ $\Delta_X^{заж}$	$\Delta_{радY}^{изг}$ $\Delta_{радY}^{уст}$ $\Delta_{радY}^{износ}$ $\Delta_Y^{заж}$	$\Delta_{осев}^{изг}$ $\Delta_{осев}^{уст}$ $\Delta_{осев}^{износ}$			$\Delta_{ПАТР}^{круч}$
Переход (заготовка)	$\Delta_{радX}^{изг(форм)}$ $\Delta_{радX}^{изг(разм)}$ $\Delta_{радX}^{уст}$	$\Delta_{радY}^{изг(форм)}$ $\Delta_{радY}^{изг(разм)}$ $\Delta_{радY}^{уст}$	$\Delta_{осев}^{изг(форм)}$ $\Delta_{осев}^{изг(разм)}$ $\Delta_{осев}^{уст}$	$\Delta_{деформ}$	$\Delta_{деформ}$	$\Delta_{ЗАГ}^{круч}$
Рабочий ход	Δ_{Ra}^d , Δ_{JT}^d					$\Delta_{РХ}^{круч}$

Подобным образом формируется матрица погрешностей «станок-инструмент». При это, учитывая исчерпывающую определенность описания преобразований через углы Эйлера и

три оси перемещения стоит отметить, что для определения итоговой погрешности нам вполне будет достаточно знать предельные значения отклонений, а следовательно можно рассмотреть более удобный метод – преобразования Денавита-Хантерберга.

Кинематическую схему оборудования предлагается рассматривать как набор звеньев с поступательными (линейные направляющие) и вращающимися связями (поворотные оси). Для описания связей между соседними звеньями Денавит и Хартерберг предложили матричный метод последовательного построения систем координат, связанных с каждым звеном кинематической цепи. Смысл представления Денавита — Хартерберга (ДХ-представление) состоит в формировании однородной матрицы преобразования, имеющей размерность 4×4 и описывающей положение системы координат каждого звена относительно системы координат предыдущего звена.

Итоговая матрица A_i , связывающая СК $i-1$ и i имеет следующий вид:

$$A_i = \begin{vmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i) \cdot \sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i) \cdot \sin(\theta_i) & a_i \cdot \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i) \cdot \cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i) \cdot \cos(\theta_i) & a_i \cdot \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

ДХ-представление успешно применяется для моделирования пространственной кинематики робота-манипулятора, однако справедливо и в случае расчета кинематической системы исследуемого оборудования. Таким образом, разработав алгоритм, расчета вектора суммарной погрешности кинематических цепей «станок-заготовка» и «станок-инструмент» (прямая задача кинематики) мы будем иметь возможность в автоматическом режиме делать оценку итоговой погрешности технологической системы. Разработав алгоритм решения обратной задачи кинематики, появится возможность оценки наибольшего влияния погрешности конкретного звена системы на систему в целом. При этом использование методов и алгоритмов искусственного интеллекта, в частности нейронных сетей, позволит достаточно точно прогнозировать изменение качества продукции за счет контроля и корректировки графика профилактического и капитального ремонта оборудования, а также контролировать износ режущего инструмента, что, безусловно, повысит эффективность процесса.

Список литературы

1. Симонова Л.А., Касьянов С.В. Разработка модели системы погрешностей партии деталей на рабочем месте // Компьютерные технологии в науке, проектировании и производстве : Тезисы докладов I Всероссийской научно-технической конференции. - Нижний Новгород: НГТУ, 1999.
2. Симонова Л.А., Касьянов С.В., Абазьев А.П. Моделирование процесса резания, как основа управления результатом обработки в операциях.//Управление качеством финишных методов обработки.: Сборник научных трудов.- Пермь:Изд.ПГТУ,1996.
3. Колев К.С. «Вопросы точности при резании металлов» М.Киев, Матгиз,1961г.
4. Пуш А.В. «Основные принципы проектирования прецизионных и сверхпрецизионных станков» СТИН №3 1999г.
5. Симонова Л.А., Балабанов И.П. Моделирование точности процессов формообразования на основе идентификации показателей качества партии заготовок.-Труды 3 Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера», Казань: Из-во Казан.ГТУ, 2003, 1160 с.стр 202-212
6. Ковальчук А.К. Модифицированная система координат Денавита-Хартерберга для исполнительных механизмов роботов с древовидной кинематической структурой. Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 11. С. 12–30.
7. Denavit J., Hartenberg R.S. A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices. Journal of Applied Mechanics, 1955, vol. 22, pp. 215-221.
8. Chen G, Yuan J, Ni J (2001) A displacement measurement approach for machine geometric error assessment. Int J Mach Tools Manuf 41(1):149–161

2.3.3. (05.13.06)

¹Л.А. Симонова д-р техн. наук, ²В.Н. Гильман¹Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет,
кафедра «Автоматизации и управления»²ПАО «КАМАЗ» РИЗ,
Набережные Челны

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ СТАНОЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ ЗУБОТОЧЕНИЯ POWER SKIVING

Рассмотрен алгоритм расчета параметров ДХ-представления для определения нулевых точек систем координат узлов оборудования силового зуботочения. Предложен алгоритм формирования погрешностей в узлах станочной системы. Анализируется возможность определения множеств положений нулевых точек звеньев станочной системы для оценки фактической точности оборудования.

Ключевые слова: *Моделирование погрешностей, PowerSkiving, зубообработка, точность, ДХ-представление.*

Современные системы автоматизированного проектирования не предполагают учет возможных погрешностей в узлах станочной системы. Таким образом, моделирование в них представляет собой взаимодействие идеализированных объектов, что в целом может оказаться не оптимальным с точки зрения эффективности процесса. А именно отклонение от паспортных данных по точности, связанные с погрешностями, вкупе со статистическими данными фактической точности обработки партии деталей с заданными физическо-химическими характеристиками может затруднить принятие верного решения на этапе подготовки производства. Системный подход к автоматизированному формированию погрешностей мог бы свести подобные риски к минимуму. Для этого предлагается разработать методику моделирования погрешностей на примере станка для зуботочения методом Power Skiving

Если представить кинематическую схему данного оборудования укрупненными блоками и присвоить по определенной методике нулевые точки систем координат каждого блока, то для расчета погрешности в точке контакта Инструмент-Заготовка можно воспользоваться методикой Денавита-Хартенберга [9]. Примем в расчет две независимые ветви конструктивной цепи оборудования: ветвь Станок-Инструмент и Станок-Заготовка. Рассчитав математическую модель множества возможных положений точки касания для обеих ветвей, определим их пересечение.

Необходимо обратить внимание, что координата конечного звена, в нашем случае точки физического контакта режущей кромки инструмента с заготовкой, в ДХ-представлении определяется как идеализированная точка, которая зависит от обобщенных координат d , θ , a и α . Однако, учитывая погрешности, положение каждого из начала систем координат звеньев и в конечном итоге точка контакта будут принадлежать соответствующим множествам.

Станину станка с нулевой точкой в кинематической системе определим как базовый, неподвижный элемент, на котором расположены направляющие подсистемы «станок-инструмент» и привод вращения подсистемы «станок-заготовка» (рис.1). Нулевые точки систем координат подсистем ветви «станок-инструмент» в процессе обработки перемещаются относительно друг друга. Но в предлагаемой методике, для решения вопроса разнородности погрешностей, система рассматривается в малый промежуток времени, то есть в статике.

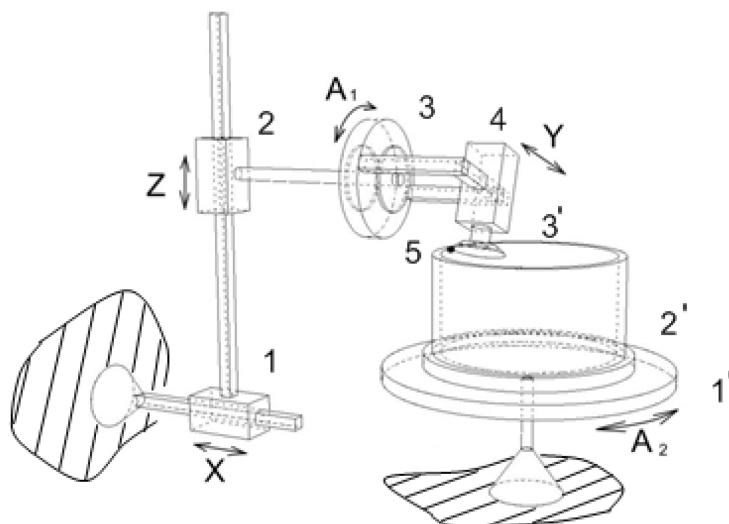


Рис. 1 – Кинематическая схема станка

Отметим, что назначенные на схеме (рис.2) направления осей координат узлов будут отличаться от направлений принятых производителем оборудования ввиду различия используемой методики из области робототехники и технологическим предназначением узлов [3,4,9]. В соответствии с правилами назовем координаты и определим параметры θ_i , d_i , a_i , α_i каждой пары звеньев.

Решая прямую задачу кинематики через ДХ-представление, определим идеализированную конечную точку (точку контакта с заготовкой) подсистемы «станок-инструмент». Для этого примем во внимание матрицы поворота A_θ , A_α и матрицы смещения A_d , A_a

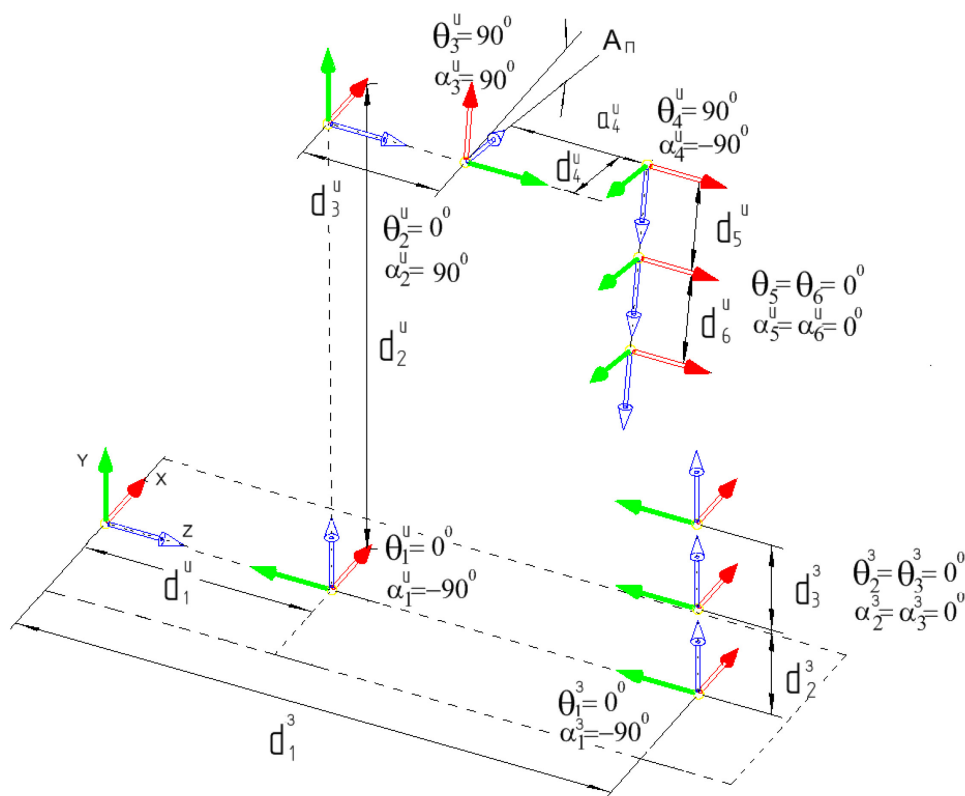


Рис. 2 – Структурная схема ДХ-представления

Учитывая количество звеньев решение прямой задачи кинематики для подсистемы «станок-инструмент» будет выглядеть как произведение результирующих матриц:

$$T^И = A_1^И \cdot A_2^И \cdot A_3^И \cdot A_4^И \cdot A_5^И \cdot A_6^И \cdot A_7^И = \prod_{i=1}^7 A_i^И = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) \cdot \cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i) \cdot \sin(\alpha_i) & a_i \cdot \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) \cdot \cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i) \cdot \sin(\alpha_i) & a_i \cdot \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Для подсистемы «станок-заготовка» в произведении матриц должны быть использованы соответствующие ей переменные θ_i , d_i , a_i , α_i :

$$T^И = A_1^З \cdot A_2^З \cdot A_3^З \cdot A_4^З = \prod_{i=1}^4 A_i^{Зг} = \text{см.}(1), \quad (2)$$

но в подсистеме «заготовка»

Алгоритм расчета параметров ДХ-представления

На параметры θ_i , d_i , a_i , α_i оказывают воздействие погрешности, возникающие в элементах станка. Рассмотрим их более подробно на примере подсистемы «станок-инструмент» для первого подвижного звена. Предварительно примем к сведению, что далее будут рассматриваться только измеримые погрешности, которыми можно явно оперировать в математической модели. Погрешности от тепловых деформаций или силовые деформации предлагается учитывать эмпирическими коэффициентами, которыми будет дополняться база знаний в процессе работы системы.

Для расстояния от нулевой точки станка, до продольного суппорта $a_1^И$, $d_1^И$ предлагается учитывать соответствующую данному направлению погрешность изготовления ходовых винтов $\delta_{x1}^{изг}$ и $\delta_{z1}^{изг}$ и погрешность износа направляющих $\Delta_{x1}^{изн}$:

$$a_1^И = \delta_{x1}^{изг} + \Delta_{x1}^{изн} \quad (3)$$

$$d_1^И = d_1^И + \delta_{z1}^{изг} \quad (4)$$

Воздействие на угловое смещение продольного суппорта α_1 будут оказывать погрешности износа направляющих $\Delta_{z1}^{изн}$ и составляющая силы резания P_z . Определение влияния силы резания на станочную систему в виде математической зависимости на данном узле выразить не представляется возможным, поэтому предлагается применить эмпирический коэффициент Δ_{Pz1} :

$$\alpha_1 = -90 - \arctg(\Delta_{z1}^{изн}/d_1^И) + \Delta_{Pz1} \quad (5)$$

На параметр θ_1 значимые погрешности влияния не оказывают, поэтому в расчете матрицы этот параметр останется нулевым.

Подобным образом исследуются взаимосвязи в каждом из звеньев в обеих ветвях «станок-инструмент» и «станок-заготовка». Подставляя, проанализированные с точки зрения возникающих погрешностей параметры в формулы (1) и (2) рассчитываются множества возможных решений,

Расчет матриц преобразований предлагается производить по верхнему и нижнему пределам отклонений. Таким образом, при переходе к каждому из последующих звеньев станочной системы область возможных решений должна расширяться в геометрической прогрессии.

Заключение

Таким образом, делая оценку возникающих погрешностей в каждом из узлов, появляется возможность определения множеств положений нулевых точек звеньев станочной системы, а в итоге, формирование множества положений точек касания инструмента с заготовкой со стороны системы «станок-инструмент» и со стороны «станок-заготовка». Анализ области пересечения множеств позволяет сделать оценку фактической точности оборудования применительно к требованиям точности шестерни, заданным в конструкторской документации еще на этапе технологической проработки.

Кроме того, работа с математической моделью может стать инструментом предиктивного анализа состояния узлов станочной системы. Для этого предлагается производить оценку фактических отклонений на готовых изделиях партий заготовок и, учитывая известные погрешности в узлах, используя элементы нечеткой логики предсказывать влияние

неопределенностей на техническое состояние оборудования. Это позволит прогнозировать необходимые регламентные и ремонтные работы для станочной системы, тем самым поддерживая его производительность.

Список литературы

1. *Симонова Л.А., Касьянов С.В.* Разработка модели системы погрешностей партии деталей на рабочем месте // Компьютерные технологии в науке, проектировании и производстве : Тезисы докладов I Всероссийской научно-технической конференции. - Нижний Новгород: НГТУ, 1999.
2. *Симонова Л.А., Касьянов С.В.* Управление динамической составляющей погрешности обработки на этапе проектирования.//Тезисы докладов Международной научно-технической конференции- Пенза:ПГТУ,1996г.
3. *Пуш А.В.* «Основные принципы проектирования прецизионных и сверхпрецизионных станков» СТИН №3 1999г.
4. *Решетов Д.Н., Портман В.Т.,* «Точность металлорежущих станков» - М.: Машиностроение, 1986 – 336с.,ил.
5. *Каминская В.В., Левина З.М.* «Расчет жесткости станков» - Москва, Машиностроение, 1983г. – 47с.,ил.
6. *Кудинов В.А.* «Динамика станков» М.: Машиностроение, 1967 – 359с.
7. *Симонова Л.А., Балабанов И.П.* Моделирование точности процессов формообразования на основе идентификации показателей качества партии заготовок.-Труды 3 Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера», Казань: Из-во Казан.ГТУ,2003,1160 с.стр 202-212
8. *Симонова Л.А., Александров Е.В.* Пространственная модель погрешностей при механической обработке. Вестник КГТУ./Сборник научных трудов/-Казань:Изд.КГТУ,№4, 2002г.стр 11-13
9. *Фу К., Гонсалес Р., Ли К.* «Робототехника»: Пер. с англ. Сорокина А.А., Градецкого А.В., Рачкова М.Ю., М:Мир, 1989 – 624с.,ил.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ — 2.3.5. (05.13.11)

2.3.5. (05.13.11)

Т.Н. Титова

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

НАХОЖДЕНИЕ НОРМАЛЬНОГО ВИДА КВАДРАТИЧНОГО ГАМИЛЬТОНИАНА

В работе рассмотрен вопрос о нахождении канонического преобразования, приводящего линейную гамильтонову систему к нормальному виду. Соответствующая гамильтонова матрица является вырожденной. Каноническое преобразование задается производящей функцией. Получено решение системы матричных уравнений для нахождения неизвестных матриц производящей функции.

Ключевые слова: квадратичный гамильтониан, гамильтонова матрица, симплектическая матрица, собственный вектор, производящая функция, жорданова нормальная форма.

Рассмотрим вопрос о приведении линейной гамильтоновой системы к некоторому каноническому виду. Введем каноническую систему дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial H}{\partial y}, \quad \frac{dy}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial x}$$

с гамильтонианом вида:

$$H(x, y) = \frac{1}{2} x^T A x + x^T B y + \frac{1}{2} y^T C y,$$

где x, y – n -мерные векторы-столбцы сопряженных канонических переменных, A, B, C – квадратные действительные матрицы порядка n , A и C – симметрические матрицы. Соответствующая этой системе гамильтонова матрица имеет вид:

$$V = \begin{pmatrix} B^T & C \\ -A & -B \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Пусть подматрица C является положительно определенной (т. е. соответствующий гамильтониан является положительно определенной квадратичной формой относительно обобщенных импульсов). Тогда существует невырожденная матрица R такая, что $R^T C R = E$, где E – единичная матрица. Преобразуем матрицу V с помощью симплектической матрицы

$$T_0 = \begin{pmatrix} (R^T)^{-1} & O \\ O & R \end{pmatrix}$$

к виду

$$V_0 = T_0^{-1} V T_0 = \begin{pmatrix} B_0^T & E \\ -A_0 & -B_0 \end{pmatrix},$$

где $B_0 = R^{-1} B R$; $A_0 = R^{-1} A (R^T)^{-1}$.

Далее будем рассматривать матрицу V_0 , опуская индексы. Рассмотрим систему канонических уравнений, задаваемую этой матрицей. Приведем матрицу к каноническому виду. Пусть собственные значения гамильтоновой матрицы имеют вид: $\pm \lambda_1, \pm \lambda_2, \dots, \pm \lambda_k$. Рассмотрим случай, когда нулевые собственные значения гамильтоновой матрицы образуют в матрице нормального вида Жордана клетки четного порядка, за исключением, быть может,

одной пары, образующей две клетки первого порядка. Приведем гамильтонову матрицу V к следующему нормальному виду [1-7]:

$$\Phi = \begin{pmatrix} U & I \\ O & -U^T \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} U &= U_1 \oplus U_2 \oplus \dots \oplus U_k; \\ I &= I_1 \oplus I_2 \oplus \dots \oplus I_k; \\ U_i &= \begin{pmatrix} \lambda_i & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_i & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \lambda_i \end{pmatrix}, \quad I_i = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \varepsilon_i \end{pmatrix}, \\ \varepsilon_i &= \begin{cases} 0 & \text{при } \lambda_i \neq 0, \\ \pm 1 & \text{при } \lambda_i = 0, \quad i < k, \\ 0, \pm 1 & \text{при } \lambda_k = 0, \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

подматрицы U_i, I_i ($i = \overline{1, k}$) имеют одинаковый порядок, ненулевые собственные значения, входящие в подматрицу U , обладают свойством

$$\lambda_i + \lambda_j \neq 0 \quad \text{при } \lambda_i \neq 0, \lambda_j \neq 0, i, j = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Подматрицы U_i, I_i , соответствующие нулевому собственному значению, образующему клетку порядка $2l$ в жордановой форме, имеют порядок l . Подматрицы U_k, I_k соответствуют нулевому собственному значению, образующему клетки первого порядка, если этот случай имеет место.

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

$$S(x, p) = \frac{1}{2} p^T K p + x^T L p + \frac{1}{2} x^T M x, \quad (5)$$

где K, L, M – квадратные матрицы порядка n , K и M – симметрические, L – невырожденная матрица. Тогда из уравнений:

$$\frac{\partial S}{\partial p} = q, \quad \frac{\partial S}{\partial x} = y$$

получаем выражение старых переменных через новые:

$$\begin{aligned} x &= (L^T)^{-1} q - (L^T)^{-1} K p; \\ y &= M (L^T)^{-1} q + (L - M (L^T)^{-1} K) p \end{aligned} \quad (6)$$

Матрицы K, L, M удовлетворяют следующей системе матричных уравнений [1]:

$$\begin{aligned} M^2 + M B^T + B M + A &= O, \\ L^{-1} (B + M) L &= U^T, \\ K U^T + U K + I &= L^T L \end{aligned} \quad (7)$$

где U, I – матрицы нормального вида (2),

$$U = \begin{pmatrix} \lambda_1 & v_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & v_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & v_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \lambda_n \end{pmatrix}$$

Первое уравнение полученной системы называется матричным уравнением Риккати [2-7]. Из этой системы неизвестные матрицы находятся последовательно. Из первого уравнения найдем симметрическую матрицу M . Из второго уравнения найдем матрицу L , преобразующую найденную матрицу $B + M$ к нормальному виду Жордана. Из третьего уравнения найдем симметрическую матрицу K .

Пусть матрица T преобразует гамильтонову матрицу V к виду (2) с условиями (3) и (4):

$$T^{-1}VT = \Phi; \quad T = \begin{pmatrix} F & H \\ G & W \end{pmatrix}; \quad (8)$$

где F, G, H, W – квадратные матрицы порядка n . Если $\det F \neq 0$, то $M = GF^{-1}$ – симметрическое решение уравнения Риккати [7]. Столбцами матрицы L являются собственные и присоединенные векторы матрицы $M + B$ [8,9]. Элементы матрицы $K = (k_{ij})$ находятся из следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} (\lambda_i + \lambda_j)k_{ij} + v_i k_{i+1,j} + v_j k_{i,j+1} &= l_{ij} \\ 1 \leq i \leq j \leq n; k_{ij} &= k_{ji}; v_n = k_{n+1,j} = 0; \end{aligned} \quad (9)$$

l_{ij} – элементы матрицы $L^T L - I$.

Для того, чтобы эта система была совместна (при $\det V \neq 0$ система всегда совместна), векторы, стоящие в столбцах матрицы L , нужно выбрать специальным образом. Пусть нулевому собственному значению соответствует в матрице U m жордановых клеток, имеющих, соответственно порядки $k_1, k_2, \dots, k_m$ ($k_1 \geq k_2 \geq \dots \geq k_m$). Рассмотрим собственные и присоединенные векторы матрицы $M + B$, соответствующие $\lambda = 0$, взятые в порядке их расположения в матрице L :

$$\begin{aligned} a_{k_i}^{(i)}, a_{k_i-1}^{(i)}, \dots, a_1^{(i)}, \quad i = \overline{1, m} \\ (M + B)a_1^{(i)} = 0, (M + B)a_2^{(i)} = a_1^{(i)}, \dots, (M + B)a_{k_i}^{(i)} = a_{k_i-1}^{(i)} \end{aligned}$$

Будем предполагать, что собственные векторы ортонормированы. Выберем теперь новую систему собственных и присоединенных векторов:

$$\begin{aligned} b_{k_i}^{(i)}, b_{k_i-1}^{(i)}, \dots, b_1^{(i)}, \quad i = \overline{1, m} \\ (M + B)b_1^{(i)} = 0, (M + B)b_2^{(i)} = b_1^{(i)}, \dots, (M + B)b_{k_i}^{(i)} = b_{k_i-1}^{(i)} \end{aligned}$$

так, чтобы была совместна система уравнений (9). Для этого необходимо и достаточно выполнение следующих условий:

$$\begin{aligned} b_1^{(p)} \cdot b_1^{(p)} &= 1; \quad b_3^{(p)} \cdot b_1^{(p)} = \frac{1}{2} b_2^{(p)} \cdot b_2^{(p)}; \dots; \\ b_{1+2i}^{(p)} \cdot b_1^{(p)} &= (-1)^{i+1} \frac{1}{2} b_{i+1}^{(p)} \cdot b_{i+1}^{(p)} + (-1)^i b_{i+2}^{(p)} \cdot b_i^{(p)} + \dots + b_{2i}^{(p)} \cdot b_2^{(p)}; \\ p &= \overline{1, m}; \quad 1 < i \leq \left\lfloor \frac{k_p - 1}{2} \right\rfloor; \\ b_1^{(p)} \cdot b_1^{(i)} &= 0; \quad b_2^{(p)} \cdot b_1^{(i)} = b_1^{(p)} \cdot b_2^{(i)}; \\ b_l^{(p)} \cdot b_1^{(i)} &= (-1)^l b_1^{(p)} \cdot b_l^{(i)} + (-1)^{l-1} b_2^{(p)} \cdot b_{l-1}^{(i)} + \dots + b_{l-1}^{(p)} \cdot b_2^{(i)}; \\ 1 \leq i < p \leq m; \quad 2 < l \leq k_p \end{aligned} \quad (10)$$

Для выполнения этих условий будем искать векторы в виде:

$$\begin{aligned} b_1^{(p)} &= a_1^{(p)}; \quad b_2^{(i)} = a_2^{(p)} + \sum_{i=1}^p c_{i,2}^{(p)} a_1^{(i)} = c_2^{(p)} + \sum_{i=1}^p c_{i,2}^{(p)} a_1^{(i)}; \\ b_3^{(p)} &= a_3^{(p)} + \sum_{i=1}^p c_{i,3}^{(p)} a_2^{(i)} + \sum_{i=1}^p c_{i,3}^{(p)} a_1^{(i)} = c_3^{(p)} + \sum_{i=1}^p c_{i,3}^{(p)} a_1^{(i)}; \dots \end{aligned} \quad (11)$$

$$b_l^{(p)} = a_l^{(p)} + \sum_{i=1}^p c_{i,2}^{(p)} a_{l-1}^{(i)} + \dots + \sum_{i=1}^p c_{i,l}^{(p)} a_1^{(i)} = c_l^{(p)} + \sum_{i=1}^p c_{i,l}^{(p)} a_1^{(i)}; \dots$$

где

$$c_2^{(p)} = a_2^{(p)}; c_3^{(p)} = a_3^{(p)} + \sum_{i=1}^p c_{i,2}^{(p)} a_2^{(i)}; \dots;$$

$$c_l^{(p)} = a_l^{(p)} + \sum_{i=1}^p c_{i,2}^{(p)} a_{l-1}^{(i)} + \dots + \sum_{i=1}^p c_{i,l-1}^{(p)} a_2^{(i)};$$

$$p = \overline{1, m}; 2 \leq l \leq k_p$$

Находим последовательно коэффициенты:

$$c_{1,2}^{(1)} = 0; c_{1,3}^{(1)} = \frac{1}{2} b_2^{(1)} \cdot b_2^{(1)} - c_3^{(1)} b_1^{(1)}; c_{1,4}^{(1)} = 0;$$

$$c_{1,5}^{(1)} = b_4^{(1)} \cdot b_2^{(1)} - \frac{1}{2} b_3^{(1)} \cdot b_3^{(1)} - c_5^{(1)} b_1^{(1)}; c_{1,6}^{(1)} = 0; \dots;$$

$$c_{i,l}^{(p)} = b_{l-1}^{(p)} \cdot b_2^{(i)} - b_{l-2}^{(p)} \cdot b_3^{(i)} + \dots + (-1)^l b_1^{(p)} \cdot b_l^{(i)} - c_l^{(p)} \cdot b_1^{(i)}; \quad (12)$$

$$1 \leq i < p \leq m; 2 \leq l \leq k_p;$$

$$c_{p,1+2i}^{(p)} = b_{2i}^{(p)} \cdot b_2^{(p)} - b_{2i-1}^{(p)} \cdot b_3^{(p)} + \dots + (-1)^{i+1} \frac{1}{2} b_{i+1}^{(p)} \cdot b_{i+1}^{(p)} - c_{1+2i}^{(p)} \cdot b_1^{(p)};$$

$$1 \leq i \leq \left[\frac{k_p - 1}{2} \right]; \dots;$$

Остальные коэффициенты положим равными 0. Теперь система уравнений (9) с найденной новой матрицей $L^T L - I = (l_{ij})$ совместна, и нетрудно найти ее решение.

В результате мы приведем гамильтонову матрицу V к нормальному виду (2), а соответствующий гамильтониан к виду

$$H(q, p) = q^T U^T p + \frac{1}{2} p^T I p \quad (13)$$

Пример. Рассмотрим гамильтонову матрицу 12 порядка

$$V = \begin{pmatrix} B & E \\ -A & -B \end{pmatrix},$$

все собственные значения которой равны 0 и образуют две жордановы клетки 6-го порядка. Приведем матрицу V каноническим преобразованием к виду (2), где $U = U_1 \oplus U_2; I = I_1 \oplus I_2;$

$$U_1 = U_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; I_1 = I_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Пусть матрица T обладает свойством (8). Если $\det F \neq 0$, то матрица M производящей функции имеет вид:

$$M = GF^{-1}$$

Рассмотрим базис из собственных и присоединенных векторов матрицы $M + B$:

$$a_1^{(i)}, a_2^{(i)}, a_3^{(i)}, i = 1, 2$$

$$(M + B)a_1^{(i)} = 0, (M + B)a_2^{(i)} = a_1^{(i)}, \dots, (M + B)a_3^{(i)} = a_2^{(i)}$$

Пусть собственные векторы ортонормированы.

Найдем новые собственные и присоединенные векторы

$$b_1^{(i)}, b_2^{(i)}, b_3^{(i)}, i = 1, 2$$

удовлетворяющие системе уравнений (10):

$$b_1^{(i)} \cdot b_1^{(i)} = 1; b_3^{(i)} \cdot b_1^{(i)} = \frac{1}{2} b_2^{(i)} \cdot b_2^{(i)}; i = 1, 2; b_1^{(1)} \cdot b_1^{(2)} = 0;$$

$$b_2^{(2)} \cdot b_1^{(1)} = b_1^{(2)} \cdot b_2^{(1)}; \quad b_3^{(2)} \cdot b_1^{(1)} = b_2^{(2)} \cdot b_2^{(1)} - b_1^{(2)} \cdot b_3^{(1)}$$

Для этого ищем векторы в виде (11):

$$b_1^{(1)} = a_1^{(1)}; \quad b_2^{(1)} = a_2^{(1)}; \quad b_3^{(1)} = a_3^{(1)} + c_{13}^{(1)} a_1^{(1)};$$

$$b_1^{(2)} = a_1^{(2)}; \quad b_2^{(2)} = a_2^{(2)} + c_{12}^{(2)} a_1^{(1)};$$

$$b_3^{(2)} = a_3^{(2)} + c_{12}^{(2)} a_2^{(1)} + c_{13}^{(2)} a_1^{(1)} + c_{23}^{(2)} a_1^{(2)};$$

где коэффициенты имеют вид (12):

$$c_{13}^{(1)} = \frac{1}{2} b_2^{(1)} \cdot b_2^{(1)} - a_3^{(1)} \cdot b_1^{(1)}; \quad c_{12}^{(2)} = \frac{1}{2} b_1^{(2)} \cdot b_2^{(1)} - a_2^{(12)} \cdot b_1^{(1)};$$

$$c_{13}^{(2)} = b_2^{(2)} \cdot b_2^{(1)} - b_1^{(2)} \cdot b_3^{(1)} - (a_3^{(2)} + c_{12}^{(2)} a_2^{(1)}) \cdot b_1^{(1)};$$

$$c_{23}^{(2)} = \frac{1}{2} b_2^{(2)} \cdot b_2^{(2)} - (a_3^{(2)} + c_{12}^{(2)} a_2^{(1)}) \cdot b_1^{(2)}$$

В результате найдем матрицу L производящей функции в виде:

$$L = (b_3^{(1)} b_2^{(1)} b_1^{(1)} b_3^{(2)} b_2^{(2)} b_1^{(2)}).$$

Введем матрицу $L^T L - I = (l_{ij})$. Матрицу K получим из уравнений (9):

$$K = \begin{pmatrix} K_1 & K_2 \\ K_2^T & K_3 \end{pmatrix},$$

где

$$K_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0,5l_{11} & 0 \\ 0,5l_{11} & l_{12} & 0,5l_{22} \\ 0 & 0,5l_{22} & l_{23} \end{pmatrix}; \quad K_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & l_{15} \\ l_{14} & 0 & l_{16} \\ l_{24} & l_{34} & l_{35} \end{pmatrix};$$

$$K_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0,5l_{44} & 0 \\ 0,5l_{44} & l_{45} & l_{46} \\ 0 & l_{46} & l_{56} \end{pmatrix}$$

Таким образом, мы нашли производящую функцию (5) канонического преобразования, ограничиваясь решением линейных уравнений. Новый гамильтониан имеет вид (13):

$$H(q, p) = q_2 p_1 + q_3 p_2 + q_5 p_4 + q_6 p_5 + \frac{1}{2} p_3^2 + \frac{1}{2} p_6^2$$

Список литературы

1. Титова Т.Н. О нормализации линейных гамильтоновых систем // Научно-технический вестник Поволжья. - 2016. - № 6. - С. 19-23.
2. Брюно А.Д., Петров А.Г. О вычислении гамильтоновой нормальной формы // Доклады Академии Наук. - 2006. - Т. 410, № 4. - С. 474 – 478.
3. Potter J.E. Matrix quadratic solutions // SIAM Journal of Applied Mathematics. - 1966. - V. 14, № 3. - P. 496-499.
4. Martensson K. On the matrix Riccati equation // Information Science. - 1971. - V. 3, № 1. - P. 17-23.
5. Roels J., Louterman G. Normalisation des systemes lineaires canoniques et application au probleme restreint des trois corps // Celestial Mechanics. - 1970. - V. 3, № 1. - P. 129–135.
6. Laub A.J., Meyer K. Canonical Forms for Symplectic and Hamiltonian Matrices // Celestial Mechanics. - 1974. - V. 9, № 2. - P. 213-223.
7. Титова Т.Н. Об одном случае решения алгебраического матричного уравнения Риккати // Научно-технический вестник Поволжья. - 2020. - № 12. - С. 152-155.
8. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Физматлит, 2010. – 1481 с.
9. Мальцев А.И. Основы линейной алгебры. – М.: Лань, 2009. – 480 с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И
КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ — 2.3.5. (05.13.11)**

2.3.5. (05.13.11)

В.И. Курир канд. техн. наук

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ,
институт Автоматики и электронного приборостроения,
кафедра Электрооборудования,
Казань, kurir_valerian@mail.ru

**СПОСОБЫ 3D ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ЛОПАСТИ РАДИАЛЬНО-ОСЕВОЙ
ГИДРОТУРБИНЫ ФРЕНСИСА**

В статье приведена процедура построения профиля лопасти радиально-осевой гидротурбины Френсиса в графическом пакете NX. Указана возможность двух способов построения профиля лопасти гидротурбины – стандартного интерактивного и программного. В качестве программного пакета, позволяющего автоматически построить профиль лопасти гидротурбины, принят внутренний программный пакет NX OPEN, входящий в состав графического пакета NX. Приведены также некоторые операторы и функции данного пакета, которые, по мнению автора, необходимы для построения в дальнейшем соответствующего программного скрипта, управляющего процессом автоматического построения профиля лопасти в NX и передачи профиля лопасти гидротурбины в пакет FINE/TURBO для проведения гидродинамических исследований и проведения дальнейшей операции оптимизации формы лопасти гидротурбины в данном пакете.

Ключевые слова: *NX OPEN, гидротурбина Френсиса.*

Введение. Вопрос профилирования гидротурбин был поднят ещё в учебных монографиях [1 – 3]. Требуется спрофилировать лопасть так, чтобы минимизировать энергию потерь водных масс, набегающих на рабочее колесо турбины. Требуется максимизировать коэффициент полезного действия рабочего колеса при условии отсутствия кавитации (ограниченной кавитации) на лопастях турбины. При анализе гидродинамики течения в камере гидротурбины принимается, что расчетной и циклически повторяющейся областью является проточная часть между двумя соседними лопастями рабочего колеса, захватывающая некоторое пространство перед рабочим колесом и отсасывающая труба, следующая за рабочим колесом.

Последние годы поиск оптимальной формы лопасти турбины основывается на использовании генетических алгоритмов.

Процесс численного моделирования течений в гидротурбинах невозможен без начального построения профиля лопасти в графических пакетах. Чаще всего эту операцию проводят в пакете NX.

При проведении разового моделирования течения в гидротурбине допустимо интерактивное построение профиля лопасти турбины.

В NX построение лопасти начинается с процедуры построения срединной поверхности лопасти турбины. Срединная поверхность строится либо по набору координат точек, либо по координатам 16 вершин характеристического многогранника, однозначно описывающих срединную поверхность [4], либо через вершины управляющего (характеристического) многогранника NURBS – поверхности. Зная распределение толщин профиля лопасти по срединной поверхности, достраиваем внешнюю поверхность лопасти.

Далее файл с построенной геометрией лопасти (рабочего колеса) направляется последовательно в генератор наложения трехмерной сетки AUTOGRID, программу EURANUS, реализующую гидродинамический анализ данной задачи и оценку коэффициента полезного действия рабочего колеса. Там же предусмотрены пакеты оптимизации исследуемых гидротурбин, турбомашин – FINE/Design 3D.

Методика построения профиля лопасти гидротурбины Френсиса. Процесс построения профиля лопасти гидротурбины условно разбит на несколько этапов.

1. Построение срединной поверхности лопасти. Координаты предполагаемой поверхности записываются в файл с расширением .dat в виде набора отдельных блоков координат точек поверхности, который затем прочитывается в NX. При математическом и геометрическом описании поверхности используются 2 переменные – u и v [4], где $0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$. Кривые, соответствующие конкретным выбранным значениям данных переменных, расположены между передней и задней граничными кривыми поверхностей, а также между верхней и нижней кривыми поверхностей.

В NX операция построения срединной 3D поверхности представлена набором команд [5]:

Menu → Insert → Surface → Through Points.

Результат выполнения команд по построению срединной поверхности представлен на рис. 1.

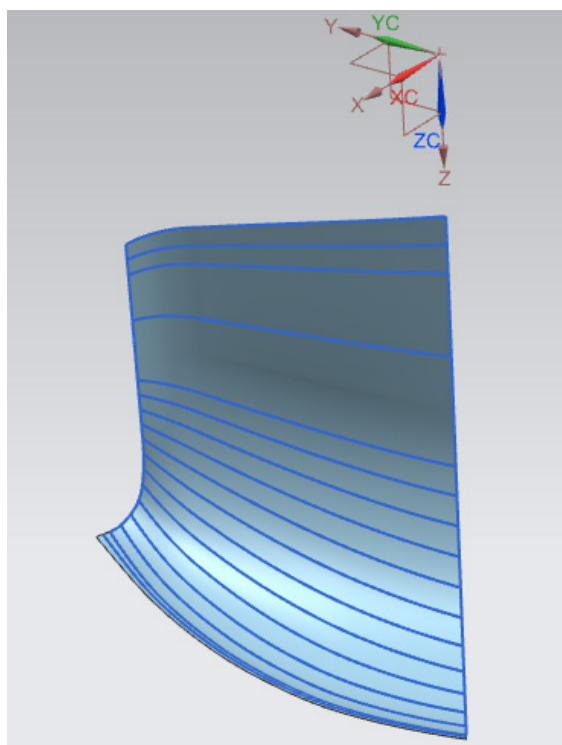


Рис. 1 – Срединная поверхность лопасти турбины Френсиса

В связи с этим в NX формируется NURBS – поверхность, каждая точка которой в зависимости от параметров u , v определяется уравнением:

$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{k=0}^L w_{i,k} P_{i,k} N_{i,m}(u) N_{k,n}(v)}{\sum_{i=0}^M \sum_{k=0}^L w_{i,k} N_{i,m}(u) N_{k,n}(v)},$$

где $P_{i,k}$ – вершины управляющего (характеристического) многогранника, $w_{i,k}$ – весовые коэффициенты при соответствующих контрольных точках; $N(u)$, $N(v)$ – базисные B – сплайн функции. При построении срединной поверхности по полюсам (поверхность Безье) предполагаемой поверхности следует применить команды:

Menu → Insert → Surface → From Poles.

NX обладает возможностью регистрации многих операций в специальном журнале, где дублируются команды, проводимые в интерактивном режиме посредством отображения операторов и функций, записанных на языках программирования Visual Basic, C++, C#, Java.

Данные операции можно проследить по команде:

Menu → Preferences → User Interface → Journal.

Журнал фиксирует проводимые пользователями геометрические операции в виде соответствующих операторов и функций. Возможен запуск журнала. В этом случае все действия, ранее производимые пользователями, отобразятся на экране монитора графическим пакетом автоматически. Помимо указанных операторов и функций, отображающих действия пользователя NX, существует возможность программирования геометрических действий посредством набора операторов и функций внутреннего программного пакета NX OPEN. К примеру операция построения срединной поверхности в NX может быть представлена в NX OPEN функцией [Приложение, А–1].

В NX имеется и облегчённый вариант пакета NX OPEN → SNAP. SNAP

содержит более понятные операторы, функции, необходимые для пользователя.

Срединная поверхность и внешняя поверхность лопасти должны выходить за границы лопасти hub и shroud. Соответственно, необходимо расширить срединную поверхность лопасти через верхнюю и нижнюю границы. В NX данные операции могут быть выполнены при помощи команды:

Menu → Flange Surface → Extension.

Далее следует указать через какие из четырёх сторон следует расширить поверхность и на какое расстояние.

Программный аналог указанной операции в NX OPEN представлен функцией [Приложение, А–2].

Следующая операция – построение боковых поверхностей – корытца и спинки, а также передней и задней поверхностей лопасти. С этой целью срединная поверхность условно разбивается поверхностной сеткой, содержащей взаимно ортогональные кривые, соответствующие параметрам $v = \text{const}$, $u = \text{const}$. Из точек поверхности в обе стороны от неё восстанавливаются нормали, имеющие длину отрезка нормали равную полутолщине лопасти в данной точке. Вершины нормалей образуют точки внутренней поверхности – корытца и внешней поверхности – спинки. Данные операции проводятся в NX вручную. Для автоматического определения координат основания нормали и компонент вектора нормали в заданной точке срединной поверхности привлекается функция NX OPEN [Приложение, А–3].

В SNAP данная операция представлена подпрограммой на языке Visual Basic [А–4].

Следующая операция – построение входной и выходной поверхностей (leading face, trailing face), соединяющих боковые поверхности корытца и спинки. Авторы работы [6] предлагают построить входную и выходную поверхности, используя набор дуг (рис. 2). Дуга строится по трём точкам: центральная точка – точка, лежащая на кривых лопасти leading (trailing), две другие – крайние точки соответствующих кривых спинки и корытца (рис. 3). Необходимо сшить дуги с соответствующими кривыми спинки и корытца (рис. 3) по равенству координат и компонент касательного вектора на границах дуга – кривая [6].

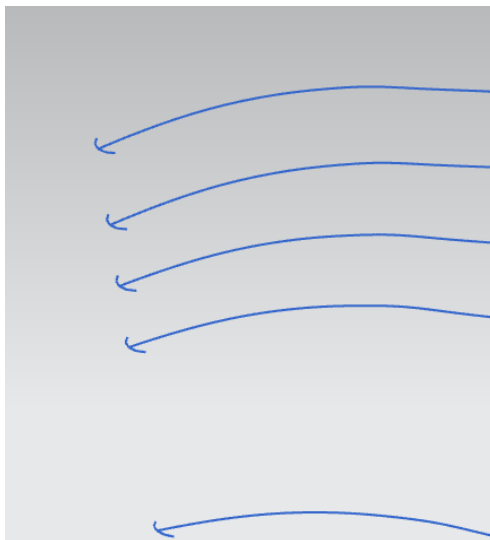


Рис. 2 – Дуги входной поверхности, соединяющие боковые поверхности корытца и спинки

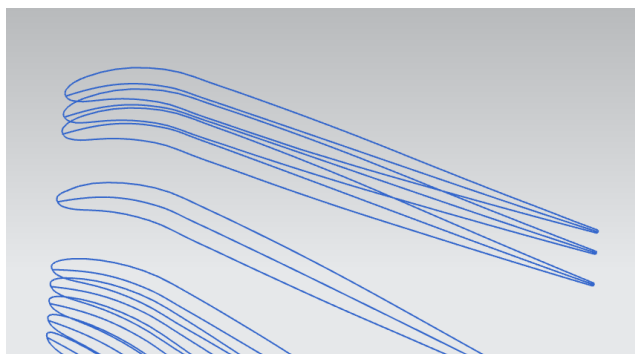


Рис. 3 – Внутренние сечения лопасти

Автор предлагает построить входную и выходную поверхности по двум дугам: верхним и нижним, по соответствующим боковым границам корытца и спинки и кривым *leading* и *trailing*. Возможна и реализация данной операции в полном объеме: построение входной и выходной поверхностей по полному набору дуг, по соответствующим боковым границам корытца и спинки.

После этого необходимо связать все 4 поверхности командой:

Insert → Combine → Sew.

Лопасть, замкнутая со всех 6 сторон, воспринимается пакетом NX как твердотельная фигура.

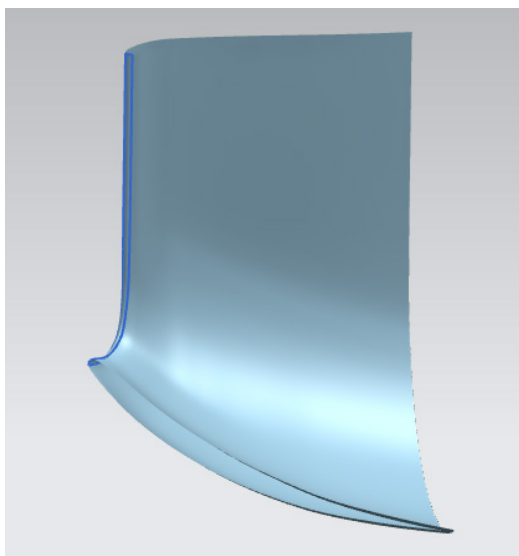


Рис. 4 – Профиль лопасти гидротурбины Френсиса

Файл с построенной боковой поверхностью лопасти для последующего импорта в другие пакеты следует перевести в формат Parasolid. Данная операция выполняется в NX командой:

File → Export → Parasolid.

В NX OPEN данная операция выполняется набором операторов и функций [7] [Приложение, А–5].

По мнению автора, создаваемое программное обеспечение на языке C++ для решения вышеуказанной задачи будет выполнять ту же функцию, которую в данное время выполняет пакет автоматического построения профиля лопасти турбины – AUTOBLADE, входящий в состав пакета FINE/TURBO.

Для многократного (циклического) запуска пакета NX и пакетов AUTOGRID, EURANUS, DESIGN – 3D (оптимизация профиля лопасти турбины) в пакетном режиме необходимо создать интерфейс между пакетом MATLAB и FINE/TURBO, где математический пакет MATLAB совместно с соответствующим программным скриптом будет выполнять функцию управляющей системы.

Данная методика применима и к программному продукту ANSYS WORKBENCH, в котором следует создать двулученаправленный интерфейс между пакетом NX и графическим пакетом DESIGNMODELER, входящим в программный продукт ANSYS WORKBENCH, для проведения дальнейших операций и последующей передачи твердотельной лопасти гидротурбины в пакет наложения трехмерной сетки ANSYS TURBOGRID. В этом случае отпадает надобность использования пакета ANSYS BLADEGEN для построения в нем лопасти гидротурбины.

Приложение (Appendix)

UF_MODL_create_bsurf_thru_pts () [A–1].

UF_MODL_face_extension_e () (or t) [A–2].

UF_MODL_ask_face_props () [A–3].

Dim nu As Integer = 20: Dim uStep As Double = 1.0/nu [A–4].

Dim nv As Integer = 20: Dim vStep As Double = 1.0/nv

Dim u, v As Double

Dim point As Double

Dim Axis As Vector

For i As Integer = 0 To nu

For j As Integer = 0 To nv

u = i * uStep

v = j * vStep

point = face.Position (u, v)

axis = face.Normal (u, v)

next j

next i

exportFileName = workPart.FullPath [A–5].

exportFileName = exportFileName.Remove(exportFileName.Length – 4, 4) + ".x_t"

ufs.Ps.ExportData (tagList, exportFileName)

Список литературы

1. Кривченко Г.И. Гидравлические машины: Турбины и насосы. – М.: Энергия, 1978. – 320 с.
2. Барлит В.В. Гидравлические турбины. – Киев: Вища школа, 1977. – 360 с.
3. Федоров А.В. Оптимизация проточной части гидротурбины при ограничениях на её кавитационные характеристики. Журнал технической физики. – 1984, т. 54, № 4. – С. 679 – 684.
4. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики: Пер. с англ. – М.: Мир, 2001. – 604 с.
5. Данилов Ю., Артамонов И. Практическое использование NX. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 332 с.
6. Дмитриева И.Б., Шаблий Л.С. Автоматизация создания объемной модели пера лопатки в ANSYS TURBOGRID на базе традиционного представления его геометрии // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2011. – Вып. 27. – №3. – С. 106 – 111.
7. Export Parasolid [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.nxjournaling.com/ExportParasolid_NXJournaling.html (дата обращения 10.02.2022).

2.3.5. (05.13.11)

А.В. Лаздин канд. техн. наук, А.А. Смирнова

Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
Санкт-Петербург, lazdin@yandex.ru

МНОГОПОТОЧНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНЫХ СИСТЕМ

В работе предлагается использование многопоточного подхода для моделирования недетерминированных дискретно-событийных систем. Предлагаемое решение позволяет моделировать такие системы для последовательности входных событий без необходимости запоминания состояния, в котором произошел недетерминированный переход и возвращаться в запомненное состояние в случае неудачного выбора перехода. Полученное решение дает возможность решать задачи обработки входных последовательностей событий за линейное время. Мы также предложили дополнительный механизм, направленный на сокращение времени работы, основанный на контроле возможных вариантов перехода

Ключевые слова: *моделирование дискретно-событийных систем, многопоточность, конечный автомат, недетерминизм.*

Большое количество бизнес-процессов может быть описано в терминах дискретных смен состояний под воздействием событий. Данный подход широко применяется при проектировании и моделировании систем управления, в решении экономических задач, связанных, например, с прогнозированием работы предприятия, в задачах дорожного движения, логистики, динамики экосистем, социальных сетей. Дискретно-событийная система (ДСС) базируется на двух основных принципах: конечность состояний и событийное управление переходами между состояниями. Примерами систем с такими свойствами являются конечные автоматы, Марковские сети, очереди и более сложные модели, связанные с вычислительными, производственными процессами, а также системами коммуникации, включая сетевые протоколы разных уровней. Событие – это то, что приводит к изменению состояния системы. События могут происходить в случайные моменты – асинхронные ДСС, или в строго определенные – синхронные, тогда говорят о тактах работы ДСС.

В [1] предложена обобщенная модель ДСС, включающая конечные множества входных значений X , состояний S , выходных значений Y , выходные значения определяются функцией выходов $\lambda: S \times X \rightarrow Y$. Поведение ДСС, представляющее наибольший интерес при проектировании, моделировании, а также программной или аппаратной реализации определяется функцией переходов $\delta: S \times X \rightarrow S$. Если для любого состояния из множества S и любого входного события из X существует единственное состояние в которое перейдет ДСС то говорят о том, что она детерминированная, если существует несколько состояний в которые может перейти ДСС, то она считается недетерминированной.

Особый интерес представляет моделирование недетерминированных дискретно-событийных систем (НДСС). В данной работе рассматривается моделирование НДСС, основанное на многопоточности. В качестве примеров НДСС рассматриваются недетерминированные конечные автоматы. В данной работе множество НДСС ограничено подмножеством недетерминированных конечных автоматов-распознавателей. Интерес к моделированию ДКА и НКА подтверждается, например, в [2,3,4,5,6].

Недетерминированный конечный автомат-распознаватель (в дальнейшем НКА) формально определяется как кортеж, следующим образом: $A = (X, S, s_0, \delta, F)$. Приняты следующие обозначения: X – конечное непустое множество входных сигналов (входной

алфавит); S – конечное непустое множество состояний; s_0 – начальное состояние автомата, $s_0 \in S$; $\delta: S \times X \rightarrow 2S$ – функция переходов; F – множество допускающих (заклЮчительных) состояний, $F \subseteq S$. Задача НКА-распознавателя заключается в определении принадлежит ли входная цепочка языку, которому он соответствует или не принадлежит. Если цепочка прочитана до конца и НКА перешел в одно из допускающих состояний, то говорят о допуске цепочки. В противном случае говорят о недопуске.

Под конфигурацией ДКА понимается двойка вида (s, ω) , где s – текущее состояние автомата, цепочка ω – необработанная часть входной цепочки. Обозначим переход между конфигурациями НКА: $(s_i, t\omega) \vdash (s_j, \omega)$, здесь под t понимается текущий обрабатываемый символ, и существует правило в таблице переходов $\delta(s_i, t) = \{s_j\}$.

В [7, 8] представлены варианты для решения задачи моделирования НКА для императивного и декларативного подходов в программировании. В обоих случаях рассматривается алгоритм перебора с возвратами, применение которого не может рассматриваться как эффективное в силу экспоненциальной сложности работы этого алгоритма.

Для реализации процесса моделирования НДА был предложен следующим алгоритм: в момент запуска моделирующего приложения создается единственный поток, реализующий функцию переходов, на вход которого подается анализируемая входная цепочка символов. Если функция переходов однозначно определяет следующее состояние, то происходит переход в это состояние, если функция переходов для текущего состояния и входного символа неоднозначна, и имеет вид $\delta(s_i, t) = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, то моделирующий поток дополнительно создает $n-1$ моделирующий поток, передав в каждый из них структуру, которая включает функцию переходов, отдельную копию входной цепочки и положение в ней, указывающее на текущий обрабатываемый символ.

Рассмотрим три НКА, определение которых дано в табл. 1. Для всех НКА начальным состоянием является s_0 , а допускающим – s_2 . Рассмотрим процесс моделирования НКА1 для входной цепочки «aacbcb» в терминах переходов между конфигурациями в соответствии с приведенным алгоритмом и наличием недетерминированности.

Таблица 1 – определение моделируемых НКА.

НКА	Множества состояний и входов	Функции переходов
НКА1	$\{s_0, s_1, s_2\}$ $\{a, b, c\}$	$\delta(s_0, a) = \{s_0, s_1\}$; $\delta(s_0, b) = \{s_0, s_2\}$; $\delta(s_0, c) = \emptyset$; $\delta(s_1, a) = \emptyset$; $\delta(s_1, b) = \emptyset$; $\delta(s_1, c) = \{s_2\}$; $\delta(s_2, a) = \emptyset$; $\delta(s_2, b) = \{s_2\}$; $\delta(s_2, c) = \{s_2\}$;
НКА2	$\{s_0, s_1, s_2\}$ $\{a, b, c\}$	$\delta(s_0, a) = \{s_0, s_1\}$; $\delta(s_0, b) = \{s_0, s_2\}$; $\delta(s_0, c) = \emptyset$; $\delta(s_1, a) = \emptyset$; $\delta(s_1, b) = \emptyset$; $\delta(s_1, c) = \{s_1, s_2\}$; $\delta(s_2, a) = \emptyset$; $\delta(s_2, b) = \{s_2\}$; $\delta(s_2, c) = \{s_2\}$;
НКА3	$\{s_0, s_1, s_2\}$ $\{a, b, c\}$	$\delta(s_0, a) = \{s_0, s_1\}$; $\delta(s_0, b) = \{s_0\}$; $\delta(s_0, c) = \emptyset$; $\delta(s_1, a) = \emptyset$; $\delta(s_1, b) = \emptyset$; $\delta(s_1, c) = \{s_2\}$; $\delta(s_2, a) = \emptyset$; $\delta(s_2, b) = \{s_0, s_2\}$; $\delta(s_2, c) = \{s_2\}$;

Для начального состояния s_0 и входного символа ‘a’ создаются два моделирующих потока (МП):

МП1: $(s_0, \underline{a}acbcb) \vdash (s_0, \underline{a}cbcb) \vdash (s_0, \underline{c}bcb)$ т. к. $\delta(s_0, c) = \emptyset$ – недопуск;

МП2: $(s_0, \underline{a}acbcb) \vdash (s_1, \underline{a}cbcb)$ т. к. $\delta(s_1, a) = \emptyset$ – недопуск;

В силу недетерминизма для правила $\delta(s_0, a) = \{s_0, s_1\}$ на втором шаге работы МП1 создается третий МП.

МП3: $(s_0, \underline{a}acbcb) \vdash (s_1, \underline{a}cbcb) \vdash (s_2, \underline{c}bcb) \vdash (s_2, \underline{b}cb) \vdash (s_2, \underline{c}b) \vdash (s_2, \underline{b}) \vdash (s_2, \varepsilon)$ допуск. Подчеркивание означает текущий читаемый символ, ε соответствует пустой цепочке. Таким образом для моделирования НКА1 потребовал три моделирующих потока.

Если цепочка не допускается НКА, то ни один из моделирующих потоков не сумеет закончить свою работу в допускающем состоянии. Так для входной цепочки «aacbab» будут созданы три моделирующих потока:

МП1: $(s0, \underline{a}cbab) \vdash (s0, \underline{a}cbab) \vdash (s0, \underline{c}bab)$ – недопуск;

МП2: $(s0, \underline{a}cbab) \vdash (s1, \underline{a}cbab)$ – недопуск;

МП3: $(s0, \underline{a}cbab) \vdash (s0, \underline{a}cbab) \vdash (s1, \underline{c}bab) \vdash (s2, \underline{c}bab) \vdash (s2, \underline{b}ab) \vdash (s2, \underline{a}b)$ – недопуск.

Моделирующие потоки должны быть асинхронными. В момент запуска моделирующий поток получает копии таблицы переходов, входной цепочки и указатель на текущий обрабатываемый символ в ней. Это исключает необходимость использования механизмов синхронизации для доступа к разделяемым ресурсам.

Исследование поведения НКА2 и НКА3 для входных цепочек «baaccbc» и «acbbacc», соответственно, показало, что возможно порождение дублирующих моделирующих потоков. Так, например для конфигурации $(s1, \underline{c}cbc)$ будут созданы два дублирующих потока:

МП1: $(s1, \underline{a}ccbc) \vdash (s1, \underline{c}cbc) \vdash (s2, \underline{c}bc) \vdash (s2, \underline{b}c) \vdash (s2, \underline{c}) \vdash (s2, \underline{e})$ допуск;

МП2: $(s1, \underline{a}ccbc) \vdash (s2, \underline{c}cbc) \vdash (s2, \underline{c}bc) \vdash (s2, \underline{b}c) \vdash (s2, \underline{c}) \vdash (s2, \underline{e})$ допуск.

Для конфигурации $(s1, \underline{c}cbc)$ НКА3 будет создано четыре моделирующих потока, два из которых будут дублирующими: $(s1, \underline{a}cc) \vdash (s1, \underline{c}c) \vdash (s2, \underline{c}) \vdash (s2, \underline{e})$ – допуск, и $(s1, \underline{a}cc) \vdash (s2, \underline{c}c) \vdash (s2, \underline{c}) \vdash (s2, \underline{e})$ – допуск, причем в конфигурацию $(s1, \underline{a}cc)$ есть два пути из конфигурации $(s2, \underline{c}bbacc)$, таким образом будет создано восемь дублирующих потоков, из них четыре допускающих.

В работе предлагается программная реализация, моделирующая поведение НКА. Выделяется специальный поток, который будет управлять созданием моделирующих потоков. Взаимодействие между управляющим и моделирующими потоками будет осуществляться посредством передачи сообщений от моделирующих потоков к управляющему.

В начале работы управляющий поток создаст первый (и пока единственный) моделирующий поток, и будет ожидать от него (и от все других, созданных в процессе моделирования, моделирующих потоков) сообщения. Таких сообщений может быть три: <УСПЕХ>, <ПЕРЕХОД НЕВОЗМОЖЕН>, <МНОЖЕСТВЕННЫЙ ПЕРЕХОД>.

Если управляющий потоком получает сообщение <УСПЕХ>, то он завершает выполнение всех моделирующих потоков, включая и тот, что сообщил об успехе. В случае сообщения <ПЕРЕХОД НЕВОЗМОЖЕН> управляющий поток завершает моделирующий поток, от которого было получено данное сообщение. В случае получения сообщения <МНОЖЕСТВЕННЫЙ ПЕРЕХОД> управляющий поток создает требуемое количество моделирующих потоков. Моделирующие потоки независимы и асинхронны. Передача сообщений между ними не предусмотрена.

Для устранения проблем создания дублирующих потоков управляющий поток хранит список пар <состояние, входной символ>, и если от моделирующего потока приходит сообщение <МНОЖЕСТВЕННЫЙ ПЕРЕХОД>, и указанная в нем пара <состояние, текущий символ> уже была обработана, то такая пара игнорируется и моделирующий поток не создается. Управляющий поток накапливает статистику о процессе создания моделирующих потоков, длительности их выполнения, количество символов, обработанных потоком.

Таким образом процесс моделирования НДСС требует создания одного управляющего потока и множества порождаемых им моделирующих потоков с определенными выше свойствами.

В соответствии с вышеизложенными соображениями была создана программная система (язык реализации C#), на которой были проведены эксперименты для НКА, описанных выше, на вход которых подавались входные строки длиной от 50 до 6000 символов.

На рис. 1 представлены результаты моделирования для НКА1. Важной особенностью полученных результатов является то, что время моделирования имеет линейную зависимость от длины входной цепочки, в отличие от алгоритмов моделирования с возвратами, имеющими экспоненциальную зависимость времени выполнения от длин входной цепочки. Кроме того, в ходе экспериментов с построенными моделями было показано, что выявление дублирующих потоков позволяет существенно сократить время моделирования. Это наглядно показано на рис. 2, где время моделирующих потоков с и без проверки

дублирования отличается в тысячи раз для входных последовательностей длиннее 3000 символов.

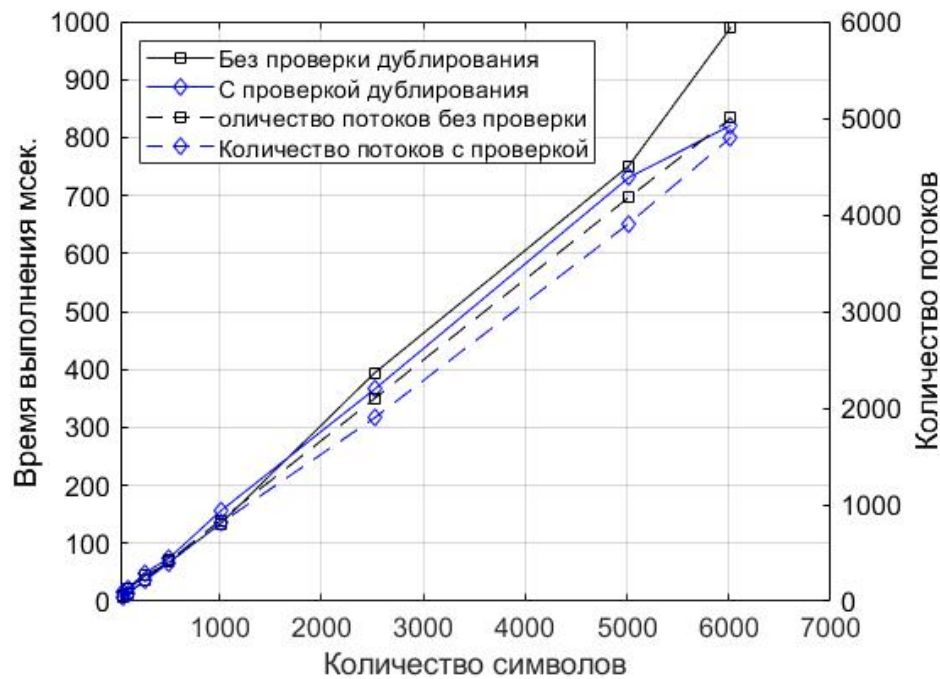


Рис. 1 – результаты моделирования НКА1

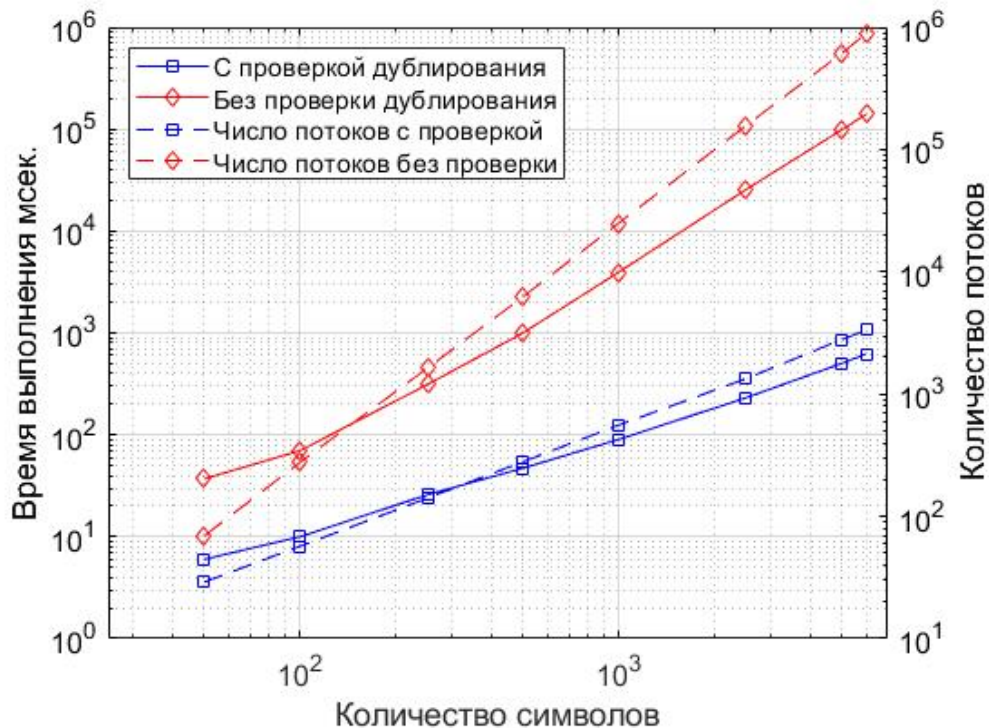


Рис. 2 – результаты моделирования НКА3

Таким образом была предложена концепция многопоточного моделирования НДСС, на основе анализа поведения НКА были сформулированы требования к системе моделирования, которая была реализована на языке программирования C#.

Список литературы

1. Zeigler B.P., Muzy A., Kofman E. Theory of Modeling and Simulation Discrete Event and Iterative System Computational Foundation. Elsevier Inc, 2019. 656 p.
2. Афанасьев М.В. Моделирование и анализ структурных изменений экономического объекта с помощью недетерминированного автомата Мура // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 37 (388) с. 58-64.
3. Козырев О.Р., Морозовская Т.Д., Обыденнова С.Ю., Шамин Р.В., Шмелева А.Г., Шермадини М.В. Конечно-автоматное моделирование инвестиционных процессов /. // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2019. №1 (124) с. 24-29.
4. Aaron P. Turner, Michael P. Sama, L. Samuel G. McNeill, Joseph S. Dvorak, Michael D. Montross. Discrete event simulation model for analysis of farm scale grain transportation systems // Computers and Electronics in Agriculture. 2019. Vol. 167. p. 105040-105075.
5. Zhaoping Du, Wenrong Yuan, Songlin Hu. Discrete-Time Event-Triggered H-Infinity Stabilization for Networked Cascade Control Systems With Uncertain Delay // Journal of the Franklin Institute. 2019. V. 356. p. 9524-9544.
6. Milad Poursoltan, Malek Masmoudi, Pascal Albert. Application of Risk Management for Discrete Event Simulation Projects in Healthcare Systems // Engineering Management Journal. 2020. p. 1-13.
7. Aho A., Lam M., Sethi R., Ullman J. Compilers: Principles, techniques, tools / Pearson Education, 2007. 1035 p.
8. Iv.Bratko, Prolog Programming for Artificial Intelligence. Addison-Wesley Publishing Company, 1986. 442 p.

2.3.5. (05.13.11)

Д.В. Огородников, А.И. Кононова, А.В. Городилов, П.А. Трещановский

НИУ «Московский институт электронной техники»,
Институт системной и программной инженерии и информационных технологий (СПИНТех),
Москва, danil.ogorodnikov.2000@mail.ru

АЛГОРИТМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОТОКОЛОВ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ СЕТЕВЫХ СВЯЗЕЙ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОММУТАТОРАХ

В статье рассматриваются протоколы резервирования связей в сетях Ethernet и их программная реализация в отечественных коммутаторах, разработанных предприятием АО «Ангстрем-Телеком». Описан программный модуль для эффективного управления сетями на основе этих протоколов, позволяющих предотвращать потери данных на канальном уровне при возникновении сбойных ситуаций.

Ключевые слова: *сети, резервирование, HSR, PRP, сетевые устройства.*

Сегодняшний рынок сталкивается с растущими потребностями, которые могут быть удовлетворены только с помощью высокоэффективных и надёжных Ethernet-сетей. Архитектуры таких сетей предназначены для того, чтобы лучше справляться с новыми проблемами и предлагать улучшенное управление сетью. Главной особенностью является возможность осуществлять дистанционное обслуживание и ремонт во время работы сети. Чтобы обеспечить эту функциональность, сети требуют мониторинга и управления в режиме реального времени, а также высокой надёжности для обеспечения бесперебойной передачи данных. Надёжность сети обеспечивается сведением к минимуму числа возможных неконтролируемых увеличений трафика и перегрузок сети и, как следствие, отказов. Отказ сети может привести к непоправимым последствиям, поэтому резервирование имеет первостепенное значение. Отказоустойчивые системы с резервированием способны продолжать работу в случаях отказа. Решение — сетевая избыточность — дублирование критически важных компонентов или функций.

Решить сложившуюся проблему помогает протокол параллельного резервирования (PRP) и протокол бесшовного резервирования высокой доступности (HSR), которые определены в стандарте IEC 62439-3 и используются для реализации сетей быстрой сходимости без потерь в проводной сети Ethernet. Эти протоколы описывают следующий подход к резервированию. Сеть имеет сразу два активных соединения, а отправитель посылает данные сразу по двум ethernet-каналам. Принимающий узел посредством протокола резервирования принимает один кадр и отклоняет другой. Если один из кадров не был получен, адресат сообщает об обрыве сети в соответствующем канале.

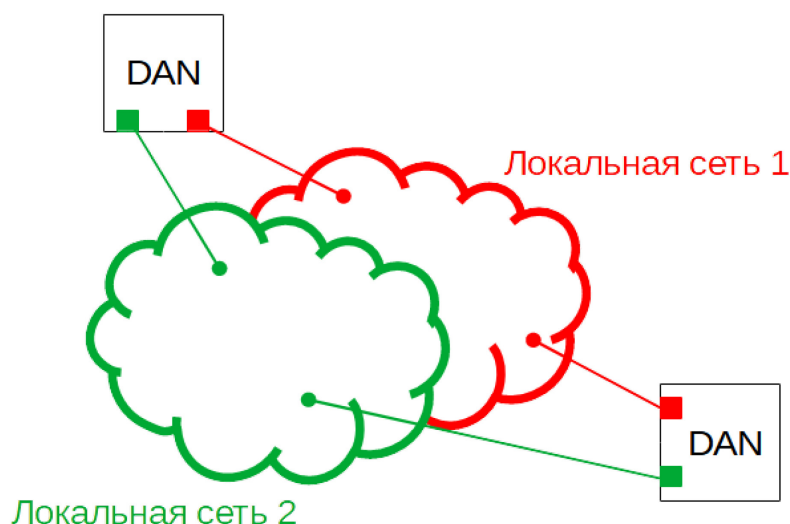


Рис.1 – Пример PRP-сети

Протокол HSR разработан для кольцевой топологии сети. В HSR-кольцо нельзя включить стандартное устройство с одним сетевым интерфейсом, так как кольцо не будет замкнуто и формат данных с HSR-заголовком не будет распознан.

В PRP каждый узел (DAN — Dual Attached Node — на рисунке 1) подключён к двум отдельным параллельным локальным сетям (LAN) с произвольной топологией (рисунок 1). Две сети предполагаются отказоустойчивыми. Узел назначения всегда будет получать по крайней мере один пакет, пока одна из двух сетей находится в рабочем состоянии. Это обеспечивает нулевое время восстановления в случае единичного сбоя, поэтому никакие кадры не теряются.

Недостатком PRP является то, что стоимость сети удваивается по сравнению с одиночной сетью без резервирования. Преимущество PRP по сравнению с HSR заключается в том, что обычные узлы, не поддерживающие PRP, могут быть подключены к сети без RedBox (устройства RedBox позволяют подключать оконечные устройства без поддержки PRP/HSR к сегментам PRP-подсетей или в HSR-кольцо).

Есть немало производителей сетевого оборудования (Cisco, Moxa, Hirshmann, Siemens) [2, 3], которые предоставляют промышленные коммутаторы для работы с протоколами HSR и PRP. Такие коммутаторы в основном выполняют роль RedBox, Quadbox и посредников между HSR, PRP или другими сетями [2]. У большинства таких коммутаторов порты с поддержкой HSR и PRP строго зафиксированы и ограничены в количестве, меньшем, чем всего портов коммутатора. Это обусловлено главной особенностью протоколов HSR и PRP: Резервирование реализуется на конечных узлах, а не на сетевых компонентах [4]. Можно повысить эффективность управления сетями с поддержкой таких протоколов за счёт специально разработанных алгоритмов, позволяющих конфигурировать любой порт под HSR/PRP.

Таким образом, необходимо специальное программное обеспечение, чтобы была возможность управлять и конфигурировать любой порт коммутатора, а также следить за статусом узлов сети. В настоящее время разрабатывается отечественная программа с таким функционалом в виде модуля, встраиваемого в управляющее ПО. Его внедрение планируется в коммутаторах серии «Корунд» предприятия «Ангстрем-Телеком».

Алгоритм работы и структуры данных программного обеспечения

Каждому порту коммутатора соответствует свой сетевой интерфейс — объект в ядре операционной системы, который содержит данные, описывающие интерфейс, в частности, MAC-адрес, IP-адреса, состояние интерфейса, ведомые и ведущие интерфейсы. Разрабатываемый модуль управляет сетевыми интерфейсами, чтобы создавать или удалять HSR-интерфейсы (под HSR-интерфейсом будем понимать сетевые интерфейсы и типа HSR и типа PRP).

Структурно HSR-интерфейс представляет собой виртуальный сетевой интерфейс, объединяющий два обычных интерфейса (ведомых), соответствующих своей части сети (красный и зелёный на рисунке 1). Для создания HSR-интерфейса необходимо, чтобы два ведомых интерфейса не имели других ведущих интерфейсов. Соответственно, нужно следить за тем, чтобы новый HSR-интерфейс не пересекался ведомыми интерфейсами с уже существующими HSR-интерфейсами и теми, которые нужно создать следующими, если в один момент времени понадобится создать сразу несколько. Из всего этого следует, что нужно в каждый момент времени знать точное состояние сетевого стека операционной системы и какие интерфейсы в дальнейшем требуется создать. Следовательно, используется внешняя база данных для хранения HSR-интерфейсов, запрошенных пользователем посредством CLI или WEB-интерфейсов и API для взаимодействия с БД. В программе при этом обрабатывается список интерфейсов на сетевом стеке и структура данных для хранения HSR-интерфейсов из базы данных для экономии времени на постоянные операции запроса и десериализации всех записей БД.

Все вышеописанные структуры данных необходимы для конфигурирования, то есть для создания и удаления HSR-интерфейсов на сетевом стеке ядра. Программный модуль также выполняет мониторинг состояния узлов HSR/PRP-сети — сетевых устройств, имеющих HSR-интерфейс, посредством которых происходит связывание с другими подобными узлами.

Для мониторинга сети программному модулю необходимо взаимодействовать с драйвером операционной системы, который реализует протоколы HSR и PRP. Из используемой при взаимодействии структуры узла наиболее важны такие данные, как: MAC-адреса обоих портов, время последних пришедших и ушедших кадров через соответствующие порты, последовательные номера последних кадров, прошедших через соответствующие порты и две переменные, используемые для определения типа узла (DAN, SAN, VDAN).

Алгоритм программного модуля основан на обработке уведомлений:

1. От базы данных — как результат обработки команды пользователя. Сюда относятся уведомления о добавлении, удалении или изменении HSR-интерфейса.
2. О добавлении, удалении или изменении сетевого интерфейса в ядре ОС. Такие уведомления программный модуль будет получать посредством библиотеки libnl.
3. О изменении топологии HSR/PRP-сети тоже посредством библиотеки libnl. Под изменением топологии подразумевается добавление или удаление узлов сети.
4. О изменении данных узлов HSR/PRP-сети, после специального запроса о получении изменений. Данное уведомление также обрабатывается посредством libnl.

Заключение. С использованием разработанных в АО «Ангстрем-Телеком» алгоритмов отечественные промышленные коммутаторы серии «Корунд» позволят управлять сетями быстрой сходимости без потерь более эффективно, чем в настоящее время, реализуя протоколы резервирования сетевых связей.

Список литературы

1. IEC, "Industrial communication networks — High availability automation networks - Part 3: Parallel Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR)", TC 65 / SC 65C, IEC 62439-3:2016, March 2016, [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://webstore.iec.ch/publication/24447>
2. High-Availability Seamless Redundancy (HSR) for IE 4000, IE 4010, and IE 5000. [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/switches/connectedgrid/cg-switch-sw-master/software/configuration/guide/hsr/b_hsr_ie4k.html#id_55277
3. Спецификация коммутаторов PT-7728 Series. [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://moxa.ru/files/datasheets_2020/pt-7728-series-datasheet-v1_3.pdf
4. Протоколы «бесшовного» резервирования PRP и HSR [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://habr.com/ru/company/phoenix_contact/blog/443248/

*2.3.5. (05.13.11)***М.Ю. Ромашихин**

МИРЭА - Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
Институт перспективных технологий и индустриального программирования,
кафедра наноэлектроники,
Москва, misha.romashikhin@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛИС ДЛЯ РАБОТЫ СО ЗВУКОВЫМИ СИГНАЛАМИ

В работе представлены реализации устройств для работы со звуковыми сигналами на основе программируемых логических интегральных схем. Представлены реализация генератора речи и реализация КИХ-фильтра низких частот для обработки звуковых сигналов.

Ключевые слова: *речь, ПЛИС, прототипирование, генерация звука, цифровая обработка сигналов.*

Введение

В настоящее время ПЛИС является основой для создания устройств ЦОС. Наглядным примером служит применение интегральных схем с программируемой логикой (ПЛИС) для реализации устройств работы со звуком, которое имеет следующие преимущества по отношению, в частности, к системам на основе микроконтроллеров:

- Возможность конфигурирования логики ПЛИС позволяет реализовать цифровую схему устройства любой сложности
- Возможность работы ПЛИС на высоких частотах (сотни МГц и вплоть до 1 ГГц)
- Наличие большого количества ножек (порядка сотен), что позволяет реализовать множество каналов вывода генерируемых сигналов.
- Наличие встроенных блок RAM памяти, что позволяет хранить выборку генерируемых сигналов.
- Новые семейства ПЛИС, представляют собой интегральные схемы типа «Система на кристалле», имеющие встроенный АЦП с частотой дискретизации до 1 Мвыб/с.

Соответственно, большое количество публикаций последних лет, посвящено реализации устройств для работы со звуком на основе ПЛИС. В частности, в работе [1] представлен анализ реализации цифровых фильтров на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ), в которой все модули реализованы на основе языка проектирования аппаратуры VHDL и подробно описан процесс проектирования фильтра.

В работе [2] описано устройство, представляющее собой универсальную систему для обработки аудио сигнала, в которой ПЛИС выступает в роли процессора сигнальной обработки с реализованным IP-ядром БПФ. Также это система имеет видео вывод VGA для визуализации спектра сигнала.

Постановка задачи

Целью данного исследования является демонстрация возможности применения ПЛИС в реализации устройств, работающих со звуковыми сигналами. В качестве основы устройства служит FPGA кристалл фирмы Xilinx (xc6slx16-2ftg256). Реализованные устройства разработаны с целью обучения цифровому синтезу в учебных заведениях, а также применению их в задачах генерации звуковых сигналов и ЦОС.

Возможность конфигурирования логики, а также наличие дополнительных модулей (пример: блоки RAM памяти или модулей DSP) дают огромные возможности для реализации алгоритмов ЦОС на базе ПЛИС. Базовым элементом для реализации схем ЦОС в ПЛИС фирмы Xilinx является DSP48. Данный элемент реализован аппаратно на кристалле, что позволяет сохранить логические ячейки для реализации других операций и повысить частоту

тактирования. Блок DSP48 представляет собой высокоскоростной АЛУ. Синтезаторы Vivado автоматически используют данные блоки для реализации умножения и сложения на базе языков аппаратного проектирования Verilog и VHDL, а также языков высокоуровневого синтеза HLS и Matlab.

Классический подход в проектировании цифровых устройств на FPGA подразумевает написание RTL – модели на языке описания аппаратуры Verilog или VHDL. Но данный подход малоэффективен для кристаллов, содержащие сотни тысяч логических ячеек. Для решения данной проблемы созданы среды проектирования HLS (высокоуровневый синтез). Средства HLS позволяют создавать цифровые устройства на языках программирования высокого уровня C, C++, языка математического пакета Matlab. В данной работе использовались язык C++ и среда проектирования Vitis HLS фирмы Xilinx. Высокоуровневый синтез позволяет в краткие сроки создавать и верифицировать проекты, а также уменьшает порог вхождения инженеров и ученых в область проектирования цифровых устройств.

Реализация воспроизведения речи.

На основе САПР Xilinx в данной работе реализован проект устройства, которое воспроизводит сохранённую выборку речевого сигнала. Для примера в качестве источника сигнала выбран файл формата *wav*, на котором записан женский голос, говорящий на русском слово «привет». Данный файл с помощью программы на языке программирования Python, преобразован в файл типа *coe*, необходимый для загрузки данных во внутреннюю память RAM ПЛИС.

Генератор речи работает в цикле по следующему алгоритму (рис.1). Каждую итерацию происходит обращению к массиву значений сигнала в модуле BROM (Block ROM – ip ядро для работы с RAM памятью ПЛИС), представляющих собой последовательные выборки дискретизированного по времени и квантованного по уровню звукового сигнала. Каждую итерацию происходит вывод одного значения сигнала, после чего индекс массива инкрементируется.



Рис.1 – Блок-схема алгоритма работы устройства генерации звука

Полученное значение выводится на внешний ЦАП который реализован на плате PMOD AMP3 [5]. Данное устройство работает по интерфейсу I2C. Устройство имеет встроенный фильтр и усилитель сигнала.

Для имплементации Генератор на ПЛИС применялась отладочная плата PisWords PILX16 с кристаллом xc6slx16-2ftg256 семейства Spartan 6 [4]. Синтез и имплементация сделаны в среде проектирования ISE [6].

Пример осциллограммы речевого сигнала, воспроизведенного спроектированным устройством, приведен на рис.2. Из динамика ясно слышится женский голос, произносящий слово «привет». Вид осциллограммы идентичен форме сигнала, *wav* файла.

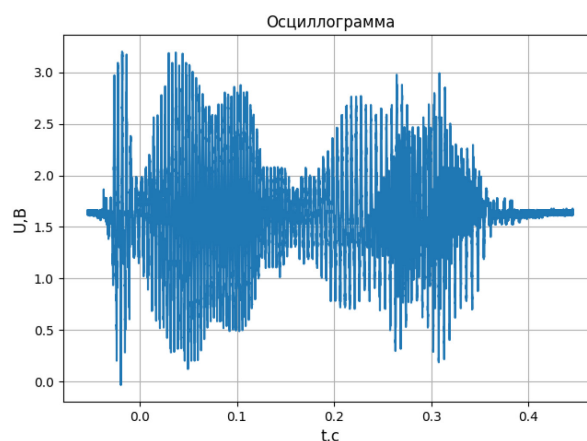


Рис.2 – Пример осциллограммы, демонстрирующую работу спроектированного генератора

Реализация модулей ЦОС на примере цифрового фильтра

В качестве демонстрации возможности реализации алгоритмов ЦОС на базе ПЛИС, выбран КИХ-фильтр низких частот. Для реализации фильтра нужно реализовать свертку входного сигнала с функцией фильтра. Вычисление свертки будет осуществляться на основании теоремы о свертке, что свертка двух функций g и h равна обратному Фурье преобразованию произведения Фурье - образов функций G и H :

$$\{g * h\} = \mathcal{F}^{-1}\{G \cdot H\}$$

Входной сигнал с длиной выборки равной степени двойки (для работы алгоритма БПФ) подвергается прямому БПФ, после чего спектр сигнала сохраняется в массиве комплексных чисел. Затем сохраненный спектр умножается покомпонентно на спектр импульсной характеристики фильтра, предварительно сгенерированной и сохраненной в памяти ПЛИС. Результат умножения подвергается обратному БПФ. Модуль возвращает отфильтрованный сигнал в виде массива комплексных чисел. Обратное БПФ реализовано на основе прямого путем комплексного сопряжения результата умножения спектров.

Для реализации БПФ и фильтра на его основе использован высокоуровневый синтез (HLS). Результаты работы КИХ фильтра низких частот (частота среза – 50 Гц) приведены на рисунке 3. Для интерпретации в виде графиков, данные сигналов были сохранены в файле и обработаны на ПК. На рисунке представлены четыре графика:

- Верхний левый график – входной сигнал. Представляет собой суперпозицию пяти синусоид с частотами 10 Гц, 25 Гц, 30 Гц, 60 Гц, 75 Гц.
- Нижний левый график – Фурье образ входного сигнала
- Верхний правый рисунок – отфильтрованный сигнал
- Нижний правый рисунок – Фурье образ отфильтрованного сигнала. На графике видно, что частоты выше 50 Гц подавлены фильтром.

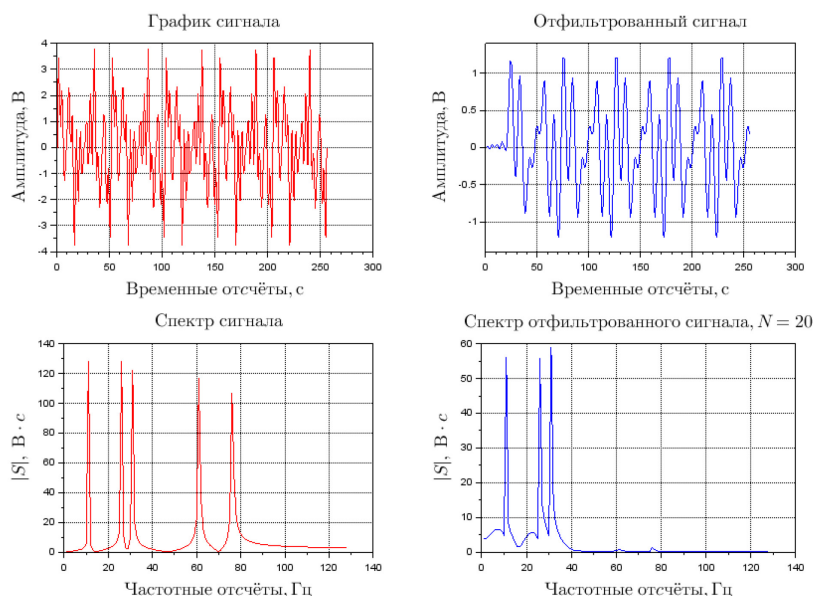


Рис 3 – Результаты функциональной верификации модуля КИХ фильтра низких частот

Заключение

Автор считает, что в данной работе новыми являются следующие положения и результаты: 1) использование для реализации цифрового фильтра средств высокочастотного синтеза HLS, что ускоряет время разработки и прототипирования ip-ядра; 2) на основе САПР ISE Xilinx разработан оригинальный маршрут встраивания IP-ядра цифрового фильтра, который предназначен для обработки звуковых сигналов в системах ЦОС; 3) данное ядро может быть использовано в учебных заведениях для занятий по цифровому синтезу и RTL – проектированию.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки Российской Федерации (проект №FSFZ-0706-2020-0022) и с применением оборудования Центра коллективного пользования РТУ МИРЭА (соглашение от 01.09.2021 № 075-15-2021-689, уникальный идентификационный номер 2296.61321X0010).

Список литературы

1. Digital Signal Processing with FPGAs Prof. Dr. B. Schwartz, University of applied sciences, Hamburg, Germany, [Электронный ресурс]: URL: <https://manualzz.com/doc/27814996/digital-signal-processing-with-fpgas> (дата обращения: 15.01.2022)
2. Audio Signal Processing Based on FPGA Jingbo Zhang¹, Xiaofeng Wang², Dalian Maritime University, Dalian, China, 2014 г. 7 с.
3. PILX16 datasheet [Электронный ресурс] – PisWords, 2020. URL: <http://piswords.com/xc6slx16.html> (дата обращения: 7.02.2022)
4. Pmod AMP3 Reference Manual [Электронный ресурс] – Digilent, 2021 URL: https://digilent.com/reference/_media/reference/pmod/pmodamp3/pmodamp3_rm.pdf (дата обращения: 28.01.2022)
5. Vivado Design Suite User Guide High-Level Synthesis [Электронный ресурс], URL: https://www.xilinx.com/support/documentation/sw_manuals/xilinx2020_1/ug902-vivado-high-level-synthesis.pdf (дата обращения: 16.01.2022)
6. ISE [Электронный ресурс] URL: <https://www.xilinx.com/products/design-tools/ise-design-suite.html> (дата обращения: 5.02.2022)

2.3.5. (05.13.11)

А.Б. Сорокин канд. техн. наук, Р.Э. Семенов, Л.М. Железняк

МИРЭА – Российский технологический университет
Институт информационных технологий,
кафедра вычислительной техники,
Москва, ab__sorokin@mail.ru, 9629790@gmail.com, lilya.zheleznyak@mail.ru

ВИРТУАЛЬНЫЙ РОБОТ МОНИТОРИНГА ПУБЛИКАЦИЙ

Рассматривается разработка интеллектуального программного обеспечения, самостоятельно собирающего, анализирующего и организующего отфильтрованную и удобную для чтения ленту публикаций. Точность фильтрации находится на уровне, превышающий возможности человека благодаря возможности проводить дополнительное обучение. Таким образом, создан полноценный бот, предоставляющий клиенту в удобной форме настройку серверной части.

Ключевые слова: виртуальный робот, двунаправленный трансформер, классификация текстов, нейронная сеть.

Вести анализ потока информации обычно способен только лишь человек. Он прекрасно понимает предмет поиска, знает его контекст и может определять его в последовательности предложений. Однако включение человеческого фактора в рассмотрение данной задачи приводит к снижению концентрации внимания и увеличению ошибки распознавания. Даже идеальный биологический механизм достигает 85-90% точности [1].

Таким образом, ставится задача разработать парсер средств массовой информации, который будет представлять некий фильтр, определяющий полезность публикации, понятный пользователю интерфейс, для работы с программным обеспечением, интерфейс для настройки программного обеспечения.

Один из самых сложных и затратных по времени моментов машинного обучения – это создание обучающей выборки. Благодаря разработке модели бизнес-логики, основанной на концептуальном понимании данного процесса [2]. Таким образом, выбран оптимальный вариант прохождения этапа сбора данных: три положительных, отрицательный и не размеченный (рис.1). В базе данных хранится набор всех данных, но с помощью языка запросов можно делать выборку конкретно неразмеченных данных. Оператор MySQL RANDOM дает возможность для равномерного покрытия всего набора данных, без концентрации на начале, середине или конце набора.

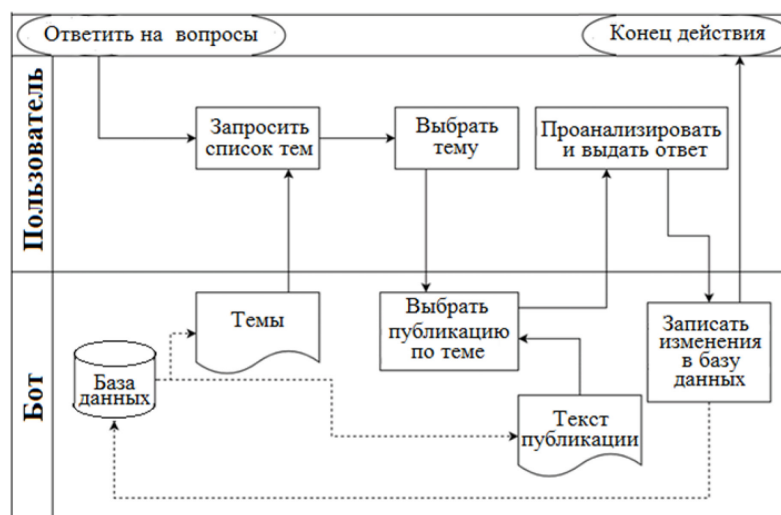


Рис. 1 – Диаграмма деятельности процесса создания пользователем обучающей выборки

Очевидно, реализация обучения средствами бота облегчает подход к хранению данных и позволяет выполнять в реальном времени дополнять коллекцию данных для обучения.

Для хранения данных выбрано 2 формата: JSON и MySQL. В формате JSON решено хранить файлы конфигурации, которые можно с легкостью редактировать человеку, а программа без труда может его прочитать. Для хранения больших объемов данных выбран MySQL, обеспечивающий доступ к базе данных даже между разными серверами.

Структура данных «публикация» содержит в себе поля ссылки на источник, типа источника, текст, а также, организует хранение последней даты обращения к какому-либо источнику, позволяя не учитывать устаревшие публикации. Очередь организована так, что в нее невозможно войти двум наборам данных с одинаковым текстом, либо же, если источник находится в черном списке. Внутри этого программного обеспечения работает программа, реализующая многопоточное планирование выполнения кода. Код, запущенный через эту программу, имеет полный доступ к адресному пространству основного потока. Поскольку она запускает новый поток, его неожиданное прекращение работы в результате какой-либо ошибки не повлияет на основной поток, а пропавшие в результате ошибки данные могут быть вновь получены путем повторного обращения к ресурсам.

Существует две стратегии для применения предварительно обученных языковых представлений для последующих задач: основанная на функциях содержит отдельные предварительно обученные представления для конкретных задач, и точечная настройка – часто встречается в генеративных трансформерах, которые предполагают более точную подгонку значений весов всей нейронной сети под требуемую задачу. Эти два подхода имеют одну и ту же целевую функцию во время предварительного обучения.

В структуре BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers – двунаправленный энкодер представления с трансформера) есть два этапа: предварительное обучение и тонкая настройка (рис. 2). Во время предварительного обучения модель обучается на немаркированных данных с помощью различных задач предварительного обучения. Для точной настройки модель BERT сначала инициализируется предварительно обученными параметрами, и все параметры точно настраиваются с использованием помеченных данных из последующих задач. Каждая последующая задача имеет отдельные настроенные модели, даже если они инициализированы с одинаковыми предварительно обученными параметрами [3].

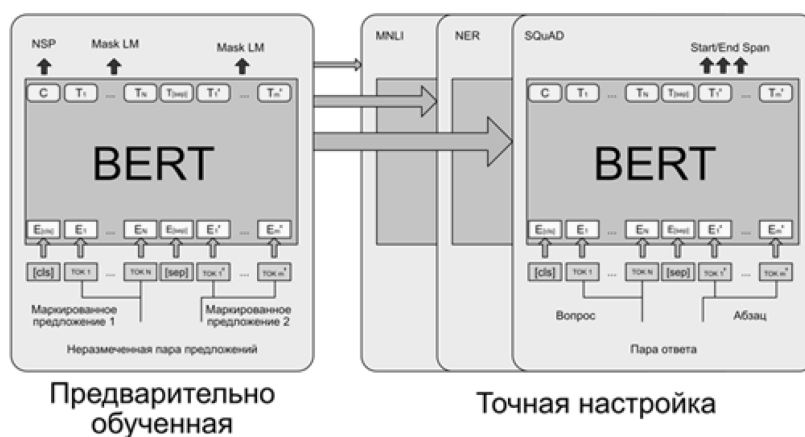


Рис. 2 – Общие процедуры предварительной подготовки и тонкой настройки для BERT

Тонкая настройка основана на механизм самовнимания в Transformer позволяет BERT моделировать многие последующие задачи - независимо от того, включают ли они одиночный текст или текстовые пары - путем замены соответствующих входов и выходов.

Трансформатор является первой трансдукционной моделью, полностью полагающейся на самонаправление для вычисления представлений своих входных и выходных данных без использования RNN (Рекуррентные нейронные сети), выровненных последовательности, или сверток.

Большинство конкурирующих моделей транскрипции нейронных последовательностей имеют структуру кодера-декодера. Здесь кодер отображает входную последовательность представлений символов $(x_1, \dots, x_n)$ в последовательность непрерывных представлений $z = (z_1, \dots, z_n)$. По заданному z декодер затем генерирует выходную последовательность $(y_1, \dots, y_m)$ символов по одному элементу за раз. На каждом этапе модель является авторегрессивной, используя ранее сгенерированные символы в качестве дополнительных входных данных при создании следующего.

Таким образом, архитектура модели BERT представляет собой многослойный двунаправленный кодировщик Transformer, основанный на исходной реализации и выпущен в библиотеке `tensorflow`.

Эффективность работы нейронной сети приведена в таблице, где существует 2 класса (0 – интересные, 1 – неинтересные) публикаций.

Таблица – Количественная демонстрация результата работы нейронной

Класс	Количество	Процент
0	4340	93.94
1	280	6.06
ANY	4620	100%

Такой результат с легкостью можно назвать успешным: остается лишь 6 процентов от общего числа публикаций. Тщательное чтение показало, что нет нареканий к качеству фильтрации. Есть 10 ± 5 ложноположительных срабатываний, столько же и ложноотрицательных, что от общего количества составляет от 0.1 до 3 процентов.

Реализованный интерфейс программного обеспечения предоставляет диалог с ботом по осуществлению создания обучающей выборки и добавления ссылок в базу данных. При этом обеспечена реализация оптимизации бизнес-процесса. Добавление ссылок идет одна за другой, делая процесс непрерывным и не требует отвлекаться на введение команд, многократно повторяющийся выбор темы. Соответственно, отображается источник, запрос, краткий текст публикации, ссылка на нее, а также удаления публикации из новостной ленты, сохранением ее в специальный чат и добавлением в черный список. Еще один вариант взаимодействия с ботом, когда полезная нагрузка команды пишется после самой команды в той же строке. Это позволяет выполнять простые команды с минимальной затратой на написание команд.

В результате разработано полноценное программное обеспечение, самостоятельно собирающее, анализирующее и организующее отфильтрованную и удобную для чтения ленту публикаций. Точность фильтрации находится на уровне, превышающий возможности человека благодаря возможности проводить дообучение. Нейронная сеть отбраковывает 94% публикаций от общего потока. Клиенту предоставляется в удобной форме настройка серверной части.

Список литературы

1. Корчемный П.А. Военная психология: методология, теория, практика. – М.: Воениздат, 2010 – 340 с.
2. Сорокин А.Б., Кушнарев А.П. Морфологический анализатор текста для выявления полноты информации // Теоретический и прикладной научно-технический журнал «Информационные технологии», 2018. – №11 (24). – С. 719 – 724.
3. Khandelwal, Urvashi; He, He; Qi, Peng; Jurafsky, Dan (2018). Sharp Nearby, Fuzzy Far Away: How Neural Language Models Use Context // Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 2018. – Vol. 1. – P. 284–294

2.3.5. (05.13.11)

**М.Ю. Шрейдер канд. техн. наук, доцент, А.Д. Тарасов канд. техн. наук,
А.М. Осипова канд. техн. наук, О.В. Антонова, И.А. Синотов**

Оренбургский государственный аграрный университет,
Институт управления рисками и комплексной безопасности,
кафедры цифровых систем обработки информации и управления,
Оренбург, marshr@mail.ru, adtarasov@mail.ru, anna.osipova.74@mail.ru, farenlait@gmail.com

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

В статье рассматривается использование IT-решений в работе компаний, а именно в области обучения в одной из школ программирования. Представлены схемы алгоритмов работы приложения, необходимого для улучшения качества работы организации, а также увеличения лояльности клиентов. Продемонстрированы графики положительного влияния на деятельность компании, во время тестирования программного продукта.

Ключевые слова: цифровизация, мобильное приложение, цифровое решение, программный продукт.

Цифровизация помогает компаниям и организациям автоматизировать процессы, которые ранее выполнялись вручную, действовать более эффективно в кризисных ситуациях, а также иметь технологическую платформу, готовую к инновациям. Компании, которые сегодня внедряют современные технологии в бизнес, находятся в стратегически лучшем положении, чем конкуренты, которые не развивались и должны быстро восполнить недостаток цифровых решений. Все это говорит об актуальности разработки подобных решений.

Международная школа программирования Caddy предоставляет различные обучающие программы для развития детей в очной форме. Но иногда подобное обучение затруднительно, а предоставление информации обо всех мероприятиях школы занимает много времени [1].

Целью создания мобильного приложения было повышение эффективности работы организации, а также увеличение лояльности клиентов, за счет его использования.

В качестве IT продукта было выбрано мобильное программное обеспечение, так как пользователей, взаимодействующих со смартфонами, на данный момент намного больше, чем, например, пользователей web-сайтов, что дает больший охват по использованию продуктов [2]. Схема работы приложения представлена на рисунке 1.

Для написания кода, реализации сервера и системы оплаты, а также для проектирования UX-дизайна были выбраны следующие программные средства:

- Unity3D (UX-дизайн, добавление игровых механик, простота решений) [3];
- Visual Studio (IDE для написания кода);
- WordPress (программное средство для работы с web-ресурсами).

Каждая часть программного продукта реализована как отдельный класс, подобраны приятные для глаз цвета, построен удобный интерфейс, а также все приложение подключено к серверу, что повышает актуальность информации и ее защиту от различных угроз. На рисунке 2 показана схема алгоритма подкачки контента.

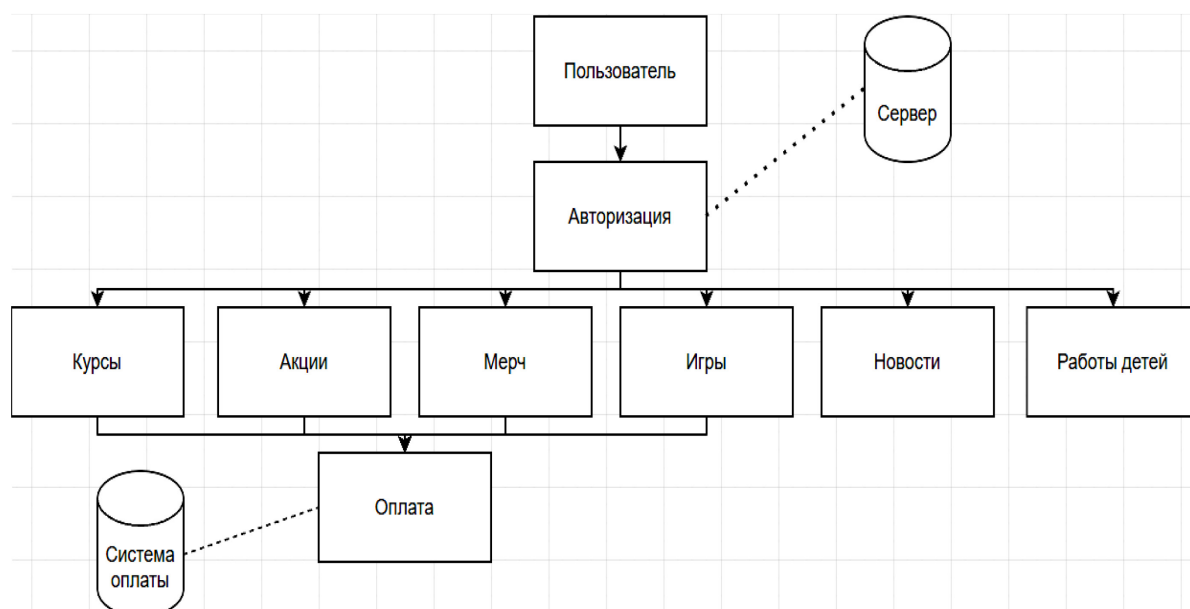


Рис. 1 – Схема работы приложения

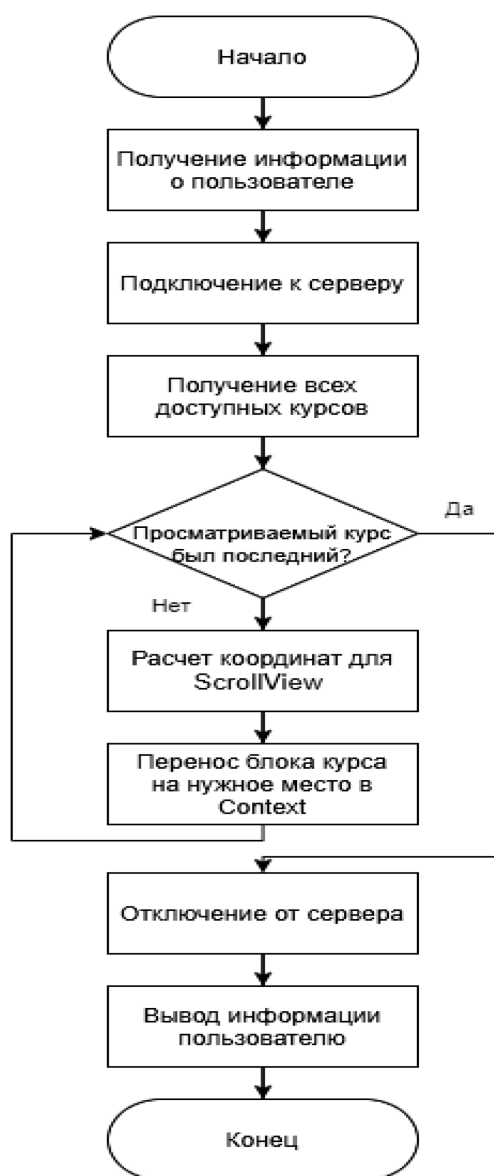


Рис. 2 – Схема алгоритма подкачки контента

Основной функцией приложения является представление пользователю контента, который ему доступен на данный момент. Построение блока курса происходит автоматически с помощью созданных алгоритмов, которые ссылаются на сервер всей компании и выбирают нужную информацию для дальнейшего использования. Далее этот блок помещается в специальное окно, созданное с помощью компонентов Unity: «Scroll View – Context», на нужные координаты, зависящие от сложности курса, а также времени его создания и покупки. ScrollView — это макет, который способен прокручивать его содержимое [4]. В данном случае этот макет используется часто, потому что мобильное приложение имеет ограниченное пространство для просмотра контента.

После внедрения тестовой версии приложения в компанию было выявлено:

- охваты в социальных сетях Instagram и Facebook увеличились в 2.5 раз;
- клиенты стали чаще оставлять отзывы, откликаться на акции, участвовать в различных мероприятиях;
- скорость оформления одной заявки уменьшилась в 2 раза;
- количество клиентов увеличилось в 1.5 раза (рисунки 3, 4).

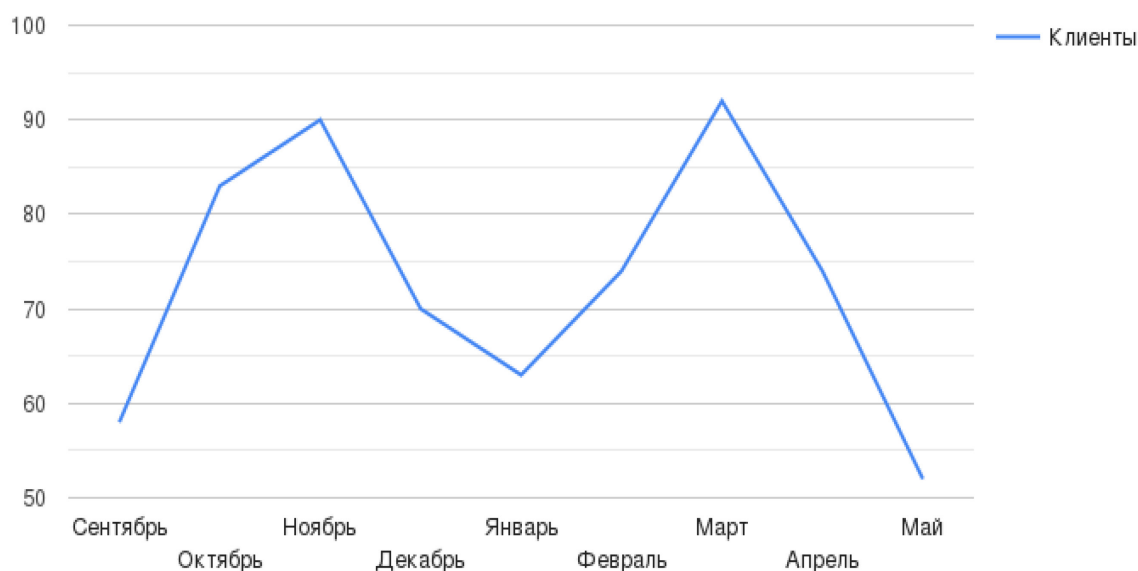


Рис. 3 – Количество клиентов за учебный 2019 г.

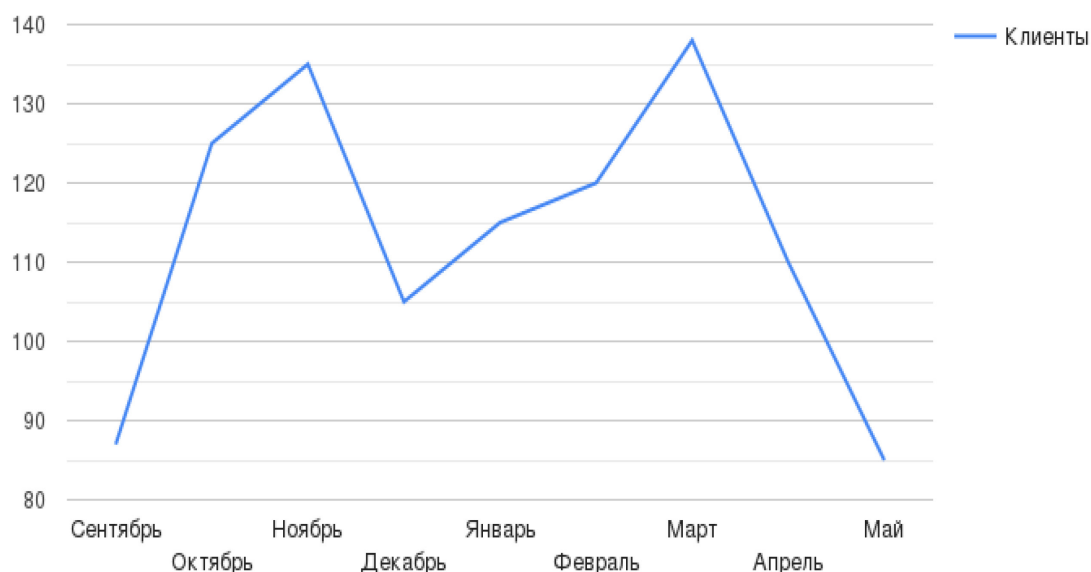


Рис. 4 – Количество клиентов за учебный 2020 г.

На данный момент тестовая версия приложения используется в образовательном процессе одного из филиалов международной школы программирования Caddy.

Применение мобильных технологий — это тренд, направление развития которого необходимо придерживаться. Компании, которые ориентируются на будущее, а также старается сохранить и приумножить свои конкурентные преимущества в эпоху «мобильного бума», не должны останавливаться на достигнутом.

К достоинствам внедрения таких приложений можно отнести следующее:

- 1) оптимизация и автоматизация работы на предприятии;
- 2) повышение лояльности клиентов;
- 3) дополнительные возможности (дополненную реальность, голосовой поиск, GPS и другие).

К недостаткам работы с мобильными технологиями относится следующее:

- 1) приложения подходят не для всех организаций;
- 2) высокая стоимость разработки;
- 3) приложения нуждаются в регулярном техническом обслуживании и обновлениях.

Список литературы

1. Родионов М.Ю., Губанова О.М. Мобильное обучение, или как использовать приложения / Народное образование. – 2020. – № 1. – С. 157-169.
2. Родионов М.Ю., Губанова О.М. Роль и место мобильных приложений на уроках / Школьные технологии. – 2019. – № 5 – С. 66-78.
3. Жуковская А.Н., Заушицина А.С. Особенности разработки кроссплатформенных мобильных приложений / Решетневские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 330-221.
4. Бастрикина В.В. Обзор Фреймворка Xamarin / Решетневские чтения 2015. – Т. 2. – С. 206-207.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ — 2.3.6. (05.13.19)**

2.3.6. (05.13.19)

Е.В. Бурькова канд. педагог. наук, А.А. Рычкова канд. педагог. наук

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра вычислительной техники и защиты информации,
Оренбург, tulpan63@bk.ru, rnansy@yandex.ru

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КАТЕГОРИРОВАНИЯ ВЫСШЕГО
УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ КАК СУБЪЕКТА КРИТИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

В работе рассматривается вопрос отнесения высших учебных заведений к субъектам критической информационной инфраструктуре, представлен анализ информационных процессов и порядок определения категории объектов.

Ключевые слова: *информационные процессы, категория, субъекты критической информационной инфраструктуры, КИИ.*

Современный этап развития постиндустриального общества характеризуется высоким уровнем информатизации, увеличивающимся объемом обрабатываемых конфиденциальных данных, передачей их с использованием информационно-коммуникационных сетей, с одной стороны, и ростом технической подготовленности злоумышленников, реализующих угрозы информационной безопасности, с другой. В этих сложных условиях особенно актуальной становится задача обеспечения защищенности объектов информатизации в соответствии с уровнем значимости этих объектов.

Дифференциация требований к системе защиты объектов осуществляется на основании результатов категорирования их по уровню важности. Это напрямую связано с необходимостью соблюдения принципа рациональности и экономичности при проектировании системы защиты, которая не должна быть избыточной и соответствовать ценности защищаемых ресурсов [1]. Важным аспектом процесса категорирования является определение принадлежности защищаемого объекта к разряду критической информационной инфраструктуры (далее - КИИ), для защиты которых необходимо соблюдать требования законодательных документов Российской Федерации.

В Федеральном законе № 187 определены основные сферы деятельности, безусловно относящиеся к объектам КИИ, такие как социальная, политическая, экономическая, экологическая, оборона страны, безопасность государства и правопорядка. В этом перечне отсутствует сфера образования, при этом в определении субъектов КИИ как государственного органа, государственного учреждения или юридического лица, относящихся помимо прочих к сфере науки, поэтому для решения вопроса причисления вузов к субъектам КИИ необходимо детально анализировать осуществляемую ими деятельность и наличие у них объектов КИИ, к которым относятся информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети, автоматизированные системы управления, используемые в процессе научно-исследовательской деятельности вуза [2].

Если на основании проведенного анализа выявлены достаточные основания для отнесения вуза к субъектам КИИ, проводится предварительный анализ угроз безопасности информации и реализованных мер по обеспечению безопасности, предварительная оценка масштаба ущерба в случае возникновения компьютерных инцидентов в информационных системах в соответствии с критериями значимости, утвержденных Постановлением Правительства РФ № 127.

Этапы анализа объекта приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Этапы анализа объекта

Этап	Описание этапа	Результат
1. Анализ нормативных документов вуза	На данном этапе составляется перечень нормативных документов образовательного учреждения, такие как лицензия, свидетельство о государственной аккредитации	Выявляется деятельность, соответствующая областям из 187-ФЗ
	Учредительные документы, Устав организации, положения, в которых прописаны основные и вспомогательные виды деятельности организации	
2. Анализ области функционирования используемых информационных систем и ресурсов	Необходимо выявить информационные системы и ресурсы, автоматизирующие процессы в сфере науки	Присутствуют или нет
3. Анализ наличия взаимодействия с объектами КИИ или предоставлении им информационных услуг	На данном этапе анализируются взаимодействие вуза с другими организациями, при которых предоставляются вычислительные ресурсы и телекоммуникационное оборудование или каналы связи для широкого круга заказчиков, информации о том, что информационная инфраструктура применяется для организации взаимодействия с объектами КИИ	Есть взаимодействие или нет

Для координации деятельности субъектов КИИ для противостояния негативным последствиям компьютерных инцидентов функционирует Национальный координационный центр по компьютерным инцидентам, задачами которого является как предупреждение негативных последствий, обнаружения реализованных угроз и ликвидация основных последствий компьютерных атак [3].

Одним из основных направлений деятельности высшего учебного заведения является научная деятельность и анализу подлежат информационные процессы именно в этой сфере. В рамках научно-исследовательской деятельности вуза решаются следующие задачи: развитие интеграции науки и образования, взаимодействие вуза с научными учреждениями РАН; научные исследования и разработки в области естественных и технических наук; участие ученых вуза в федеральных целевых программах, конкурсах и грантах, объявленных государственными научными фондами; развитие сотрудничества с предприятиями и другими промышленными субъектами региона.

Структура вуза включает научные подразделения, оснащенные вычислительной техникой, имеют доступ в локальные общеуниверситетские сети и Интернет, в них созданы базы данных по определенным научным специальностям, проводятся научные эксперименты. Основные бизнес-процессы научной деятельности автоматизированы на всех этапах осуществления научной деятельности. В связи с этим в вузе существует множество информационных процессов, которые могут быть критичными и встает вопрос об отнесении вуза к субъекту КИИ.

Порядок определения категории объекта КИИ представлен на рисунке 1.



Рис. 1 – Порядок определения категории объекта КИИ

Порядок определения категории включает следующие этапы: инвентаризация автоматизированных информационных систем управления, используемых при проведении научно-исследовательской работы; анализ критичности информационных процессов; построение модели угроз и модели нарушителя, расчет рисков в случае возникновения компьютерных инцидентов на объектах КИИ, проводится анализ показателей критериев значимости объектов КИИ на основании методического документа ФСТЭК «Рекомендации по оценке показателей критериев экономической значимости объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» и Постановления Правительства Российской Федерации № 127.

Таким образом, учреждения высшего профессионального образования могут быть отнесены к объектам КИИ, что приводит к необходимости анализировать на предмет критичности сложные бизнес-процессы, сопровождающие научно-исследовательскую деятельность вузов, выполнять требования законодательства для предупреждения, обнаружения, и ликвидации последствий компьютерных атак и реагирования на компьютерные инциденты и обеспечить информационную безопасность в целом.

Список литературы

1. Бурькова Е.В. Категорирование объектов информатизации для выбора средств физической защиты / Е.В. Бурькова // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф., Оренбург: ОГУ, 2017. - С. 3073-3076.
2. Вавичкин А.Н. К вопросу категорирования объектов критической информационной инфраструктуры высших учебных заведений / А.Н. Вавичкин, В.С. Горбатов, А.П. Дураковский, Д.А. Чжен // Безопасность информационных технологий. 2019. Т. 26. № 2. С. 44-57.
3. Родионова Е.Д., Данилова С.В. Категорирование объектов критической информационной инфраструктуры медицинских организаций как способ повышения уровня информационной безопасности / Е.Д. Родионова Е.Д., С.В. Данилова // Вестник Ивановского государственного университета. Серия: Экономика. 2020. № 4 (46). С. 97-103.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

А.Ю. Барыкин, Р.М. Галиев, Э.М. Мухаметдинов,
Д.И. Нуретдинов, Р.Х. Тахавиев, А.М. Фролов
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ НАГРУЖЕННОСТИ БАЛКИ
ВЕДУЩЕГО МОСТА В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ
ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Ключевые слова: грузовой автомобиль, неподдрессоренная масса, балка ведущего моста, нагрузочный режим, коэффициент динамичности, температура воздуха, реакция опорной поверхности.

В статье предложены пути исследования рабочих режимов нагружения балки ведущего моста грузового автомобиля. На основании данных дорожных испытаний обоснована необходимость учёта влияния факторов окружающей среды. Приведены расчётные зависимости, позволяющие оценить степень воздействия внешних факторов на прочность и безотказность ведущих мостов.

А.Г. Гягяева, Д.В. Кондратов, Л.И. Могилевич
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ ГИДРОУПРУГОСТИ
НЕЛИНЕЙНОЙ ПЛАСТИНЫ В УСЛОВИЯХ ВИБРАЦИЙ**

Ключевые слова: вязкая несжимаемая жидкость, упругая геометрически нерегулярная пластина, абсолютно жесткое тело.

В работе представлено решение задачи гидроупругости взаимодействия геометрически нелинейной пластины с вязкой несжимаемой жидкостью в условиях колебаний. Была обозначена необходимость исследования задач гидроупругости геометрически нелинейных пластин с вязкой несжимаемой жидкостью в условиях колебаний. Построена математическая модель механической системы и приведен ход решения.

С.В. Ерохин, М.Р. Миссюрин
**О РАСЧЕТЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗКАХ**

Ключевые слова: математическое моделирование, механическая устойчивость высотных зданий, ветровые нагрузки.

В работе приведены рекомендации и методики построения элементов моделей высотных зданий с целью расчета механической устойчивости конструкций при ветровых нагрузках. Особое внимание уделено возможности реализации методов в программных комплексах.

С.А. Капустин, М.С. Нечаева, А.С. Раевский, И.А. Вдовиченко
**АЛГОРИТМ И СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАННОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ С ТОРЦА
ОТКРЫТОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА**

Ключевые слова: интегральные уравнения, задача об излучении, пространственный фильтр.

В работе предлагается метод формирования заданного поля излучения с торца круглого открытого диэлектрического волновода. Метод основан на решении системы двух интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода относительно тангенциальных к плоскости апертуры компонент напряжённостей электрического и магнитного полей.

С.А. Капустин, А.С. Раевский, А.Ю. Седаков, А.А. Титаренко
**ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА
КОЛЛОКАЦИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ
УРАВНЕНИЙ В ЗАДАЧАХ РАСЧЕТА НЕРЕГУЛЯРНЫХ
ВОЛНОВОДОВ**

Ключевые слова: лемма Лоренца, интегральные уравнения, метод интегро-дифференциальных уравнений.

Рассмотрена процедура применения метода расчета нерегулярных волноводов, основанного на интегральной записи леммы Лоренца. Алгебраизация интегральных уравнений осуществляется на основе метода коллокаций, в качестве узлов коллокаций выбираются точки, в которых располагаются вспомогательные источники.

A.Yu. Barykin, R.M. Galiev, E.M. Mukhametdinov,
D.I. Nuretdinov, R.Kh. Takhaviev, A.M. Frolov
**MODELING OF LOAD FACTORS OF THE DRIVE AXLE
BEAM IN DIFFICULT OPERATING CONDITIONS**

Keywords: truck, unsprung mass, drive axle beam, load mode, dynamic coefficient, air temperature, reaction of the support surface.

The article suggests ways to study the working modes of loading the beam of the drive axle of a truck. Based on the data of road tests, the need to take into account the influence of environmental factors is justified. Calculated dependences are given to assess the degree of influence of external factors on the strength and reliability of load-bearing bridges.

A.G. Gyagyaeva, D.V. Kondratov, L.I. Mogilevich
**ANALYSIS OF PROBLEMS OF HYDROELASTICITY OF
NONLINEAR PLATES UNDER VIBRATION CONDITIONS**

Keywords: viscous incompressible fluid, elastic geometrically irregular plate, absolutely rigid vibrator.

The paper presents a solution to the problem of hydroelasticity of sensation of geometric nonlinear plates with a viscous incompressible fluid under vibration conditions. The task was set to study the hydroelasticity of geometric nonlinear plates with a viscous incompressible fluid under vibration conditions. A mathematical model of the mechanical system is built and running solutions are included.

S.V. Erokhin, M.R. Missyurin
**ON THE CALCULATION OF THE MECHANICAL
STABILITY OF HIGH-RISE BUILDINGS
UNDER WIND LOADS**

Keywords: mathematical modeling, mechanical stability of high-rise buildings, wind loads.

The paper presents recommendations and methods for constructing elements of high-rise building models to calculate the mechanical stability of structures under wind loads. Particular attention is paid to the possibility of implementing the methods in software complexes.

S.A. Kapustin, M.S. Nechaeva,
A.S. Raevskii, I.A. Vdovichenko
**ALGORITHM AND METHOD FOR FORMING A PRESENT
DISTRIBUTION OF THE RADIATION FIELD FROM THE
END OF AN OPEN DIELECTRIC WAVEGUIDE**

Keywords: integral equations, radiation problem, spatial filter.
The paper proposes a method for generating a given radiation field from the end of a round open dielectric waveguide. The method is based on solving a system of two Fredholm integral equations of the 1st kind with respect to the components of electric and magnetic fields tangential to the aperture plane.

S.A. Kapustin, A.S. Raevskii, A.Yu. Sedakov, A.A. Titarenko
**ON THE FEATURES OF APPLYING THE COLLOCATION
METHOD TO SOLVING INTEGRAL EQUATIONS IN
PROBLEMS OF CALCULATION OF IRREGULAR
WAVEGUIDES**

Keywords: Lorentz lemma, integral equations, method of integro-differential equations.

The procedure for applying the method for calculating irregular waveguides based on the integral notation of the Lorentz lemma is considered. Algebraization of integral equations is carried out on the basis of the collocation method; points where auxiliary sources are located are chosen as collocation nodes.

М.В. Таланов, В.М. Таланов
РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В БЕЗДАТЧИКОВЫХ СИСТЕМАХ
УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Ключевые слова: регрессионная модель, идентификация параметров электродвигателя, асинхронный электродвигатель, бездатчиковая система управления.

В работе предлагается регрессионная модель для определения параметров асинхронного электродвигателя в режиме короткого замыкания. Предложенный алгоритм оценки параметров может быть использован для микропроцессорной реализации режима автоматического определения параметров электродвигателя для бездатчиковых систем управления электроприводом [1, 2, 3].

Е.Г. Царькова
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ
ДИНАМИЧЕСКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, обучение нейронной сети, принцип максимума Понтрягина, метод быстрого автоматического дифференцирования, метод проекции градиента.

В работе осуществлено моделирование искусственной нейронной сети (ИНС) достаточно общей структуры. Задача обучения ИНС сформулирована в виде задачи оптимального управления с нефиксированным временем процесса. Совершен переход к дискретной задаче оптимального управления. Разработан и апробирован алгоритм численного решения задачи обучения динамической нейронной сети.

Р.Р. Абдулов, Н.Е. Кувшинов,
А.В. Степура, Г.А. Морозов, Н.Е. Стахова
АЛГОРИТМ ИМИТАЦИИ ЦИКЛА «ДЕНЬ-НОЧЬ» ДЛЯ
ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН АРБУЗА

Ключевые слова: семена арбуза; предпосевная обработка семян; алгоритм имитации цикла «день-ночь»; влаготепловая обработка; обработка электромагнитным полем СВЧ; обработка световым полем; обработка инфразвуковым полем.

В работе представлены результаты синтеза алгоритма имитации цикла «день-ночь» для предпосевной обработки семян арбуза. На примере семян арбуза, выращиваемых в Астраханской области, предложен способ стимуляции семян сельскохозяйственных культур, заключающийся в том, что семена обрабатывают в воде при контрастных температурах 20°C и 40°C в течение 30 минут с одновременным облучением СВЧ-полем, энергия которого ведет не только к нагреву воды, но и возбуждению внутренних дипольных связей семян. Обработанные при контрастных температурах семена подвергают дополнительной обработке световым излучением различной яркости также в течение 30 минут. Таким образом реализован циклический час предпосевной обработки, который эквивалентен одним суткам естественной обработки (имитация режима «ночь-день»). Обсуждены вопросы разработки информационных моделей реализации технологического процесса предпосевной обработки семян арбуза, который позволил в 10 раз сократить его длительность при увеличении длины проростков в 1,5 раза по сравнению с естественным. Отмечена необходимость дополнительного использования инфразвуковой обработки семян параллельно со световой.

Р.Р. Абдулов, Н.Е. Кувшинов,
А.В. Степура, Г.А. Морозов, Н.Е. Стахова
СТЕНД ИМИТАЦИИ ЦИКЛА «ДЕНЬ-НОЧЬ»
ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДПОСЕВНОЙ
ОБРАБОТКИ СЕМЯН АРБУЗА

Ключевые слова: семена арбуза; предпосевная обработка семян; алгоритм имитации цикла «день-ночь»; стенд; водотермическая обработка; обработка электромагнитным

M.V. Talanov, V.M. Talanov
REGRESSION MODEL FOR INDUCTION MOTOR
ELECTRICAL PARAMETERS IDENTIFICATION
IN SENSORLESS DRIVE CONTROL SYSTEMS

Keywords: regression model, identification of electric motor parameters, asynchronous motor, sensorless control system.

The paper presents a regression model for determining the parameters of an induction motor in short-circuit mode. The proposed algorithm for parameter estimation can be used for the microprocessor implementation of the automatic determination of electric motor parameters for sensorless electric drive control systems

E.G. Tsarkova
MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMIC NEURAL
NETWORK TRAINING

Keywords: artificial neural network, neural network training, Pontryagin maximum principle, fast automatic differentiation method, gradient projection method.

In this paper, modeling of an artificial neural network (INS) of a fairly general structure is carried out. The task of INS training is formulated in the form of an optimal control problem with an unfixed process time. The transition to a discrete optimal control problem has been made. An algorithm for numerical solution of the dynamic neural network training problem has been developed and tested.

R.R. Abdulov, N.E. Kuvshinov,
A.V. Stepura, G.A. Morozov, N.E. Stakhova
ALGORITHM FOR IMITATION OF THE "DAY-NIGHT"
CYCLE FOR PRE-SOWING TREATMENT OF
WATERMELON SEEDS

Keywords: watermelon seeds; pre-sowing treatment of seeds; algorithm for simulating the day-night cycle; moisture heat treatment; processing by microwave electromagnetic field; processing by a light field; processing by an infrasonic field. The paper presents the results of the algorithm synthesis for simulating the "day-night" cycle for pre-sowing treatment of watermelon seeds. On the example of watermelon seeds grown in the Astrakhan region, a method for stimulating seeds of agricultural crops is proposed, which consists in treating the seeds in water at contrast temperatures of 20°C and 40°C for 30 minutes with simultaneous exposure to a microwave field, the energy of which leads not only to water heating, but also to the excitation of internal dipole bonds in seeds. Seeds treated at contrasting temperatures are subjected to additional treatment with light radiation of different brightness also for 30 minutes. Thus, a cyclic hour of pre-sowing processing is implemented, which is equivalent to one day of natural processing (imitation of the "night-day" mode). The issues of developing information models for the implementation of the technological process of pre-sowing treatment of watermelon seeds were discussed, which made it possible to reduce its duration by 10 times with an increase in the length of seedlings by 1.5 times compared to the natural one. The need for additional use of infrasonic seed treatment in parallel with light treatment was noted.

R.R. Abdulov, N.E. Kuvshinov,
A.V. Stepura, G.A. Morozov, N.E. Stakhova
THE "DAY-NIGHT" CYCLE IMITATION
STEND FOR PRE-SOWING TREATMENT
OF WATERMELON SEEDS

Keywords: seeds of watermelon; pre-sowing treatment of seeds; algorithm for simulating the day-night cycle; stand; water thermal treatment; processing by microwave

полем СВЧ; обработка световым полем; обработка инфразвуковым полем.

В работе представлены результаты разработки стенда для алгоритма имитации цикла «день-ночь» для предпосевной обработки семян арбуза. В стенде с принудительной подачей семян в воде контрастных температур достигается высокая равномерность обработки рабочей массы, отсутствие участков локального перегрева. Семена обрабатывают в воде при контрастных температурах 20°C и 40°C в течение 30 минут с одновременным облучением СВЧ-полей, а также дополнительно комбинацией СВЧ, световых и инфракрасных полей, также в течение 30 минут. Смесь семян и воды при соответствующей температуре поступают в приемный бункер. Затем проходят экранный модуль и попадают в канал обработки, размещенный в металлическом экране цилиндрической формы, являющийся корпусом СВЧ, светового и инфракрасного модуля. Внутри экрана подводится СВЧ энергия от генераторов СВЧ, света и инфракрасного излучения. Канал и экран имеют вертикальное расположение, что обеспечивает надежное движение смеси семян и воды. В настоящее время реализация предложенной схемы для обработки семян и воды требует дополнительных исследований по технологии.

Д.В. Алексеев, В.И. Баязитова,
Л.М. Сарварова, А.А. Василец, Р.Л. Галиуллин
МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ
ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С
ФАЗОВЫМ СДВИГОМ

Ключевые слова: волоконные брэгговские решетки, фазовый сдвиг, распределенные сенсорные сети, переносной сенсор, мониторинг плотности дорожного движения.

Постепенно добавление полос движения становится все более частым управленческим решением с увеличением количества транспортных средств на дорогах. Однако это решение уже не является оптимальным решением проблемы пробок на дорогах. Одним из практических решений является более эффективное использование существующей инфраструктуры и более эффективное управление. Эффективное управление дорожным движением требует использования технологии наблюдения для определения размера трафика, который определяет характеристики и поведение транспортных средств на дороге (например, скорость транспортного средства, плотность транспортных средств, размер транспортных средств и т.д.). Несмотря на то, что волоконные решетки Брэгга (ВБР) использовались во многих успешных экспериментах по мониторингу трафика до сих пор не было предложено стандартного решения для реализации мобильных систем контроля плотности на базе ВБР и их разновидностей. В этой работе мы проектируем мобильную платформу, включающую датчики ВБР, особенностью которых является наличие в них фазового сдвига, и возможность применения для них радиоточечного опроса, который существенно выигрывает у классического оптико-электронного по скорости и точности.

Д.В. Алексеев, В.И. Баязитова,
Л.М. Сарварова, А.А. Василец, Р.Л. Галиуллин
СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ ДВИЖЕНИЯ
НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА

Ключевые слова: распределенный акустический мониторинг, трехкомпонентные адресные волоконные брэгговские структуры, полотно дороги, распределенные сенсорные сети, плотность дорожного движения.

В этой статье обсуждается метод обнаружения транспортных потоков с использованием распределенного акустического мониторинга (РАМ) оптического волокна (от англ. DAS). В отличие от традиционного метода обнаружения транспортного потока, РАМ обнаруживает сигнал вибрации дорожного полотна с помощью оптоволоконного кабеля,

electromagnetic field; processing by a light field; processing by the infrasonic field.

The paper presents the results of the development of a stand for the algorithm for simulating the "day-night" cycle for pre-sowing treatment of watermelon seeds. In the stand with forced supply of seeds in water of contrasting temperatures, a high uniformity of processing of the working mass is achieved, the absence of areas of local overheating. Seeds are treated in water at contrast temperatures of 20°C and 40°C for 30 minutes with simultaneous irradiation of microwave fields, as well as an additional combination of microwave, light and infrared fields, also for 30 minutes. A mixture of seeds and water at the appropriate temperature enters the receiving hopper. Then the screen module passes and enters the processing channel, placed in a cylindrical metal screen, which is the housing of the microwave, light and infrared module. Microwave energy is supplied inside the screen from generators of microwave, light and infrared radiation. The channel and the screen are arranged vertically, which ensures reliable movement of the mixture of seeds and water. Currently, the implementation of the proposed scheme for the treatment of seeds and water requires additional research on technology.

D.V. Alekseev, V.I. Bayazitova,
L.M. Sarvarova, A.A. Vasilets, R.L. Galiullin
MOBILE TRAFFIC DENSITY MONITORING SYSTEM
BASED ON BRAGG GRATINGS WITH PHASE SHIFT

Keywords: fiber Bragg gratings, phase shift, distributed sensor networks, portable sensor platform, traffic density monitoring. Gradually adding lanes is becoming more and more of a management decision as the number of vehicles on the roads increases. However, this solution is no longer the optimal solution to traffic congestion. One practical solution is to use the existing infrastructure more efficiently and manage it more effectively. Effective traffic management requires the use of surveillance technology to determine the amount of traffic that determines the characteristics and behavior of vehicles on the road (vehicle speed, density, size, etc.). Despite the fact that FBGs have been used in many successful traffic monitoring experiments, so far no standard solution has been proposed for the implementation of mobile density control systems based on FBGs and their varieties. In this work, we design a mobile platform incorporating FBG sensors, a feature of which is the presence of a phase shift in them, and the possibility of using microwave photonic interrogation for them, which significantly outperforms the classical optoelectronic one in terms of speed and accuracy.

D.V. Alekseev, V.I. Bayazitova,
L.M. Sarvarova, A.A. Vasilets, R.L. Galiullin
TRAFFIC DENSITY CONTROL SYSTEM
BASED ON DISTRIBUTED ACOUSTIC MONITORING
Keywords: distributed acoustic monitoring, three-component addressable fiber Bragg structures, roadbed, distributed sensor networks, traffic density.

This article proposes a method for detecting traffic streams using distributed acoustic monitoring (DAM) of optical fiber. Unlike the traditional traffic detection method, DAM detects the roadway vibration signal using a fiber optic cable laid along the road. The DAM technology can provide completely distributed acoustic information along the length of the entire optical fiber, and thus external acoustic signals from an arbitrary point on the road can be detected and localized. To

проложенного вдоль дороги. Технология РАМ может обеспечить полностью распределенную акустическую информацию по длине всего оптоволокна, и, таким образом, внешние акустические сигналы с произвольной точки дороги могут быть обнаружены и локализованы. Для решения проблем построения систем РАМ для контроля плотности движения предложено создать массив трехкомпонентных адресных волоконных брэгговских структур (ТАВБС) в оптическом волокне. Внедрение РАМ на основе ТАВБС устраняет недостатки существующих решений, а именно: значительно уменьшает сложность зондирования и системы опроса, а также позволяет мультиплексировать все датчики на своей адресной частоте и обеспечить простоту обработки измерительного сигнала в радиочастотном диапазоне.

Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов, Л.А. Феоктистова, Т.В. Рзаева
ОБ УСТОЙЧИВОСТИ В БОЛЬШОМ ОДНОГО КЛАССА
СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ И
СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Ключевые слова: системы с распределёнными и сосредоточенными параметрами, устойчивость в большом, метод функций Ляпунова, квадратичные формы.

Методом функций Ляпунова решается задача устойчивости в большом систем с распределёнными и сосредоточенными параметрами, описываемых линейными дифференциальными уравнениями в частных и обыкновенных производных. При этом исходные уравнения высокого порядка путём введения дополнительных переменных представляются системой уравнений первого порядка. Получены условия устойчивости в большом.

Р.М. Галиев, А.Ю. Барыкин, Р.Ф. Илдарханов,
И.И. Салахов, Ф.Л. Назаров, А.И. Имамраязев
АНАЛИЗ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, дизельный двигатель, поршень, гильза цилиндра.

В работе рассматривается конструкция цилиндропоршневой группы дизельного двигателя внутреннего сгорания грузового автомобиля. Проведено исследование процесса выхода из строя деталей цилиндропоршневой группы. Рассматриваются причины возникновения задиров на поверхности поршня и гильзы, а так же факторы, влияющие на преждевременный отказ и износ деталей группы. Приведены предельные износы и овальности цилиндропоршневой группы. На основании проведенных исследований предложены методы повышения надежности двигателя.

Н.А. Гаряев, Ф. Айюб, А.Н. Гаряев
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ
ЗДАНИЯ НА ВЫЯВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ
КОММУНИКАЦИЙ С ИСТЕКШИМ СРОКОМ
ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ключевые слова. Информационное моделирование, проектирование зданий, управление процессами, цифровая модель здания, управление эксплуатацией здания.

В работе представлены результаты разработки автоматизированных решений обработки информации цифровых моделей зданий с целью выявления элементов инженерных коммуникаций с истекшим сроком эксплуатации востребованные на этапе эксплуатации строительных объектов.

В.В. Гаряева, А.Н. Гаряев
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ
СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ГЕНЕРАТИВНОГО
ДИЗАЙНА

Ключевые слова. Обработка информации, генеративный дизайн,

solve the problems of building DAM systems for traffic density control, it is proposed to create an array of three-component addressable fiber Bragg structures (TAFBS) in an optical fiber. The introduction of DAM based on TAFBS will eliminate the disadvantages of existing solutions, namely: it will significantly reduce the complexity of sounding and the polling system, and will also allow multiplexing of all sensors at their address frequency and ensure ease of processing the measuring signal in the radio frequency range.

F.D. Bairamov, B.F. Bairamov, L.A. Feoktistova, T.V. Rzaeva
ABOUT STABILITY IN LARGE OF ONE CLASS OF
SYSTEMS WITH DISTRIBUTED AND LUMPED
PARAMETERS

Keywords: systems with distributed and lumped parameters, stability in large, the method of Lyapunov functions, quadratic forms.

The method of Lyapunov functions is used to solve the problem of stability in large of systems with distributed and lumped parameters described by linear differential equations in partial and ordinary derivatives. In this case, the original higher-order equations, by introducing additional variables, are represented by a system of first-order equations. Conditions for stability in large are obtained.

R.M. Galiev, A.Yu. Barykin, R.F. Ildarkhanov,
I.I. Salakhov, F.L. Nazarov, A.I. Imamraiev
ANALYSIS AND METHODS OF IMPROVING
THE RELIABILITY OF THE INTERNAL
COMBUSTION ENGINE

Keywords: internal combustion engine, diesel engine, the piston, cylinder liner.

The article considers the design of the cylinder piston group of a diesel internal combustion engine of a truck. A study of the failure process of parts of the cylinder-piston group was carried out. The causes of the occurrence of bullies on the surface of the piston and sleeve, as well as factors affecting premature failure and wear of the group parts of the group are considered. The limiting wear and ovality of the cylindrical piston group are given. Based on the conducted research, methods for improving the reliability of the engine are proposed.

N.A. Garyaev, F. Ayoub, A.N. Garyaev.
PROCESSING OF INFORMATION OF A DIGITAL
BUILDING MODEL TO DETECT ELEMENTS OF
ENGINEERING COMMUNICATIONS WITH AN EXPIRED
SERVICE LIFE

Keywords: Information modeling, building design, process control, digital building model, building management. The paper presents the results of the development of automated solutions for processing information of digital building models in order to identify elements of engineering communications with an expired service life that are in demand at the stage of operation of construction objects.

V.V. Garyaeva, A.N. Garyaev
INFORMATION PROCESSING DURING BUILDING
DESIGN AUTOMATION USING GENERATIVE DESIGN
TECHNOLOGY

Keywords: Information processing, generative design, information modeling, building design automation, artificial

информационное моделирование, автоматизация строительного проектирования, искусственный интеллект. В работе представлены результаты анализа и практической реализации подходов к обработке информации при автоматизации строительного проектирования с использованием технологии генеративного дизайна.

Г.А. Герасимова, К.И. Калашников
СОЗДАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МИКРОКЛИМАТА
В ТЕПЛИЦЕ

Ключевые слова: микроклимат, теплицы, автоматизация. Крупное тепличное производство в настоящее время развивается по пути внедрения технологий интенсивного выращивания овощных культур и использования автоматизированных систем управления технологическими процессами на базе микро- и мини ЭВМ. Необходимость автоматизации этого процесса связана с трудоемкостью процесса приготовления растворов, точного поддержания в них заданной концентрации веществ, своевременной подачи, равномерного дозирования по всей площади теплицы при различных возмущениях внешней среды. Чтобы текущая температура воздуха не превышала допустимую агротехническими требованиями, зимние блочные теплицы оснащают роботизированными системами регулирования параметров микроклимата.

А.А. Голубничий, А.Д. Яблонцева
ФОРМИРОВАНИЕ «БЕЛЫХ СПИСКОВ» ДЛЯ СОЗДАНИЯ
УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ
ТЮРКСКИХ ЯЗЫКОВ, ПОСТРОЕННЫХ НА
РАСШИРЕННЫХ КИРИЛЛИЧЕСКИХ АЛФАВИТАХ

Ключевые слова: тюркские языки, оптическое распознавание символов, Tesseract, мультязычные системы распознавания символов, кириллические алфавиты. В статье рассматриваются особенности построения универсальной системы оптического распознавания символов для тюркских языков, письменность которых построена на основе расширенных кириллических алфавитов. Проводится обзорный анализ основы для построения «белых списков», как набора символов, возможных для построения текстов исходных письменностей. Описываются два алгоритма построения «белых списков» с использованием полного и сокращенного набора символов. Уточняется создание языковых подмоделей для более точного распознавания символов с использованием пяти групп.

Т.Г. Дмитриева, Г.Г. Хамнаева
ИНТЕНСИВНОЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Ключевые слова: гис-технологии, мониторинг земель, земельные угодья, плодородие почв.

Земельный фонд находится в постоянном движении. Земли переводятся из одних категорий и угодий в другие. Особую тревогу вызывает ухудшение экологического состояния земель, развитие эрозионных процессов, опустынивание, засоление, загрязнение химическими и радиоактивными веществами, зарастание лесом и кустарником земель ежегодно исключают из сельскохозяйственного использования значительные площади. В статье предложена классификация земель по степени их пригодности для сельскохозяйственного использования.

Ю.Ж. Дондоков, А.В. Базан, В.А. Балданова
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Ключевые слова: автомобильный транспорт, эффективность работы, двигатель.

Под влиянием зимних условий существенно изменяется температурный режим двигателей автомобилей, что объясняется повышением теплоотдачи с поверхности агрегата в окружающую среду. В связи с этим резко возрастает время

intelligence.

The paper presents the results of the analysis and practical implementation of approaches to information processing in the automation of building design using generative design technology.

G.A. Gerasimova, K.I. Kalashnikov
CREATING AN OPTIMAL MICROCLIMATE
IN A GREENHOUSE

Keywords: microclimate, greenhouses, automation. Large greenhouse production is currently developing along the path of introducing technologies for intensive cultivation of vegetable crops and the use of automated process control systems based on micro- and mini-computers. The need to automate this process is associated with the complexity of the process of preparing solutions, accurately maintaining a given concentration of substances in them, timely delivery, uniform dosing over the entire area of the greenhouse under various environmental disturbances. To ensure that the current air temperature does not exceed the permissible agrotechnical requirements, winter block greenhouses are equipped with robotic systems for regulating microclimate parameters.

A.A. Golubnichiy, A.D. Yablontseva
FORMATION OF "WHITE LISTS" TO CREATE A
UNIVERSAL SYSTEM OF RECOGNITION OF TURKIC
LANGUAGES BUILT ON THE EXPANDED CYRILLIC
ALPHABETS

Keywords: Turkic languages, optical character recognition, Tesseract, multilingual character recognition systems, Cyrillic alphabets. The article discusses the features of building a universal system of optical character recognition for Turkic languages, the writing of which is built on the basis of extended Cyrillic alphabets. A review analysis of the basis for constructing "white lists" is carried out, as a set of characters that are possible for constructing texts of source scripts. Two algorithms for constructing "white lists" using the full and reduced character sets are described. Refines the creation of language submodels for more accurate character recognition using five groups.

T.G. Dmitrieva, G.G. Khamnaeva
INTENSIVE DEVELOPMENT
OF REMOTE SENSING SYSTEMS

Keywords: gis technologies, land monitoring, land, soil fertility.

The land fund is in constant motion. Lands are transferred from some categories and lands to others. Of particular concern is the deterioration of the ecological state of the lands, the development of erosion processes, desertification, salinization, pollution with chemical and radioactive substances, overgrowth with forest and shrubs of lands annually exclude significant areas from agricultural use. The article proposes a classification of lands according to the degree of their suitability for agricultural use.

Yu.Zh. Dondokov, A.V. Bazan, V.A. Baldanova
RESEARCH ON THE EFFICIENCY
OF ROAD TRANSPORT

Keywords: road transport, work efficiency, engine. Under the influence of winter conditions, the temperature regime of car engines changes significantly, which is explained by an increase in heat transfer from the surface of the unit to the environment. In this regard, the warm-up time of the engines after starting increases sharply, and the cooling period

прогрева двигателей после пуска, и уменьшается период их охлаждения после остановки. Зимние условия характеризуются, прежде всего, низкими температурами окружающего воздуха, влияние которых усугубляется одновременным воздействием ветра. В статье описывается анализ исследования эффективности работы автомобильного транспорта.

Н.И. Зонов, Д.В. Моисеев

АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА. ЧАСТЬ III. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСТРОИЗМЕРЕНИЙ

Ключевые слова: геостационарный космический аппарат, угол «Солнце – ГКА – Земля», угол «Звезда – ГКА – Земля», математическая модель эволюции состояния оцениваемой системы, математическая модель наблюдений, ошибки линеаризации, случайные неконтролируемые факторы, неопределённые неконтролируемые факторы, рекуррентный алгоритм оценивания.

Предложены математические модели эволюции состояния оцениваемой системы и наблюдений для построения систем автономной навигации геостационарных КА (ГКА) с использованием астроизмерений. В качестве астроизмерений рассматриваются углы «Звезда-ГКА-Земля», «Солнце-ГКА-Земля». Особенность предлагаемых моделей состоит в разделении смешанных возмущений, сопровождающих процессы эволюции и наблюдений, имеющих различную природу неопределённости, на случайные и неопределённые в статистическом (вероятностном) смысле неконтролируемые факторы (НФ).

Н.И. Зонов, Д.В. Моисеев

АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА. ЧАСТЬ IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСТРОИЗМЕРЕНИЙ

Ключевые слова: астроизмерения, численное имитационное моделирование, случайные неконтролируемые факторы, неопределённые неконтролируемые факторы, рекуррентные алгоритмы оценивания, фильтр Калмана.

Приведены результаты процессов навигации геостационарных КА с использованием астроизмерений, полученные на основе численного имитационного моделирования. Для моделирования использованы математические модели процессов навигации, разработанные авторами, которые учитывают разнородные (случайные и статистически неопределённые) возмущения в каналах эволюции оцениваемой системы и измерений. Результаты моделирования показывают уточнение координат и проекций скорости ГКА, т.е. их приближение к истинным значениям с ростом объёма выборки астроизмерений.

Н.И. Кондакова, Т.М. Коменданова,

Н.А. Хлебников, А.В. Базан

СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ КОМПЛЕКСА ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И УСТРОЙСТВ

Ключевые слова: система водоснабжения, водообеспечение, инженерное сооружение.

Системы водоснабжения представляют собой комплекс инженерных сооружений и устройств, обеспечивающих получение воды из природных источников, ее очистку, транспортирование и подачу потребителям. Конструкция водоснабжения нужна для удовлетворения потребителей в воде промышленности и сельского хозяйства. В статье описывается исследование системы водоснабжения комплекса инженерных сооружений и устройств.

Е.Н. Леонов, Р.А. Кудряшов

МИКРОТУРБИНЫЕ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ

Ключевые слова: распределенная генерация, микротурбина, интерфейс, силовая электроника.

Исследуются способы подключения микротурбинных систем

after stopping decreases. Winter conditions are characterized, first of all, by low ambient temperatures, the influence of which is aggravated by the simultaneous influence of wind. The article describes the analysis of the study of the efficiency of road transport.

N.I. Zonov, D.V. Moiseev

AUTONOMOUS GEO-SATELLITES NAVIGATION. PART III. MATHEMATICAL MODELS OF NAVIGATION PROCESS BY USING ASTRONAVIGATION

Keywords: geo-satellite, angle "Star – geo-satellite – Earth", angle "Sun – geo-satellite – Earth", geo-satellites state evolution mathematical model, mathematical model of measurements, linearization errors, random uncontrolled factors, uncertain uncontrolled factors, recurrence evaluation algorithm.

For autonomous geo-satellites astronavigation systems design has been proposed two mathematical models. This is the geo-satellites state evolution model and the astroobservation model. In this case, the angles "Star – geo-satellite – Earth," "Sun – geo-satellite – Earth" are considered. The peculiarity of the proposed models consists in the division of perturbations, accompanying the processes of evolution and observations, into random and uncertain in the statistical (probabilistic) sense uncontrolled factors (UF).

N.I. Zonov, D.V. Moiseev

AUTONOMOUS GEO-SATELLITES NAVIGATION. PART IV. THE NUMERICAL SIMULATION RESULTS OF NAVIGATION PROCESSES USING ASTROMEASUREMENTS

Keywords: astromeasurements, numerical simulation modeling, random uncontrolled factors, uncertain uncontrolled factors, recurrent estimation algorithms, Kalman's filter. The article presents numerical simulation results of geo-satellites navigation processes using astroobservation. For this, mathematical models of navigation processes developed by the authors were used. These models take into account heterogeneous (random and statistically uncertain) perturbations of the evolution of the estimated system and measurements. The simulation results show the approximation of the coordinates and projections of the geo-satellite velocity to their true values. This effect is enhanced with an increase in the sample size of astromeasurements.

N.I. Kondakova, T.M. Komendanova,

N.A. Hlebnikov, A.V. Bazan

WATER SUPPLY SYSTEMS OF THE COMPLEX OF ENGINEERING STRUCTURES AND DEVICES

Keywords: water supply system, water supply, engineering structure.

Water supply systems are a complex of engineering structures and devices that ensure the receipt of water from natural sources, its purification, transportation and supply to consumers. The design of the water supply is needed to satisfy consumers in the water industry and agriculture. The article describes the study of the water supply system of a complex of engineering structures and devices.

E.N. Leonov, R.A. Kudryashov

MICROTURBINE GENERATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES FOR THEIR CONNECTION TO THE ELECTRICAL NETWORK

Keywords: distributed generation, microturbine, interface, power electronics.

Methods for connecting microturbine generation systems to an

генерации в электрическую сеть. Рассмотрены эффективные быстродействующие интерфейсы подключения установок. Полученные результаты позволят улучшить внедрение источников распределенной генерации в энергосистемах.

А.Н. Максимов, А.А. Александров, В.Д. Романов
МЕТОД ЧТЕНИЯ КАДРОВ С ВИДЕОКАМЕР И РЕАЛИЗАЦИИ
АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ В
ПРОГРАММАХ НА ЯЗЫКАХ СТАНДАРТА IEC 61499

Ключевые слова: распределенные системы управления,
распознавание изображений, IEC 61499, Industry 4.0,
сверточные нейронные сети

В статье рассмотрен подход к созданию функциональных блоков обработки изображений в программах на языке IEC 61499. Приведены примеры реализации функциональных блоков для чтения кадров с камеры, обработки видеопотока и распознавания изображений в среде 4diac.

electrical network are being investigated. Efficient high-speed interfaces for connecting installations are considered. The results obtained will improve the implementation of distributed generation sources in power systems.

A.N. Maximov, A.A. Alexandrov, V.D. Romanov
THE METHOD OF READING FRAMES FROM VIDEO
CAMERAS AND IMPLEMENTING ALGORITHMS FOR
PROCESSING VIDEO IMAGES IN PROGRAMS IN THE
LANGUAGES OF THE IEC 61499 STANDARD

Keywords: distributed control systems, image recognition, IEC 61499, Industry 4.0, convolutional neural networks.

The article considers an approach to the creation of functional blocks of image processing in programs in the IEC 61499 language. Examples of the implementation of functional blocks for reading frames from the camera, processing the video stream and image recognition in the 4diac environment are given.

И.Ф. Нафиков, И.И. Нуреев,
С.В. Васильев, А.Н. Пикuleв, Н.В. Дорогов
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ
ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛЕТА ДРОНОВ

Ключевые слова: лазерный контроль подлета дронов; лазерный теодолитный измерительный комплекс; лазерный локатор слежения; дрон; траекторные измерения, методика.

Существующие методы идентификации пеленгов, процедуры выполнения требований к структурам и локализации измерительных комплексов позволяют создать основу для решения многих задач траекторных измерений, в частности задачи повышения эффективности лазерного контроля подлета дронов (ЛКПД) к охраняемому объекту. Хотя разработанные структуры и алгоритмы в достаточной мере универсальны, само по себе их использование ещё не решает всех проблем, возникающих при внедрении ЛКПД. К числу таких проблем следует отнести: проектирование лазерного теодолитного измерительного комплекса (ЛТИК), включающее выбор типа лазерного локатора слежения (ЛЛС), обеспечение автоматизированной проверки результатов ЛКПД на достоверность и устранение ошибок; повышение точности конечных результатов обработки измерений. В данной статье представлена методика ЛКПД, разработанная на основе математической идентификации структурно избыточных ЛЛС-измерений, в которой найдены удовлетворительные решения перечисленных выше проблем за счет выявления и устранения систематических погрешностей пеленгации и максимального использования априорной информации при обработке измерений.

I.F. Nafikov, I.I. Nureev,
S.V. Vasiliev, A.N. Pikulev, N.V. Dorogov
PROMISING METHODS FOR PROCESSING THE
RESULTS OF TRAJECTORY MEASUREMENTS OF
DRONES FLIGHT

Keywords: laser control of the approach of drones; laser theodolite measuring complex; tracking laser locator; drone; trajectory measurements, technique.

The existing methods for identifying bearings, procedures for fulfilling the requirements for structures and localizing measuring complexes make it possible to create the basis for solving many problems of trajectory measurements, in particular, the problem of increasing the efficiency of laser control of drones' trajectory (LCDT) approaching a protected object. Although the developed structures and algorithms are sufficiently universal, their use in itself does not solve all the problems that arise during the implementation of LCDT. These problems include: designing a laser theodolite measuring complex (LTMC), including the choice of the type of laser tracking locator (LTL), providing automated verification of the LCDT results for reliability and elimination of errors; increasing the accuracy of the final results of measurement processing. This article presents the LCDT technique developed on the basis of mathematical identification of structurally redundant LTL measurements, in which satisfactory solutions to the problems listed above are found by identifying and eliminating systematic direction finding errors and maximizing the use of a priori information in processing measurements.

И.Ф. Нафиков, И.И. Нуреев,
С.В. Васильев, А.Н. Пикuleв, Н.В. Дорогов
ЛАЗЕРНЫЕ СРЕДСТВА КАК ОСНОВА ТРАЕКТОРНЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛЕТА ДРОНОВ

Ключевые слова: лазерный контроль подлета дронов; лазерный теодолитный измерительный комплекс; лазерный локатор слежения; дрон; траекторные измерения, требования.

Основной задачей траекторных измерений (ТИ) является определение пространственно-временных характеристик дронов (Д) на этапе их подлета к охраняемому объекту и переходу в фазу активного воздействия на него. Анализ возможностей экспериментально-испытательных баз полигонов и степени их соответствия задачам испытаний показывает, что существующие штатные средства измерений и программно-методическое обеспечение не решают весь спектр указанных задач ТИ. В этих условиях из-за отсутствия современных специализированных средств проведение измерений превращается в сложную научно-техническую задачу создания нового методического и программного-математического обеспечения. Рассматривая перечисленные выше задачи определения пространственно-временных

I.F. Nafikov, I.I. Nureev,
S.V. Vasiliev, A.N. Pikulev, N.V. Dorogov
LASER TOOLS AS THE BASIS FOR TRAJECTORY
MEASUREMENTS OF DRONE FLIGHT

Keywords: laser control of the approach of drones; laser theodolite measuring complex; tracking laser locator; drone; trajectory measurements, technique.

The main task of trajectory measurements (TM) is to determine the space-time characteristics of drones (D) at the stage of their approach to the protected object and the transition to the phase of active impact on it. An analysis of the capabilities of the experimental and testing bases of the polygons and the degree of their compliance with the tasks of testing shows that the existing standard measuring instruments and software and methodological support do not solve the entire range of these TM tasks. Under these conditions, due to the lack of modern specialized tools, measurements turn into a complex scientific and technical task of creating new methodological and software-mathematical support. Considering the tasks listed above of determining the spatiotemporal characteristics of D at the stage of its approach and activation, it is necessary to

характеристик D на этапе его подлета и активации, необходимо выделить ранее нерешенные задачи организации измерений: создание оптимальных схем размещения средств ТИ на территории полигона; регистрация D во всем диапазоне высот; регистрация момента активации; получение изображения D ; оценка координат D ; определение углового положения D в момент активации. Таким образом, возникает задача создания измерительных схем и математического аппарата, отвечающих задачам ТИ.

А.С. Полянина

СИНТЕЗ УСТОЙЧИВОГО ДВИЖЕНИЯ В СТРУКТУРНОЙ СХЕМЕ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩИМИ РОБОТАМИ

Ключевые слова: управление,

устойчивость, программная траектория, шагающий робот.

В работе рассматриваются структурные схемы управления движением шагающей машины с использованием в генерации программных траекторий управления по отклонению и нелинейных регуляторов автоколебательного типа с блоком расчета кинематических параметров привода методом обратной задачи. Для возможности численного решения системы в математическую модель включают множители Лагранжа. Ее решением являются программные траектории координат точек шагающей машины.

Р.Р. Раупов, В.В. Афанасьев

ШУМОВАЯ МАСКИРОВКА ФАЗОВОЙ МАНИПУЛЯЦИИ СИГНАЛАМИ МНОГОЛЕПЕСТКОВЫХ ДИСКРЕТНО- НЕЛИНЕЙНЫХ JERK СИСТЕМ

Ключевые слова: динамический хаос,

многолепестковая Jerk система, селективное подавление, функционально-режесекторный фильтр.

В работе проведено исследование фильтров селективного режесектирования для избирательного подавления псевдослучайных маскирующих сигналов, генерируемых многолепестковой дискретно-нелинейной Jerk системой. Исследованы зависимости коэффициентов селективного подавления на выходе режесекторных фильтров от нормированного числа отсчетов сигналов, выполнена оценка достоверности выделения маскируемых информационных сигналов.

Л.О. Федосова

ПОДГОТОВКА СИНТЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ключевые слова: синтетические данные, нейронные сети, диагностирование, Blender.

В работе представлен метод формирования синтетических данных о состоянии технического объекта, позволяющий использовать нейросетевые технологии для задачи диагностирования в условиях недостатка реальных данных.

А.С. Филатов, Е.Э. Куклина, И.В. Николаева

ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Ключевые слова: ГИС-технологии, сельское хозяйство, землепользование

Применение высоких технологий дает особенно впечатляющий результат в тех отраслях народного хозяйства, которые считаются наиболее отсталыми и депрессивными. В этом отношении сельское хозяйство нашей страны – вне конкуренции, но, несмотря на это, российский бизнес начинает широкое внедрение информационных технологий в сельском хозяйстве. Попытки наладить эффективное и осмысленное управление в сельском хозяйстве наталкиваются на массу препятствий. В первую очередь – это отсутствие достоверных сведений, как о местности, так и о характере землепользования и его режиме. В статье приводится краткий анализ применения ГИС-технологии и робототизации в сельском хозяйстве.

single out the previously unsolved problems of organizing measurements: creating optimal schemes for placing TM facilities on the territory of the test site; registration D in the entire range of heights; registration of the moment of activation; obtaining an image D ; estimate of coordinates D ; determination of the angular position D at the moment of activation. Thus, the problem arises of creating measuring circuits and mathematical apparatus that meet the tasks of TM.

A.S. Polyanina

SYNTHESIS OF STABLE MOVEMENT IN THE STRUCTURAL SCHEME OF WALKING ROBOTS CONTROL ELEMENTS

Keywords: control, stability, program trajectory, walking robot.

The paper considers block schemes for controlling the movement of a walking machine using in the generation of control program trajectories by deviation and non-linear self-oscillating controllers with a block for calculating the kinematic parameters of the drive using the inverse dynamic method. To be able to solve the system numerically, Lagrange multipliers are included in the mathematical model. Its solution is the program trajectory of points coordinates of the walking machine.

R.R. Raupov, V.V. Afanasiev

PHASE-SHIFT KEYING NOISE MASKING BY DISCRETE- NONLINEAR MULTI-SCROLL JERK CIRCUIT SIGNALS

Keywords: dynamic chaos, multi-scroll Jerk circuit, selective suppression, functional-reject filter.

The investigations of rejection filters for selective suppression of pseudorandom masking signals generated by the multi-scroll discrete-nonlinear Jerk circuit were carried out. The dependences of the selective suppression coefficients at the output of reject filters from the normalized number of signal samples were investigated, reliability of the masked information signals detection was evaluated.

L.O. Fedosova

PREPARATION OF SYNTHETIC DATA FOR DIAGNOSTICS OF TECHNICAL OBJECTS USING NEURAL NETWORKS

Keywords: synthetic data, neural networks, diagnostics, Blender.

The paper presents a method for generating synthetic data on the state of a technical object, which makes it possible to use neural network technologies for the task of diagnosing in conditions of a lack of real data.

A.S. Filatov, E.E. Kuklina, I.V. Nikolaeva

APPLICATION OF ROBOTIC TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE

Keywords: GIS technologies, agriculture, land use.

The use of high technologies gives particularly impressive results in those sectors of the national economy that are considered the most backward and depressed. In this regard, the agriculture of our country is out of competition, but despite this, Russian business is beginning to widely introduce information technologies in agriculture. Attempts to establish effective and meaningful management in agriculture encounter a lot of obstacles. First of all, this is the lack of reliable information about both the terrain and the nature of land use and its regime. The article provides a brief analysis of the use of GIS technology and robotics in agriculture.

С.В. Харлашина, Д.К. Лобанов,
Т.Г. Орешенко, Н.В. Штабель, Е.Г. Баранова
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ
ТОКОВЫРАВНИВАНИЯ

Ключевые слова: методы токовыравнивания, источники напряжения, стабилизатор тока, стабилизатор напряжения. В работе представлены результаты сравнительного анализа восьми методов параллельного включения стабилизаторов напряжения и тока, решающих задачу токовыравнивания. Результатом исследования стал выбор оптимального, с учетом критериев качества, метода токовыравнивания. Данное исследование может принести практическую пользу при разработке источников питания и усилителей, основополагающим принципом устройства которых является их параллельная работа.

Ш.Т. Юсупов, Н.Д. Балданов
ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИИ

Ключевые слова: ГИС-технологии, геоинформационные системы, землепользование. Геоинформационная система может включать в свой состав пространственные базы данных (в том числе, под управлением универсальных СУБД), редакторы растровой и векторной графики, различные средства пространственного анализа данных. Применяются в картографии, геологии, метеорологии, землеустройстве, экологии, муниципальном управлении, транспорте, экономике, обороне и многих других областях. Научные, технические, технологические и прикладные аспекты проектирования, создания и использования геоинформационных систем изучаются геоинформатикой. В статье описывается информационное обеспечение в землепользовании.

В.Д. Яковлева, А.С. Семиусова
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ

Ключевые слова: электротомография, гидротехнические сооружения, талик, методы, исследования, удельное сопротивление, электроразведка. Современные электроразведочные технологии существенно дополняют сведения об инженерно-геологическом строении объекта и территории исследований. В статье рассмотрены применение методов электротомографии при исследовании состояния гидротехнических сооружений. В качестве примера приведены итоги работ на ГТС Сытыкан Республики Саха (Якутия) по одному профилю.

Г.А. Гареева, Д.К. Садыков, Ю.А. Яшина,
Э.И. Ахатова, Д.Р. Григорьева
РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ
НОРМАТИВА ЗАПАСОВ ПРОДУКЦИИ

Ключевые слова: разработка, расчет, JavaScript, автоматизация, node.js, запасы, сервер, клиент, запрос, express, web-приложение, аутентификация.

В данной статье описывается процесс разработки компонентов программного обеспечения для автоматизации расчетов норматива запасов продукции. Весь процесс разработки реализован на node.js в качестве хоста, JavaScript - в качестве языка программирования клиентской части и язык разметки html в качестве интерфейса. Функционал программы связывает клиента с api системой хоста, хост в свою очередь идентифицирует, аутентифицирует, авторизует и, накладывая соответствующие права, отправляет запрос в api сервера. Сервер в свою очередь отдает данные обратно, в соответствии со всеми входящими параметрами.

S.V. Kharlashina, D.K. Lobanov,
T.G. Oreshenko, N.V. Shtabel, E.G. Baranova
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CURRENT
LEVELING'S METHODS

Keywords: current equalization methods, voltage sources, current stabilizer, voltage stabilizer. The work is presented the results of a comparative analysis of eight parallel connection of voltage and current stabilizers methods that solve the current equalization's problem. The result of the research was the optimal current leveling method's choice, considering the quality criteria. This research can be practical use in the development of power supplies and amplifiers, the fundamental principle of which is their parallel operation.

Sh.T. Yusupov, N.D. Baldanov
RESEARCH OF INFORMATION SUPPORT IN LAND USE
Keywords: GIS technologies, geoinformation systems, land use. A geoinformation system can include spatial databases (including those under the control of universal DBMS), raster and vector graphics editors, various means of spatial data analysis. They are used in cartography, geology, meteorology, land management, ecology, municipal administration, transport, economy, defense and many other fields. Scientific, technical, technological and applied aspects of the design, creation and use of geoinformation systems are studied by geoinformatics. The article describes information support in land use.

V.D. Yakovleva, A.S. Semiusova
APPLICATION OF ELECTROTOMOGRAPHY
METHODS IN THE STUDY OF THE STATE OF
HYDRAULIC STRUCTURES
Keywords: electrotomography, hydraulic structures, talik, methods, research, resistivity, electrical exploration. Modern electrical exploration technologies significantly supplement information about the engineering and geological structure of the object and the research area. The article discusses the application of electrotomography methods in the study of the state of hydraulic structures. As an example, the results of work on the Sytykan GTS of the Republic of Sakha (Yakutia) in one profile are given.

G.A. Gareeva, D.K. Sadykov, Y.A. Yashina,
E.I. Akhatova, D.R. Grigoreva
DEVELOPMENT OF SOFTWARE COMPONENTS FOR
AUTOMATING CALCULATIONS OF PRODUCT
INVENTORY STANDARDS

Keywords: development, calculation, JavaScript, automation, node.js, stocks, server, client, request, express, web application, authentication. This article describes the process of developing the components of software to automate the calculation of the product inventory standard. The entire development process is implemented in node.js as the host, JavaScript as the programming language of the client part and markup language html as the interface. The functionality of the program links the client with the api system of the host, the host in turn identifies, authenticates, authorizes and imposes appropriate rights, sends a request to the api server. The server in turn sends the data back, according to all incoming parameters.

В.А. Егоров, П.М. Цымбалов
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МНОГООСЕВЫМ
ПОЗИЦИОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ШТАМПОВОЧНО-
ПРЕССОВОЙ МАШИНЫ

Ключевые слова: Многоосевой позиционный электропривод, машина для обработки металлов давлением, алгоритм формирования поверхности, моделирование.

Предложен алгоритм формирования трехмерной поверхности изделия для многоосевой штамповочно-прессовой машины. Выполнен расчёт и моделирование системы управления многоосевым электроприводом.

С.В. Костин
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КИНЕМАТИКИ ДЕЛЬТА-РОБОТА ДЛЯ
СОРТИРОВКИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Ключевые слова: Математическое моделирование, сортировка отходов, задачи кинематики, параллельный робот.

В статье проведён сравнительный анализ существующих методов решения прямой (ПЗК) и обратной (ОЗК) задач кинематики параллельных дельта-роботов. Продемонстрированы преимущества алгоритмов автоматизированного решения задач кинематики при использовании их в системах автоматизации дельта-роботов по сравнению с уже имеющимися способами. Также предоставлена количественная оценка эффективности автоматизированных алгоритмов решения задач кинематики.

С.В. Кунев, М.О. Давыдов
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ПОВЕРКЕ СЧЕТЧИКОВ ГАЗА

Ключевые слова: счетчик газа, поверка, автоматизация, погрешность, методика поверки, многократные измерения, язык программирования.

В данной работе рассмотрены основные нормативные документы, регламентирующие процессы поверки счетчиков газа. Проведен анализ основных алгоритмов расчета погрешности при поверке, согласно применяемой нормативной документации. А также разработано программное обеспечение для расчета данной погрешности в целях автоматизации процесса поверки счетчиков газа.

Е.Н. Леонов, И.Н. Гладков
ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВИРТУАЛЬНЫМ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ В
ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ
ИНДУСТРИИ 4.0

Ключевые слова: распределенная генерация, виртуальная электрическая станция, индустрия 4.0, эксплуатационные требования.

Рассматриваются технические и эксплуатационные требования к виртуальным электростанциям, поддерживаемые технологиями индустрии 4.0, для функциональной совместимости и интеграции их в сети распределенной генерации.

Т.Г. Орешенко, Д.К. Лобанов,
Е.Г. Баранова, С.В. Харлашина
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СТЫКОМ
И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧЕМ В ЦЕЛЯХ
СНИЖЕНИЯ ПОРООБРАЗОВАНИЯ

Ключевые слова: порообразование, сварной шов, сварка, поры
В статье составлена модель порообразования, а так же для получения качественных сварных соединений предложена усовершенствованная система слежения за стыком, обеспечивающая соблюдение наиболее универсальной технологической рекомендации о применении круговой развертки луча.

V.A. Egorov, P.M. Tsymbalov
CONTROL SYSTEM FOR MULTI-AXIS
POSITIONAL ELECTRIC DRIVE OF FORMING AND
PRESSING MACHINE

Keywords: Multi-axis positional electric drive, metal forming machine, surface formation algorithm, modeling.

An algorithm for the formation of a three-dimensional surface of a product for a multi-axis stamping and pressing machine is proposed. The calculation and modeling of the control system of a multi-axis electric drive is carried out.

S.V. Kostin
EFFICIENCY EVALUATION OF AUTOMATIC
KINEMATIC PROBLEMS SOLUTION FOR WASTE
SORTING DELTA-ROBOT

Keywords: Mathematical simulation, waste sorting, kinematics problems, parallel robot.

The comparative analysis of known methods of direct (DPK) and inverse (IPK) kinematic problems is perform in this article. The advantages of automatic kinematic problems solution algorithms are show in comparing with known ways of solution for using in waste sorting tasks. Also the quantitative assessment of the effectiveness of the automatic kinematic problems solving algorithms is given.

S.V. Kunev, M.O. Davydov
AUTOMATION OF THE PROCESS OF DETERMINING
THE ERROR DURING VERIFICATION OF GAS METER

Keywords: gas meter, verification, automation, error, verification technique, multiple measurements, programming language.

This paper discusses the main regulatory documents governing the verification of gas meters. The analysis of the main algorithms for calculating the error during verification was carried out, in accordance with the applicable regulatory documentation. Also, software has been developed to calculate this error in order to automate the process of checking gas meters.

E.N. Leonov, I.N. Gladkov
MAIN REQUIREMENTS FOR VIRTUAL POWER PLANTS
WHEN INTEGRATION INTO POWER SYSTEMS USING
INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES

Keywords: distributed generation, virtual power plant, industry 4.0, operational requirements.

The technical and operational requirements for virtual power plants supported by industry 4.0 technologies are considered for interoperability and their integration into distributed generation networks.

T.G. Oreshenko, D.K. Lobanov,
E.G. Baranova, S.V. Kharlashina
AUTOMATION OF THE PROCESSES OF JOINT
TRACKING AND ELECTRONIC BEAM CONTROL TO
REDUCE POROING

Keywords: pore formation, welded seam, welding, pores.
The article compiled a model of pore formation, as well as to obtain high-quality welded joints, an improved joint tracking system is proposed, which ensures compliance with the most universal technological recommendation on the use of a circular beam sweep.

А.В. Пенязь, П.Р. Черепанова, Я.И. Шамлицкий
АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ
СЕТЕВОГО ОБЩЕНИЯ

Ключевые слова: сетевое общение,
корпоративное общение, социальные сети.

В данной статье обоснована актуальность исследования, с учетом применения программных средств для внутреннего общения. Проведен анализ имеющихся программных средств по шкале критериев. Выбран наиболее подходящий сервис для внутреннего общения. Показан пример использования сервиса Telegram для корпоративного общения. В завершении рассмотрены перспективы дальнейшего развития.

A.V. Penyaz, P.R. Cherepanova, Ya.I. Shamlitsky
ANALYSIS OF SOFTWARE TOOLS FOR ORGANIZING
NETWORK COMMUNICATION

Keywords: network communication,
corporate communication, social networks.

This article substantiates the relevance of the study, taking into account the use of software tools for internal communication. The analysis of the available software tools on a scale of criteria is carried out. The most suitable service for internal communication has been selected. An example of using the Telegram service for corporate communication is shown. In conclusion, the prospects for further development are considered.

Н.Г. Семенова, А.М. Семенов, Л.А. Влацкая
НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ВЕТРО-ДИЗЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Ключевые слова: нечеткое моделирование, алгоритм Мамдани, ветро-дизельный комплекс, система нечеткого управления.

Статья посвящена разработке системы нечеткого вывода, обеспечивающей выбор режима работы ветро-дизельного комплекса (ВДК) и учитывающей факторы неопределенности работы ВДК по двум переменным: скорость ветра и энергопотребление. Представлены: характеристики термовходных и выходной переменных, матрица принятия решения по выбору режима работы ВДК; упрощенная имитационная модель нечеткой системы управления ВДК, позволяющая провести ее апробирование с использованием реальных данных, поступающих на вход системы управления ВДК. Сформулированы задачи дальнейшего исследования.

N.G. Semenova, A.M. Semenov, L.A. Vlatskaya
FUZZY CONTROL OF THE MODES OF OPERATION
OF THE WIND-DIESEL COMPLEX

Keywords: fuzzy modeling, Mamdani algorithm,
wind-diesel complex, fuzzy control system.

The article is devoted to the development of a fuzzy inference system that ensures the choice of the operating mode of the wind-diesel complex (VDC) and takes into account the uncertainty factors of the VDC operation for two variables: wind speed and energy consumption. The following are presented: characteristics of the terms of the input and output variables, a decision-making matrix for choosing the VDC operating mode; a simplified simulation model of a fuzzy VDC control system, which allows it to be tested using real data received at the input of the VDC control system. The tasks of further research are formulated.

Л.А. Симонова, В.Н. Гильман
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ
ФОРМИРОВАНИЮ ПОГРЕШНОСТЕЙ СТРУКТУРНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
СИЛОВОГО ЗУБОТОЧЕНИЯ POWER SKIVING

Ключевые слова: Power Skiving, зубообработка, точность.

Рассмотрены виды погрешностей возникающих в станочной системе. Проведен анализ станочной системы с точки зрения иерархических уровней производства. Предложена методика расчета погрешности для оборудования силового зуботочения Power Skiving позволяющая повысить эффективность процесса.

L.A. Simonova, V.N. Gilman
A SYSTEM APPROACH TO THE AUTOMATED
FORMATION OF ERRORS OF THE STRUCTURAL
ELEMENTS OF THE POWER SKIVING
TECHNOLOGICAL PROCESS

Keywords: Power Skiving, gear cutting, accuracy.

The types of errors arising in the machine tool system are considered. The technological system was analyzed from the point of view of hierarchical levels of production. A method for calculating the error for power skiving equipment for power skiving is proposed, which makes it possible to increase the efficiency of the process.

Л.А. Симонова, В.Н. Гильман
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ СТАНОЧНОЙ
СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ ЗУБОТОЧЕНИЯ POWER SKIVING

Ключевые слова: Моделирование погрешностей,

PowerSkiving, зубообработка, точность, ДХ-представление.

Рассмотрен алгоритм расчета параметров ДХ-представления для определения нулевых точек систем координат узлов оборудования силового зуботочения. Предложен алгоритм формирования погрешностей в узлах станочной системы. Анализируется возможность определения множеств положений нулевых точек звеньев станочной системы для оценки фактической точности оборудования.

L.A. Simonova, V.N. Gilman
MODELING OF ERRORS OF A TECHNOLOGICAL
EQUIPMENT SYSTEM ON THE EXAMPLE
OF POWER SKIVING

Keywords: Modeling of errors, Power Skiving,
gear cutting, accuracy, DH-representation.

An algorithm for calculating the parameters of the DH-representation for determining the coordinate systems zero points of the Power skiving equipment structural units is considered. An algorithm for the formation of errors in the nodes of the technological equipment system is proposed. The possibility of determining the zero points positions array of the technological equipment system elements is analyzed to assess the actual accuracy of the equipment.

Т.Н. Титова
НАХОЖДЕНИЕ НОРМАЛЬНОГО ВИДА КВАДРАТИЧНОГО
ГАМИЛЬТОНИАНА

Ключевые слова: квадратичный гамильтониан, гамильтонова матрица, симплектическая матрица, собственный вектор, производящая функция, жорданова нормальная форма.

В работе рассмотрен вопрос о нахождении канонического преобразования, приводящего линейную гамильтонову систему к нормальному виду. Соответствующая гамильтонова матрица является вырожденной. Каноническое преобразование задается

T.N. Titova
FINDING THE NORMAL FORM OF THE QUADRATIC
HAMILTONIAN

Keywords: quadratic Hamiltonian, Hamiltonian matrix, symplectic matrix, eigenvector, generating function, Jordan normal form.

In this paper we consider the problem of finding a canonical transformation that leads a linear Hamiltonian system to the normal form. The corresponding Hamiltonian matrix is degenerate. We define the canonical transformation with a

производящей функцией. Получено решение системы матричных уравнений для нахождения неизвестных матриц производящей функции.

В.И. Курир

СПОСОБЫ 3D ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ЛОПАСТИ РАДИАЛЬНО-ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНЫ ФРЕНСИСА

Ключевые слова: NX OPEN, гидротурбина Френсиса.

В статье приведена процедура построения профиля лопасти радиально-осевой гидротурбины Френсиса в графическом пакете NX. Указана возможность двух способов построения профиля лопасти гидротурбины – стандартного интерактивного и программного. В качестве программного пакета, позволяющего автоматически построить профиль лопасти гидротурбины, принят внутренний программный пакет NX OPEN, входящий в состав графического пакета NX. Приведены также некоторые операторы и функции данного пакета, которые, по мнению автора, необходимы для построения в дальнейшем соответствующего программного скрипта, управляющего процессом автоматического построения профиля лопасти в NX и передачи профиля лопасти гидротурбины в пакет FINE/TURBO для проведения гидродинамических исследований и проведения дальнейшей операции оптимизации формы лопасти гидротурбины в данном пакете.

А.В. Лаздин, А.А. Смирнова

МНОГОПОТОЧНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: моделирование дискретно-событийных систем, многопоточность, конечный автомат, недетерминизм. В работе предлагается использование многопоточного подхода для моделирования недетерминированных дискретно-событийных систем. Предлагаемое решение позволяет моделировать такие системы для последовательности входных событий без необходимости запоминания состояния, в котором произошел недетерминированный переход и возвращаться в запомненное состояние в случае неудачного выбора перехода. Полученное решение дает возможность решать задачи обработки входных последовательностей событий за линейное время. Мы также предложили дополнительный механизм, направленный на сокращение времени работы, основанный на контроле возможных вариантов перехода

Д.В. Огородников, А.И. Кононова,

А.В. Городилов П.А. Трещановский

АЛГОРИТМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОТОКОЛОВ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ СЕТЕВЫХ СВЯЗЕЙ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОММУТАТОРАХ

Ключевые слова: сети, резервирование, HSR, PRP, сетевые устройства.

В статье рассматриваются протоколы резервирования связей в сетях Ethernet и их программная реализация в отечественных коммутаторах, разработанных предприятием АО «Ангстрем-Телеком». Описан программный модуль для эффективного управления сетями на основе этих протоколов, позволяющих предотвращать потери данных на канальном уровне при возникновении сбойных ситуаций.

М.Ю. Ромашихин

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛИС ДЛЯ РАБОТЫ СО ЗВУКОВЫМИ СИГНАЛАМИ

Ключевые слова: речь, ПЛИС, прототипирование, генерация звука, цифровая обработка сигналов.

В работе представлены реализации устройств для работы со звуковыми сигналами на основе программируемых логических интегральных схем. Представлены реализация генератора речи и реализация КИХ-фильтра низких частот для обработки звуковых сигналов.

generating function. We obtain the solution of the system of matrix equations for finding unknown matrices of the generating function.

V.I. Kurir

METHODS OF 3D PARAMETRIZATION OF THE BLADE OF A RADIAL-AXIAL FRANCIS HYDRAULIC TURBINE

Keywords: NX OPEN API, Francis hydro turbine.

The article describes the procedure for constructing the profile of the blade of a radial-axial Francis hydraulic turbine in the NX graphics package. The possibility of two ways of constructing the profile of the turbine blade is indicated – standard interactive and software. The internal NX OPEN software package included in the NX graphics package has been adopted as a software package that allows you to automatically build the profile of the turbine blade. Some operators and functions of this package are also given, which, according to the author, are necessary to build in the future an appropriate software script controlling the process of automatically constructing the blade profile in NX and transferring the profile of the turbine blade to the FINE/TURBO package for hydrodynamic studies and further optimization of the shape of the turbine blade in this package.

A.V. Lazdin, A.A. Smirnova

MULTITHREADED APPROACH FOR MODELING NON-DETERMINISTIC DISCRETE-EVENT SYSTEMS.

Keywords: discrete event systems simulation, multithreading, finite state machine, non-determinism.

This paper proposes the use of a multithreaded approach for non-deterministic discrete-event systems simulating. The proposed solution makes it possible to simulate such systems for a sequence of input events without the need, in the case of a non-deterministic transition, to memorize the state in which such a transition occurred, and to return to the memorized state in case of an unsuccessful choice. The obtained solution allows to solve the problems of processing input sequences of events in linear time. We also proposed an additional mechanism aimed at the operating time reducing, based on the control over possible transition options.

D.V. Ogorodnikov, A.I. Kononova,

A.V. Gorodilov, P.A. Treschanovsky

ALGORITHMS FOR IMPLEMENTING NETWORK CONNECTION REDUNDANCY PROTOCOLS IN DOMESTIC INDUSTRIAL SWITCHES

Keywords: networks, redundancy, HSR, PRP, network devices. The article discusses the protocols of redundancy of connections in Ethernet networks and their software implementation in domestic switches developed by the company JSC "Angstrom-Telecom". A software module for effective network management based on these protocols is described, which allows to prevent data loss at the channel level in case of failure situations.

M.Y. Romashikhin

THE USE OF FPGAS FOR WORKING WITH AUDIO SIGNALS

Keywords: speech, FPGA, prototyping, signal processing. The paper presents implementations of devices for working with audio signals based on field programmable gate array circuits (FPGAs). The implementation of a speech generator and the implementation of a low-pass filter for processing are presented.

А.Б. Сорокин, Р.Э. Семенов, Л.М. Железняк
ВИРТУАЛЬНЫЙ РОБОТ МОНИТОРИНГА ПУБЛИКАЦИЙ

Ключевые слова: виртуальный робот, двунаправленный трансформер, классификация текстов, нейронная сеть.

Рассматривается разработка интеллектуального программного обеспечения, самостоятельно собирающего, анализирующего и организующего отфильтрованную и удобную для чтения ленту публикаций. Точность фильтрации находится на уровне, превышающий возможности человека благодаря возможности проводить дополнительное обучение. Таким образом, создан полноценный бот, предоставляющий клиенту в удобной форме настройку серверной части.

М.Ю. Шрейдер, А.Д. Тарасов,
А.М. Осипова, О.В. Антонова, И.А. Синотов
МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ
ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Ключевые слова: цифровизация, мобильное приложение, цифровое решение, программный продукт.

В статье рассматривается использование IT-решений в работе компаний, а именно в области обучения в одной из школ программирования. Представлены схемы алгоритмов работы приложения, необходимого для улучшения качества работы организации, а также увеличения лояльности клиентов. Продемонстрированы графики положительного влияния на деятельность компании, во время тестирования программного продукта.

Е.В. Бурькова, А.А. Рычкова
НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КАТЕГОРИРОВАНИЯ ВЫСШЕГО
УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ КАК СУБЪЕКТА КРИТИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Ключевые слова: информационные процессы, категория, субъекты критической информационной инфраструктуры, КИИ.

В работе рассматривается вопрос отнесения высших учебных заведений к субъектам критической информационной инфраструктуре, представлен анализ информационных процессов и порядок определения категории объектов.

A.B. Sorokin, R.E. Semenov, L.M. Zheleznyak
VIRTUAL PUBLICATION MONITORING ROBOT

Keywords: virtual robot, bidirectional transformer, text classification, neural network.

The development of intelligent software that independently collects, analyzes and organizes a filtered and easy-to-read feed of publications is considered. Filtration accuracy is at a level that exceeds human capabilities due to the ability to conduct additional training. Thus, a full-fledged bot has been created that provides the client with a convenient form of setting up the server side.

M.Yu. Schrader, A.D. Tarasov,
A.M. Osipova, O.V. Antonova, I.A. Synotov
MOBILE APP AS AN ELEMENT OF EDUCATION
DIGITALIZATION

Keywords: digitalization, mobile application, digital solution, software product.

The article discusses the use of IT solutions in the work of companies, namely in the field of education in one of the programming schools. The schemes of algorithms for the operation of the application, which is necessary to improve the quality of the organization's work, as well as increase customer loyalty, are presented. Graphs of a positive impact on the company's activities during the testing of a software product are shown.

E.V. Burkova, A.A. Rychkova
SOME ASPECTS OF CATEGORIZING A HIGHER
EDUCATION INSTITUTION AS A SUBJECT OF
CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE

Keywords: Information processes, category, subjects of critical information infrastructure. (CII)

The paper considers the issue of attribution of higher educational institutions to the subjects of critical information infrastructure, presents an analysis of information processes and the procedure for determining the category of objects.

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 "Рашин Сайнс" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№4 2022

Направления:

- 1.2.2. (05.13.18) – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ
(технические науки)**
- 2.3.1. (05.13.01) – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**
- 2.3.3. (05.13.06) – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ
(технические науки)**
- 2.3.5. (05.13.11) – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И
КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (физико-математические науки)**
- 2.3.5. (05.13.11) – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И
КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (технические науки)**
- 2.3.6. (05.13.19) – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

www.ntvpert.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732
Подписано в печать 26.04.2022 Формат А4. Печать цифровая.
Дата выхода в свет 26.04.2022
10,4 усл.печ.л. 12,7 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 4090.

Учредитель: ООО "Рашин Сайнс":
420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.
Адрес редакции, издательства, типографии – ООО "Рашин Сайнс":
420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.
Цена свободная.

© Рашин Сайнс
тел. (843) 216-30-35
Отпечатано с готового оригинал-макета
ООО «Рашин Сайнс»