

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№2 2023

Направления:

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

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

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

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

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

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

**Казань
2023**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №2 2023г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2023. – 128 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, 2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

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

<i>А.Ю. Барыкин, Р.М. Галиев, Э.М. Мухаметдинов, Д.И. Нуретдинов, Р.Р. Басыров</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК ДЕТАЛЕЙ РУЛЕВОГО ПРИВОДА	7
<i>А.В. Волков, М.В. Кудашкина, Т.А. Захватова</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА В НАТРИЕВОЙ ЛАМПЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	10
<i>Т.Э. Носальская, Н.В. Пешков, В.А. Ильиных, В.Ю. Линейцев</i> РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНИЧЕСКОГО ВАЛА С УЧЁТОМ МОМЕНТА РАЗЛАДКИ	13
<i>Е.Г. Царькова</i> НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВРЕДОНОСНОЙ АКТИВНОСТИ В ВЕДОМСТВЕННЫХ СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	21
<i>С.В. Шилова, П.В. Кожеевникова, А.А. Чувашинов</i> ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАЗЦОВ ОТРАБОТАННЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	24

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

<i>В.В. Андреев, В.О. Фурман, И.В. Демарев, Н.С. Любавин, Н.С. Пугачев, С.А. Антонов</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ ОБОБЩЕННОГО АНАЛИЗА	28
<i>М.С. Аносов, Е.С. Аносова, М.С. Трофимова, А.А. Подувальцев</i> КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ СПЛАВА 04Х24Н13, ПОЛУЧЕННОГО ПО ТЕХНОЛОГИИ WAAM ПРИ ИСПЫТАНИИ НА УСТАЛОСТЬ	32
<i>А.Г. Жорняк, Т.А. Морозова</i> ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ LAZARUS ДЛЯ НАУЧНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. ЧАСТЬ II. РАБОТА С БАЗАМИ ДАННЫХ	35
<i>А.Г. Жорняк, Т.А. Морозова</i> ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ БИБЛИОТЕКИ ЯЗЫКА PYTHON В НАУЧНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧАХ. ЧАСТЬ I. БИБЛИОТЕКИ CX_FREEZE И PYINSTALLER	40
<i>Р.Р. Имаев, Д.М. Афанасьев, Г.А. Гареева</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ДОКУМЕНТООБОРОТА СРЕДСТВАМИ 1С:ПРЕДПРИЯТИЕ	45
<i>Е.Н. Канинина, А.В. Пантелеев, Н.А. Балашов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИВОЙ СИЛЫ СВЕТА СВЕТОДИОДОВ	49
<i>О.С. Логунова, Л.С. Масальский, Е.А. Ильина, Д.Я. Арефьева, Л.В. Артюхин, Е.А. Горлова</i> ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАУЧНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВТОРОВ	52
<i>А.Ю. Перов, И.Е. Серебрянская</i> ФОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	55
<i>А.С. Полянина</i> ПОЛНЫЙ ЦИКЛ ПОХОДКИ В ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛОСКОГО ДВУНОГОВОГО РОБОТА	60

Д.А. Привалов, А.М. Самойлов, К.Г. Галстян, Н.Г. Катков, Н.П. Тарасова, В.В. Андреев АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ СУДОВЫХ ЯЗУ	64
А.В. Рысистов, Н.А. Максимов АЛГОРИТМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БПЛА НА РАЗНОСЕЗОННЫХ СНИМКАХ МЕСТНОСТИ ЧАСТЬ I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ЕЕ РЕШЕНИЮ	68
А.В. Рысистов, Н.А. Максимов АЛГОРИТМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БПЛА НА РАЗНОСЕЗОННЫХ СНИМКАХ МЕСТНОСТИ ЧАСТЬ II. СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗНОСЕЗОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ С РАЗРАБОТАННЫМИ АЛГОРИТМАМИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ	75
А.М. Смолев, Т.И. Михеева, К.А. Молодыко МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ КАПСУЛЫ НА ТРОСЕ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ITSGIS	84
А.Ю. Унгер ФОРМАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ОПТИМИЗАЦИИ С БЕСКОНЕЧНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ РЕШЕНИЙ	88
Х.А. Шамасна, А.В. Семашко ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ УМНЫМИ ФЕРМАМИ	92

2.3.3. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

А.А. Баевский, И.Н. Шканов, Г.И. Белявский, В.Д. Швецов, М.С. Трофимова СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ И ПОСТАВОК ЗАПЧАСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	98
К.Г. Горгоц ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО ШИРИНЕ ЗУБЧАТЫХ ВЕНЦОВ В ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ТИПА 2К-Н ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МАШИНЫ	101
Г.М. Сабирзянова, Т.В. Сидорова, Р.М. Хисамутдинов ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СБОРКИ АВТОМОБИЛЯ ПУТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ	106

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

Т.Н. Титова ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ НЕУРАВНОВЕШЕННОГО ГИРОСКОПА В КАРДАНОВОМ ПОДВЕСЕ	110
--	-----

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

М.А. Рыбин, С.А. Шарипов УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РИСКАМИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ	114
Е.В. Яковлева, В.Е. Медведев, Е.В. Лагунская, И.С. Драгунцова ОЦЕНКА ДИНАМИКИ КОЛИЧЕСТВА ОТКАЗОВ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	117

АННОТАЦИИ	120
------------------	-----

THE RELEASE MAINTENANCE

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

<i>A.Yu. Barykin, R.M. Galiev, E.M. Mukhametdinov, D.I. Nuretdinov, R.R. Basyrov</i> INVESTIGATION OF OPERATIONAL LOADS OF STEERING DRIVE PARTS	7
<i>A.V. Volkov, M.V. Kudashkina, T.A. Zakhvatova</i> SIMULATION OF THE ACOUSTIC RESONANCE PHENOMENON IN A HIGH PRESSURE SODIUM LAMP	10
<i>T.E. Nosalskaya, N.V. Peshkov, V.A. Il'inykh, V.Yu. Lineitzev</i> ON DEVELOPING MATHEMATICAL MODEL FOR REAL SURFACE OF SPINDLE WITH PROVISION FOR CHANGE POINT	13
<i>E.G. Tsarkova</i> NEURAL NETWORK MODEL OF A MALICIOUS ACTIVITY PREVENTION SYSTEM IN DEPARTMENTAL DATA TRANSMISSION NETWORKS	21
<i>S.V. Shilova, P.V. Kozhevnikova, A.A. Chuvashov</i> EVALUATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF COMPONENTS AND AGGREGATES OF VEHICLES BASED ON THE RESULTS OF STUDIES OF SAMPLES OF USED LUBRICANTS BY FUZZY MODELING	24

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

<i>V.V. Andreev, V.O. Furman, I.V. Demarev, N.S. Lubavin, N.S. Pugachev, S.A. Antonov</i> PREDICTION OF HYDRAULIC RESISTANCE INDICATORS BASED ON GENERAL ANALYSIS METHODOLOGY	28
<i>M.S. Anosov, E.S. Anosova, M.S. Trofimova, A.A. Poduval'tsev</i> QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE PROCESS OF DEFORMATION AND FRACTURE OF 04Cr24Ni13 ALLOY PRODUCED BY THE WAAM TECHNOLOGY DURING FATIGUE TESTIN	32
<i>A.G. Zhornyak, T.A. Morozova</i> APPLICATION OF THE LAZARUS DEVELOPMENT ENVIRONMENT FOR SCIENTIFIC AND ENGINEERING RESEARCH. PART II. WORK WITH DATABASES	35
<i>A.G. Zhornyak, T.A. Morozova</i> ADDITIONAL PYTHON LIBRARIES FOR SCIENTIFIC AND ENGINEERING TASKS. PART I. THE CX_FREEZE AND PYINSTALLER LIBRARIES	40
<i>R.R. Imaev, D.M. Afanasyev, G.A. Gareeva</i> IMPROVEMENT OF INTERNAL DOCUMENT FLOW BY MEANS OF 1C:ENTERPRISE	45
<i>E.N. Kaninina, A.V. Panteleev, N.A. Balashov</i> INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF MEASUREMENT METHODS ON THE RESULTS OF DETERMINING THE SHAPE OF THE LIGHT INTENSITY CURVE OF LEDS	49
<i>O.S. Logunova, L.S. Masalsky, E.A. Ilina, D.Y. Arefeva, L.V. Artyukhin, E.A. Gorlova</i> DATA VISUALIZATION FOR ASSESSMENT OF SCIENTIFIC INTERACTIONS BETWEEN AUTHORS	52
<i>A.Y. Perov, I.E. Serebrianskaya</i> FORMATION OF THERMAL IMAGES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES	55
<i>A.S. Polyanina</i> COMPLETE GAIT CYCLE IN DYNAMIC MODEL FOR A PLANAR BIPED ROBOT	60
<i>D.A. Privalov, A.M. Samoilov, K.G. Galstyan, N.G. Katkov, N.P. Tarasova, V.V. Andreev</i> ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THERMOHYDRAULIC RESEARCH FOR MARINE NUCLEAR POWER PLANTS	64
<i>A.V. Rysistov, N.A. Maksimov</i> UAV POSITIONING ALGORITHM ON MULTI-SEASONAL IMAGES OF THE TERRAIN PART I. STATEMENT OF THE POSITIONING PROBLEM AND ANALYSIS OF APPROACHES TO ITS SOLUTION	68

<i>A.V. Rysistov, N.A. Maksimov</i> UAV POSITIONING ALGORITHM ON MULTI-SEASON IMAGES OF THE AREA PART II. COMPARISON OF MULTI-SEASON IMAGES AND EXPERIMENTS WITH THE DEVELOPED POSITIONING ALGORITHMS	75
<i>A.M. Smolev, T.I. Mikheeva, K.A. Molodyko</i> MODELING AND ANALYSIS OF THE CAPSULE ANGULAR MOTION BY THE GEOINFORMATION SYSTEM ITS GIS	84
<i>A.Y. Unger</i> FORMAL APPROACH TO THE OPTIMIZATION PROBLEM WITH INFINITE SOLUTION SPACE	88
<i>H.A. Shamasna, A.V. Semashko</i> AN ARCHITECTURE OF SMART FARM MULTILAYER NETWORKED MANAGEMENT SYSTEM	92

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

<i>A.A. Baevsky, I.N. Shkanov, G.I. Belyavsky, V.D. Shvetsov, M.S. Trofimova</i> AUTOMATED SYSTEM FOR PLANNING REPAIRS AND SUPPLIES OF SPARE PARTS OF EQUIPMENT OF THE CONFECTIONERY INDUSTRY	98
<i>K.G. Gorgots</i> THEORETICAL INVESTIGATION OF THE LOAD DISTRIBUTION ALONG THE WIDTH OF THE GEAR RINGS IN THE PLANETARY GEAR TYPE 2K-N TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINE	101
<i>G.M. Sabirzyanova, T.B. Sidorova, R.M. Hisamutdinov</i> IMPROVING THE EFFICIENCY OF AUTOMOBILE ASSEMBLY BY PREDICTIVE ANALYSIS USING VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY	106

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

<i>T.N. Titova</i> ON STABILITY OF MOTION OF AN UNBALANCED GYROSCOPE IN GIMBAL SUSPENSION	110
---	-----

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

<i>M.A. Rybin, S.A. Sharipov</i> INFORMATION RISK MANAGEMENT IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS	114
<i>E.V. Yakovleva, V.E. Medvedev, E.V. Lagunskaya, I.S. Draguntsova</i> EVALUATION OF THE DYNAMICS OF THE NUMBER OF SOFTWARE FAILURES	117

ABSTRACTS	120
------------------	-----

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

1.2.2.

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

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК
ДЕТАЛЕЙ РУЛЕВОГО ПРИВОДА**

В статье приведены результаты исследования приводов рулевого управления грузовых автомобилей, эксплуатируемых в зимних условиях. Показана необходимость оценки изменения параметров привода и усилителя рулевого управления под действием внешних факторов. Разработана математическая модель, описывающая влияние окружающей среды на эксплуатационные нагрузки деталей рулевого привода.

Ключевые слова: *грузовой автомобиль, рулевое управление, рулевой привод, гидравлический усилитель, рулевая колонка, сошка, зимняя эксплуатация, температура воздуха.*

Рулевое управление автомобиля относится к одной из систем, обеспечивающих безопасное движение в различных дорожных и природно-климатических условиях. Преодоление моментов сопротивления повороту на управляемых колёсах автомобиля обеспечивается за счёт необходимого передаточного числа рулевого механизма при ограниченном по требованиям эргономики усилии водителя [1, 2].

Рулевой привод автомобиля нагружается как со стороны водителя, где усилие на рулевом колесе умножается на передаточное число редуктора, так и со стороны опорной поверхности, за счёт моментов сопротивления повороту и динамических реакций, возникающих при переезде препятствий. Кроме того, детали подвержены колебаниям, вызванным работой подвески. В процессе эксплуатации грузовых автомобилей возникают поломки деталей и отказы рулевого управления, вызванные различными причинами [3, 4]. Для повышения долговечности механизмов и обеспечения безопасности движения необходимо выполнить анализ факторов, определяющих уровень нагруженности деталей рулевого привода.

Рулевой привод грузового автомобиля, как правило, оснащённого передней зависимой подвеской, включает рулевую трапецию с цельной поперечной тягой и тягу, соединяющую названные детали с рулевым механизмом посредством сошки (рис. 1) и поворотного рычага. Кинематическая согласованность перемещений деталей привода обеспечивается применением шаровых шарниров [5].



Рис. 1 – Крепление сошки рулевого привода автомобиля КАМАЗ

При оценке уровня нагруженности необходимо принимать во внимание условия эксплуатации автомобиля, прежде всего состояние дорожного покрытия и температурный режим работы. В отечественной практике принято оценивать нагруженность деталей рулевого привода, исходя из величины момента сопротивления повороту управляемых колёс для неподвижного автомобиля [6]. Уточнение нагрузочных факторов производится с помощью произвольно выбираемого коэффициента динамичности. В результате величины нагрузок могут не соответствовать реальной дорожной ситуации. Кроме того, некоторые технические параметры, используемые в известных методиках расчёта, могут изменяться при воздействии внешних факторов, что также снижает достоверность расчётов.

Эксплуатация автомобилей в зимних условиях приводит к заметному охлаждению деталей рулевого привода и в некоторых случаях может стать причиной проявления хладноломкости. В отличие от механизмов трансмиссии, температура которых повышается при интенсивной работе, детали рулевого привода не подвержены подобному нагреву из-за относительно меньшей интенсивности циклических нагрузок [7, 8]. Тяги привода не находятся в масляной среде, как детали трансмиссии, а напротив, испытывают постоянный обдув холодным атмосферным воздухом [9]. Гидравлический усилитель рулевого управления также работает с переменной интенсивностью и не получает существенного подогрева вследствие гидравлических потерь, преобразуемых в тепловую энергию [10]. Динамические нагрузки при охлаждении деталей ходовой части возрастают, в частности, из-за изменения упругости шин.

Общепринятая методика расчёта предполагает определение усилия на рулевом колесе, исходя из величины момента сопротивления повороту управляемых колёс на месте [6]. Компенсация возрастания сопротивления повороту рулевого колеса из-за изменения условий эксплуатации должна осуществляться за счёт дополнительного усилия водителя, либо за счёт возрастания рабочего давления в гидроусилителе. В работе [11] приведена математическая модель рабочего процесса винтореечного рулевого механизма. Предлагаемая ниже методика основана на общепринятой расчётной модели [6] и дополняет её новыми параметрами, что позволяет оценить уровень изменения усилий в приводе с учётом условий эксплуатации.

Момент на рулевом колесе предлагается определять по формуле:

$$M_{rk} = \frac{2\varphi_0 G_k^{3/2}}{3(p_{sh}\vartheta_t)^{1/2} u_\omega \eta_{ru} k_{rut}}$$

где φ_0 – коэффициент сцепления; G_k – масса автомобиля, приходящаяся на управляемое колесо; p_{sh} – внутреннее давление в шине; ϑ_t – коэффициент, учитывающий изменение давления в шине при низких температурах окружающей среды; u_ω – передаточное число рулевого механизма; η_{ru} – КПД рулевого управления; k_{rut} – коэффициент, учитывающий изменение КПД рулевого управления под действием внешних факторов.

Усилие, возникающее при взаимодействии рулевой сошки с шаровым шарниром привода, находится в виде:

$$P_s = \frac{M_{rk} u_{rm} \eta_{rm} k_{rmt}}{l_s} + \frac{\pi D_{gz}^2 p_f \lambda_t}{4 l_s}$$

где M_{rk} – момент на рулевом колесе; u_{rm} – передаточное число рулевого механизма; η_{rm} – КПД рулевого механизма; k_{rmt} – коэффициент, учитывающий изменение КПД рулевого механизма под действием внешних факторов; l_s – плечо действия силы относительно оси выходного вала рулевого механизма; D_{gz} – диаметр главного тормозного цилиндра гидроусилителя; p_f – номинальное давление рабочей жидкости гидроусилителя; λ_t – коэффициент, учитывающий изменение давления жидкости при низких температурах окружающей среды.

Предложенная математическая модель дополняет описание рабочего процесса рулевого управления в сложных природно-климатических условиях, приведённое в работе [11], и позволяет уточнить уровень эксплуатационных нагрузок в приводе управляемых колёс.

Список литературы

1. Конструкция автомобиля. Шасси / Н.В. Гусаков, И.Н. Зверев, А.Л. Карунин [и др.] // Под общ. ред. А.Л. Карунина. – Москва: МАМИ, 2000. – 528 с. – Текст: непосредственный.
2. Автомобили / А.В. Богатырёв, Ю.К. Есеновский-Лашков, М.Л. Насоновский [и др.]. Под ред. А.В. Богатырёва. – Москва: КолосС, 2004. – 496 с. – Текст: непосредственный.
3. Червяков, С.В. Неисправности рулевого управления автомобилей семейства КАМАЗ / С.В. Червяков, А.В. Столяров. – Текст: непосредственный // В сборнике: Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Материалы Международной научно-практ. конференции. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2018. – С. 300-306.
4. Чернухин Р.В. Выявление доли отказов рулевого управления грузовых автомобилей / Р.В. Чернухин, С.В. Соболев, А.В. Обухов. – Текст: непосредственный // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2013. – Т. 3. – № 1. – С. 247-251.
5. КАМАЗ 5360, 5460, 6460, 6520. Руководство по эксплуатации / Сост. Нешумова Т. Н. Под общ. ред. Васина В. В. – Набережные Челны: ОАО «КАМАЗ», 2003. – Текст: непосредственный.
6. Осепчугов В.В. Автомобиль: Анализ конструкций, элементы расчета: Учебн. для студ. вузов по спец. «Автомобили и автомобильное хозяйство» / В. В. Осепчугов, А. К. Фрумкин. – Москва: Машиностроение, 1989. – 304 с. – Текст: непосредственный.
7. Барыкин, А.Ю. Влияние температурного режима дифференциала в зимний период эксплуатации на управляемость и безопасность движения / А.Ю. Барыкин. – Текст: непосредственный // Организация и безопасность дорожного движения: Материалы X Международной научно-практ. конференции, 16 марта 2017 г. В 2-х тт. Т. 1. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 208-211.
8. Нигметзянова В.М. Безопасная эксплуатация автомобилей на территориях с холодным климатом за счет применения комплекса мероприятий, обеспечивающих надежность и комфортабельность работы / В.М. Нигметзянова, А.Ю. Барыкин, И.Н. Мусавилов. – Текст: непосредственный // Организация и безопасность дорожного движения: материалы XIII Национальной научно-практ. конференции с международным участием (19 марта 2020 г.) / отв. ред. Д.А. Захаров. – Тюмень: ТИУ, 2020. – С. 502-506.
9. Платонов В.Ф. Полноприводные автомобили. – 2-е изд. – Москва: Машиностроение, 1989. – 312 с. – Текст: непосредственный.
10. Салахова Р.Р. Моделирование гидроусилителя рулевого управления автомобиля КАМАЗ / Р.Р. Салахова. – Текст: непосредственный // Автомобильная промышленность. – 2012. – № 12. – С. 19-21.
11. Барыкин, А.Ю. Аспекты моделирования рабочего процесса винтореечного рулевого механизма / А.Ю. Барыкин, Р.М. Галиев, Э.М. Мухаметдинов, Д.И. Нуретдинов, И.Ф. Шайхутдинов. – Текст: непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 1. – С. 9-11.

1.2.2.

А.В. Волков канд. техн. наук, М.В. Кудашкина, Т.А. Захватова

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева,
Институт электроники и светотехники,
кафедра информационной безопасности и сервиса,
elsoldador@rambler.ru, rysenok888@mail.ru, tatyana.zahvatova123@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА В НАТРИЕВОЙ ЛАМПЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Явление акустического резонанса представляет собой сложную проблему, которую сегодня не могут достоверно объяснить причину возникновения данного явления. Чтобы обнаружить его появление, обычно используют математическое моделирование, а также экспериментальные исследования, которые направлены на измерения некоторых параметров лампы.

При возникновении акустического резонанса, как правило, изменяются некоторые физические параметры (температура, плотность электронов, локальное давление, излучение, электропроводность), а также электрические параметры лампы (падение напряжения, ток, внутреннее сопротивление лампы).

В статье представлены результаты математического моделирования процесса возникновения акустического резонанса в натриевой лампе высокого давления для последующего предсказания появления данного явления на практике.

Ключевые слова: акустический резонанс, натриевая лампа высокого давления, математическая модель.

1. Введение

Физическая модель акустического резонанса, разработанная [1,2,4,5], позволяет предсказать условия возбуждения акустического резонансного и форму электрической дуги. Эта модель получается путем учета разряда в лампе в виде плазмы в локальном термодинамическом равновесии. В этих условиях все величины плазмы являются функцией температуры. Точное измерение, проведенное в лаборатории для получения геометрического профиля температуры плазмы, необходимо для определения частот акустического резонанса. Мы можем полностью моделировать поведение разряда с использованием отношений сохранения (массы, импульса и энергии) в сочетании с электрическими параметрами.

2. Постановка задачи моделирования

Учитывая, что потери на трение, связанные с вязкостью плазмы, незначительны, мы можем опустить затухающие колебания, возникающие в результате колебаний дуги, мы можем прийти к следующему уравнению, характеризующему распространение волн давления в плазме:

$$\frac{\partial^2 p'}{\partial t^2} - c_s^2 \Delta p' = (\gamma - 1) \frac{\partial N}{\partial t} \quad (1)$$

Где $\Delta p'$ — изменение давления вокруг среднего значения, N — источник питания, который отдаёт электрическую мощность, необходимую на единицу объема, c_s — скорость звука в плазме (эта величина зависит от температуры).

Уравнение (1) является очень сложным и требует знания большого количества данных, и его решение чрезвычайно сложно. Однако если нашей целью является предсказанием частот, в которых появляются акустические резонансы, мы можем опустить исходный член, зависящий только от плазмы. Поэтому мы будем рассматривать распространение волн давления в горячем, но неионизированном газе. В этом случае некоторыми переменными

модели можно пренебречь, и уравнение значительно упрощается. После упрощения мы имеем:

$$\nabla^2 p' = \frac{1}{c_s^2(T)} \frac{\partial^2 p'}{\partial t^2} \quad (2)$$

Эта упрощенная формула (2), известная как «уравнение Гельмгольца», позволяет определить собственные частоты акустического резонанса. Если на первом этапе мы считаем, что температура постоянна, скорость распространения звука постоянна. В этих условиях это уравнение можно решить аналитически методом разделения переменных.

$$\omega_{nml} = \sqrt{\left(\frac{a_{nm}c_s}{R}\right)^2 + \left(\frac{\pi lc_s}{L}\right)^2} \quad (3)$$

Согласно уравнению (3), частота акустического резонанса, таким образом, зависит от размеров разрядной трубки (радиус R и длины L) и скорости распространения давления c_s , которая сама зависит от состава газов и средней температуры плазмы. Это означает, что резонансная частота может изменяться в зависимости от старения лампы из-за изменения составов газов и с температурой, вызванной нагревом внутренних элементов лампы.

Поэтому из-за допусков на производство мы можем иметь небольшие различия в частоте акустического резонанса для ламп того же типа и производителя. Это различие может быть значительным, если лампы изготовлены разными партиями из-за их отличий в размерах и составе газов, выбранных на производстве. В результате проведения моделирования мы можем найти некоторые свидетельства изменения частоты акустического резонанса для разных моделей (n, m, l) в натриевой лампе мощностью 400 Вт в зависимости от скорости плазмы (табл. 1). Мы видим, что, несмотря на изменение с частотой c_s в несколько кГц между режимами, это может привести к большим проблемам в управлении лампой питаемой от электронной пускорегулирующей аппаратуры.

Таблица 1 – Явление акустического резонанса на разных частотах в натриевой лампе мощностью 400 Вт

$c_s (ms^{-2})$	Режим (1)	Режим (2)	Режим (3)
460	74,84 кГц	36 кГц	104 кГц
470	76,46 кГц	36,79 кГц	106,35 кГц
480	78 кГц	37,57 кГц	108,61 кГц

На фигуре рисунке 1 показаны некоторые реальные фотографии акустического резонанса по сравнению с результатами моделирования, мы можем четко определить режимы акустического резонанса.

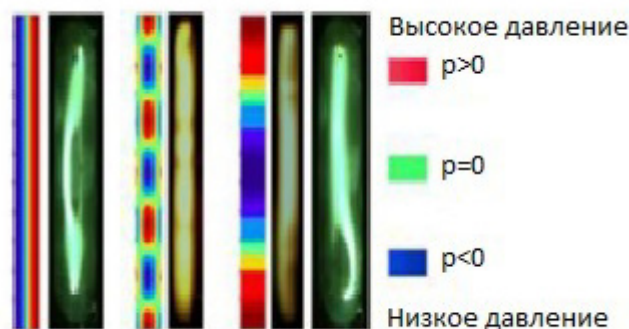


Рис. 1 – Визуализация режимов акустических колебаний

Путь возникновения акустического резонансного искаженного разряда теоретически был продемонстрирован выше в таб.1 на некоторых частотах (рис. 1). Разряд во время его колебаний, стремится пройти через зоны, где давление является наименьшим ($p' < 0$); дуга отпечатывает путь, соответствующий наименьшим потерям. Однако эта гипотеза еще не может объяснить все возможные деформации разряда.

Выводы

Решение уравнения 2 предсказывает, что частоты акустического резонанса кратны основной частоте и что колебания не затухают. Однако по экспериментальным исследованиям мы знаем, что в реальной лампе ситуация другая:

Помимо третьей гармоники частоты колебаний уже не кратны основной частоте [2,].

Для лампы, работающей вертикально, азимутальные члены систематически отсутствуют, пока они присутствуют для лампы, работающей горизонтально.

Высшие гармоники затухают и за пределами довольно высокой частоты (порядка 100 кГц) они исчезают.

Появляется явление гистерезиса, которое систематически смещает частоты колебаний, когда частота сначала увеличивается, а затем уменьшается. Проблема гистерезиса акустического резонанса рассматривались [3,5] при измерении интенсивности звука, излучаемой натриевой лампой высокого давления.

Проведение математического моделирования частот акустического резонанса, тем не менее, частично решает проблему и помогает нам проводить соответствующие эксперименты, чтобы идентифицировать дополнительные характеристики акустических резонансов, в частности пороговую мощность и гистерезис.

Список литературы

1. *Волков А.В.* Автоматизация контроля и испытаний газоразрядных ламп на основе статистического анализа временных рядов, нейронных сетей и SCADA -технологий: дисс. канд. тех. наук. – Пенза, 2019. – 266 с.
2. *Sylvain Epron.* Etudes et effets des oscillations acoustiques dans les lampes à décharge haute pression: thèse doctorat en génie électrique. – université Paul Sabatier, Toulouse, France, 1999.
3. *Schafer R.* Investigations on the fundamental longitudinal acoustic resonance of high pressure discharge lamps / R. Schafer, H.-P. Stormberg // Journal of Applied Physics – May 1982. Vol. 53, Iss. 5. – P. 3476-3480.
4. *Vagvolgyi A.* Modeling acoustic resonance in high-pressure discharge lamp arc chambers // International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics. – 2002. – Vol. 13, № 1-4. – P. 427-430.
5. *Witting H.L.* Acoustic resonances in cylindrical high-pressure arc discharges // Journal of Applied Physics. – May 1978. – Vol. 49, No 5. – P. 2680-2683.

1.2.2.

¹Т.Э. Носальская, ¹Н.В. Пешков, ¹В.А. Ильиных, ²В.Ю. Линейцев

Забайкальский институт железнодорожного транспорта,

¹кафедра Прикладная механика и математика,²кафедра Строительство железных дорог,

Чита, tenosalskaya@gmail.com, PeshkovN@mail.ru, ilinykh.viktor5@mail.ru, linetzev@mail.ru

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНИЧЕСКОГО ВАЛА С УЧЁТОМ МОМЕНТА РАЗЛАДКИ

В статье приводится оценка и прогноз отклонений формы деталей конических соединений используемых в узлах станков с ЧПУ.

Результаты замеров отклонений геометрической формы конических валов (оправок) показали, что реализации отклонений формы распределены по нормальному закону, с разными параметрами распределения. Это дает возможность создать математическую модель формы конической оправки, которая позволит определять ее непригодность в результате многоразовых сборок-разборок конического соединения узла станка в процессе его эксплуатации.

Ключевые слова: математическая модель конической оправки, коническое соединение, закон распределения, отклонение формы, момент разладки, метод кумулятивных сумм.

Введение

В настоящее время широкое применение получили математические модели различных объектов машиностроения, которые позволяют провести достоверную оценку показателей качества различных соединений и сборочных единиц деталей станков с ЧПУ при имитационных машинных экспериментах. Применение конических соединений различного функционального назначения в условиях многоразовых сборок и разборок накладывает определенные требования к обеспечению точности и жесткости соединений узлов станков при механическом изнашивании оправок типа SK, HSK, BT, PSK [1]. Достоверная оценка точности и жесткости данных соединений, во много определяется погрешностью формы и зависит от макро и микро-отклонений. Задача определения «непригодности» детали конического соединения при оценке воспроизведения формы профиля при имитации, может быть проведена с использованием известного метода кумулятивных сумм [2, 3, 4].

1. Применение метода последовательных кумулятивных сумм

Определим структуру имитационной модели изнашивания оправки изначально годного конического соединения.

Согласно, седьмого квалитета точности значение верхнего и нижнего предельного отклонения формы оправки находится от -9 до -25 мкм. Таким образом, допустим, что если отклонение формы превышает заданные границы, деталь становится непригодной для дальнейшей эксплуатации и должна быть заменена [5].

Анализ экспериментальных данных для реальных деталей позволяет предполагать, что отклонения формы распределены по нормальному закону с параметром $\sigma = 0,4$ [6, 7]. Первоначальное значение математического ожидания примем равным:

$$a = -9 - 3\sigma = -10,2 \quad (1)$$

Допустим, что в ходе изнашивания конической оправки типа SK в процессе эксплуатации, математическое ожидание отклонения формы уменьшается пропорционально убыванию жёсткости C конического стыка [8] (рис.1). Обозначим замеры жёсткости через каждые 100 сборок-разборок как $C_0, C_1, C_2, \dots$, где C_i – показатель для сборки-разборки с номером $100i$. Тогда можно записать коэффициенты пропорциональности в виде

$$b_i = \frac{C_{i-1} - C_i}{C_0} \quad (2)$$

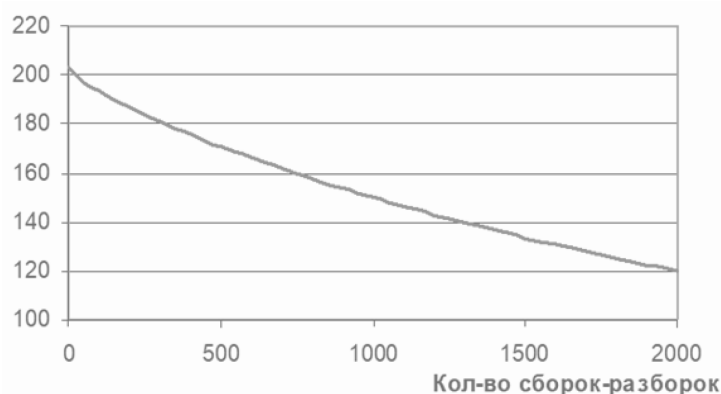


Рис. 1 – Зависимость жёсткости конического стыка в Н/мм от количества сборок-разборок соединения [8]

Используя коэффициенты, рассчитанные по формуле (2), получим следующие показатели для математического ожидания в процессе изнашивания оправки типа SK 30-14 (табл. 1).

Таблица 1 – Математическое ожидание при сборках-разборках конического соединения

Номер сборки-разборки	Математическое ожидание
0	-10,2
100	-13,0922
200	-15,6877
300	-17,9867
400	-19,989
500	-21,6946
600	-23,1036
700	-24,216

Последняя величина $a = -25 + 1,96\sigma = -24,216$ определяет значение вероятности 0,05 для выхода замеров отклонений за пределы поля допуска. Таким образом, рассмотрение последующих сборок-разборок в рамках нашей модели нецелесообразно.

Далее, используя предварительно полученные экспериментальные данные на ремонтно-инструментальном заводе АО КамАЗ, проведём анализ значений замеров при моделировании отклонений формы профиля оправки (табл. 2-5). В столбцах указаны отклонения размеров оправки SK 30-14 от идеального профиля детали для шести продольных сечений 0; 10; 20; 30; 40 и 50 при значении текущего угла измерения в поперечном сечении с шагом 10 градусов.

Таблица 2 – Числовые значения замеров до эксплуатации

Деталь SK 30-14	0	10	20	30	40	50
0	-10,6	-10,5	-10,6	-10,6	-10,6	-10,6
10	-10,5	-10,5	-10,6	-10,6	-10,7	-10,6
20	-10,4	-10,5	-10,6	-10,6	-10,7	-10,6
30	-10,5	-10,4	-10,6	-10,6	-10,7	-10,7
40	-10,4	-10,4	-10,6	-10,7	-10,8	-10,7
50	-10,4	-10,4	-10,6	-10,7	-10,8	-10,7
60	-10,4	-10,5	-10,6	-10,7	-10,8	-10,7
70	-10,4	-10,5	-10,5	-10,6	-10,7	-10,6
80	-10,2	-10,6	-10,4	-10,5	-10,7	-10,6
90	-10,2	-10,5	-10,3	-10,4	-10,6	-10,5
100	-10,0	-10,3	-10,1	-10,2	-10,6	-10,5
110	-9,8	-10,1	-10,1	-10,2	-10,5	-10,5
120	-9,8	-10,1	-10,0	-10,2	-10,5	-10,4

130	-9,7	-10,0	-9,9	-10,1	-10,4	-10,4
140	-9,6	-9,9	-9,9	-10,1	-10,3	-10,4
150	-9,5	-9,9	-9,8	-10,1	-10,3	-10,4
160	-9,5	-9,8	-9,8	-10,1	-10,3	-10,4
170	-9,4	-9,6	-9,7	-10,0	-10,3	-10,4
180	-9,3	-9,5	-9,6	-9,9	-10,2	-10,3
190	-9,3	-9,5	-9,6	-9,9	-10,2	-10,2
200	-9,3	-9,5	-9,6	-9,8	-10,1	-10,2
210	-9,2	-9,5	-9,6	-9,8	-10,1	-9,9
220	-9,3	-9,5	-9,6	-9,8	-10,1	-9,9
230	-9,3	-9,5	-9,6	-9,8	-10,1	-9,7
240	-9,4	-9,5	-9,6	-9,8	-10,1	-9,6
250	-9,5	-9,5	-9,6	-9,8	-10,1	-9,6
260	-9,6	-9,5	-9,6	-9,8	-10,1	-9,9
270	-9,7	-9,6	-9,7	-9,8	-10,1	-10,1
280	-9,8	-9,7	-9,8	-9,9	-10,1	-10,1
290	-9,9	-9,8	-9,9	-10,0	-10,2	-10,1
300	-10,1	-9,9	-10,1	-10,1	-10,3	-10,2
310	-10,1	-10,0	-10,3	-10,0	-10,4	-10,3
320	-10,3	-10,1	-10,2	-10,2	-10,4	-10,4
330	-10,4	-10,2	-10,3	-10,3	-10,5	-10,4
340	-10,5	-10,3	-10,5	-10,4	-10,5	-10,5
350	-10,5	-10,5	-10,5	-10,5	-10,6	-10,5

Таблица 3 – Числовые значения замеров после 100 сборок-разборок

Деталь SK 30-14	0	10	20	30	40	50
0	-13,7	-13,5	-13,5	-13,5	-13,5	-13,6
10	-13,6	-13,5	-13,5	-13,5	-13,5	-13,6
20	-13,6	-13,5	-13,5	-13,5	-13,5	-13,6
30	-13,6	-13,5	-13,5	-13,5	-13,6	-13,6
40	-13,6	-13,5	-13,5	-13,5	-13,6	-13,6
50	-13,5	-13,5	-13,5	-13,5	-13,6	-13,6
60	-13,5	-13,4	-13,4	-13,5	-13,6	-13,6
70	-13,4	-13,4	-13,3	-13,5	-13,7	-13,5
80	-13,4	-13,2	-13,3	-13,5	-13,7	-13,5
90	-13,3	-13,1	-13,2	-13,5	-13,7	-13,5
100	-13,1	-13,0	-13,1	-13,4	-13,8	-13,4
110	-13,0	-12,9	-12,9	-13,4	-13,8	-13,4
120	-12,9	-12,8	-12,9	-13,4	-13,8	-13,3
130	-12,8	-12,7	-12,8	-13,4	-13,8	-13,3
140	-12,8	-12,7	-12,8	-13,3	-13,8	-13,2
150	-12,8	-12,7	-12,8	-13,3	-13,8	-13,1
160	-12,7	-12,7	-12,7	-13,3	-13,9	-13,1
170	-12,6	-12,7	-12,7	-13,3	-13,9	-13,1
180	-12,5	-12,6	-12,6	-13,3	-13,9	-12,8
190	-12,5	-12,6	-12,6	-13,2	-13,9	-12,8
200	-12,5	-12,6	-12,5	-13,2	-13,9	-12,9
210	-12,5	-12,5	-12,5	-13,2	-13,9	-12,9

220	-12,5	-12,5	-12,5	-13,1	-13,8	-12,9
230	-12,5	-12,5	-12,5	-13,1	-13,8	-12,9
240	-12,5	-12,5	-12,5	-13,1	-13,7	-12,9
250	-12,5	-12,6	-12,5	-13,1	-13,7	-13,1
260	-12,6	-12,7	-12,5	-13,1	-13,7	-13,2
270	-12,7	-12,8	-12,5	-13,1	-13,6	-13,2
280	-12,8	-12,9	-12,6	-13,2	-13,6	-13,3
290	-12,8	-13,0	-12,7	-13,2	-13,6	-13,3
300	-12,9	-13,1	-12,8	-13,3	-13,6	-13,3
310	-13,1	-13,1	-12,8	-13,3	-13,6	-13,3
320	-13,1	-13,2	-12,9	-13,3	-13,5	-13,3
330	-13,2	-13,3	-13,0	-13,4	-13,5	-13,3
340	-13,3	-13,3	-13,3	-13,4	-13,5	-13,4
350	-13,3	-13,4	-13,5	-13,5	-13,5	-13,4

Таблица 4 – Числовые значения замеров после 600 сборки-разборки

Деталь SK 30-14	0	10	20	30	40	50
0	-23,7	-23,5	-23,5	-23,5	-23,5	-23,6
10	-23,5	-23,5	-23,5	-23,2	-23,5	-23,6
20	-23,5	-23,5	-23,4	-23,2	-23,5	-23,6
30	-23,4	-23,5	-23,4	-23,2	-23,4	-23,6
40	-23,5	-23,4	-23,4	-23,2	-23,5	-23,5
50	-23,3	-23,4	-23,3	-23,4	-23,5	-23,5
60	-23,2	-23,3	-23,2	-23,4	-23,5	-23,5
70	-23,1	-23,2	-23,1	-23,4	-23,6	-23,4
80	-23,0	-23,0	-23,0	-23,4	-23,5	-23,3
90	-22,9	-22,9	-22,9	-23,3	-23,5	-23,4
100	-22,7	-22,8	-22,7	-23,2	-23,5	-23,2
110	-22,6	-22,7	-22,6	-23,2	-23,4	-23,1
120	-22,5	-22,6	-22,5	-23,1	-23,4	-23,1
130	-22,4	-22,5	-22,4	-23,1	-23,4	-22,9
140	-22,4	-22,5	-22,4	-23,1	-23,4	-22,9
150	-22,5	-22,5	-22,4	-23,1	-23,4	-22,7
160	-22,5	-22,5	-22,3	-23,1	-23,5	-22,7
170	-22,5	-22,6	-22,3	-23,1	-23,5	-22,7
180	-22,4	-22,6	-22,3	-23,2	-23,5	-22,5
190	-22,4	-22,6	-22,3	-23,2	-23,6	-22,6
200	-22,5	-22,6	-22,4	-23,2	-23,6	-22,7
210	-22,5	-22,6	-22,4	-23,2	-23,6	-22,7
220	-22,6	-22,6	-22,5	-23,1	-23,6	-22,8
230	-22,6	-22,7	-22,5	-23,2	-23,6	-22,8
240	-22,7	-22,7	-22,5	-23,3	-23,6	-22,8
250	-22,7	-22,9	-22,6	-23,2	-23,6	-23,1
260	-22,9	-23,0	-22,6	-23,3	-23,6	-23,2
270	-23,0	-23,2	-23,2	-23,3	-23,6	-23,2
280	-23,1	-23,3	-22,7	-23,4	-23,6	-23,3
290	-23,3	-23,4	-22,8	-23,5	-23,6	-23,4
300	-23,3	-23,4	-22,9	-23,6	-23,6	-23,4

310	-23,5	-23,5	-22,9	-23,6	-23,6	-23,4
320	-23,5	-23,6	-23,0	-23,6	-23,5	-23,4
330	-23,5	-23,6	-23,1	-23,6	-23,5	-23,5
340	-23,4	-23,2	-23,4	-23,6	-23,5	-23,4
350	-23,4	-23,3	-23,5	-23,6	-23,5	-23,4

Таблица 5 – Числовые значения замеров после 700 сборки-разборки

Деталь SK 30-14	0	10	20	30	40	50
0	-25,1	-25,0	-24,7	-24,7	-25,3	-25,4
10	-25,0	-24,8	-24,6	-24,6	-25,1	-25,4
20	-24,9	-24,7	-24,6	-24,6	-25,0	-25,2
30	-24,8	-24,6	-24,5	-24,5	-24,8	-25,0
40	-24,7	-24,5	-24,4	-24,4	-24,7	-24,9
50	-24,6	-24,4	-24,4	-24,4	-24,6	-24,8
60	-24,5	-24,3	-24,3	-24,3	-24,4	-24,7
70	-24,4	-24,2	-24,2	-24,3	-24,2	-24,6
80	-24,3	-24,2	-24,1	-24,2	-24,3	-24,5
90	-24,2	-24,1	-24,1	-24,2	-24,3	-24,4
100	-24,1	-24,0	-24,1	-24,1	-24,3	-24,4
110	-24,0	-23,9	-24,0	-24,1	-24,2	-24,3
120	-23,9	-23,9	-23,9	-24,1	-24,2	-24,3
130	-23,8	-23,8	-23,9	-24,0	-24,2	-24,3
140	-23,7	-23,8	-23,9	-24,0	-24,1	-24,2
150	-23,6	-23,8	-23,8	-23,9	-24,1	-24,2
160	-23,5	-23,7	-23,8	-23,9	-24,1	-24,2
170	-23,3	-23,6	-23,6	-23,9	-24,0	-24,2
180	-23,2	-23,3	-23,5	-23,8	-23,9	-24,2
190	-23,3	-23,4	-23,6	-23,6	-23,9	-24,1
200	-23,4	-23,5	-23,7	-23,7	-23,9	-24,0
210	-23,5	-23,6	-23,7	-23,8	-24,0	-24,1
220	-23,6	-23,7	-23,8	-23,9	-24,0	-24,0
230	-23,6	-23,8	-23,7	-24,0	-24,1	-24,0
240	-23,7	-23,8	-23,8	-24,0	-24,1	-24,2
250	-23,8	-23,8	-23,9	-24,0	-24,1	-24,3
260	-23,7	-23,8	-24,0	-24,1	-24,2	-24,3
270	-23,8	-23,9	-24,0	-24,0	-24,3	-24,4
280	-23,8	-24,0	-24,1	-24,0	-24,3	-24,4
290	-23,9	-24,0	-24,1	-24,2	-24,4	-24,5
300	-24,0	-24,0	-24,1	-24,3	-24,4	-24,5
310	-24,1	-24,1	-24,2	-24,3	-24,5	-24,5
320	-24,2	-24,2	-24,2	-24,4	-24,5	-24,5
330	-24,3	-24,3	-24,3	-24,4	-24,6	-24,6
340	-24,4	-24,4	-24,4	-24,5	-24,6	-24,6
350	-24,5	-24,4	-24,5	-24,6	-24,6	-24,7

Как можно заметить при семисотой сборке-разборке конического соединения имеют место отклонения формы профиля, которые выходят за границы допустимых значений для заданного качества точности изготовления конической оправки. Это означает потерю оправкой работоспособности и невозможность ее дальнейшей нормальной эксплуатации.

Точку перехода от годной детали (оправки) к «бракованной» будем рассматривать в качестве момента разладки при воспроизведении формы профиля поперечного сечения при имитационном моделировании. Для отслеживания этого момента, применим метод последовательных кумулятивных сумм [2, 4, 9].

Пусть $x_0, x_1, x_2, \dots, x_i, \dots$ – случайные величины, описывающие абсолютные величины выборочных средних для отклонений формы профиля оправки по всем направлениям измерений после каждой сотой сборки-разборки конического соединения. Будем считать, согласно принятым в машиностроении правилам [6], до момента разладки они подчиняются нормальному распределению с функцией плотности вида:

$$p_0 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a_0)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (3)$$

где $a_0 = 10,2$.

После момента разладки – нормальному закону с плотностью распределения вида:

$$p_1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a_1)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (4)$$

где $a_1 = 35,9$.

Суть метода кумулятивных сумм в рамках рассматриваемой математической модели заключается в исследовании поведения специальным образом генерируемой числовой последовательности случайных величин. Нулевой член последовательности примем равным исходному математическому ожиданию отклонения формы $S_0 = x_0$, определённому соотношением (1). Начиная с первого, члены последовательности рассчитываем по формуле вида:

$$S_n = \max\left\{1, S_{n-1} \cdot \frac{p_1(x_n)}{p_0(x_n)}\right\}, \text{ где } n \geq 1 \quad (5)$$

Момент разладки регистрируется, как только значение S_n впервые превысит некоторый заранее определённый уровень μ , причём $1 \leq S_0 < \mu$. Этот уровень задаётся таким образом, чтобы минимизировать среднее время задержки и в то же время максимизировать среднее время между ложными срабатываниями.

Среднее время задержки определяется рекуррентно следующим образом

$$\pi_1(x) = 1 - F\left(-\frac{a_1 - a_0}{2\sigma} + \frac{\sigma \ln \frac{\mu}{x}}{a_1 - a_0}\right), \quad (6)$$

где $F(x)$ – функция стандартного нормального распределения. При $n \geq 2$

$$\begin{aligned} \pi_n(x) = & \pi_{n-1}(1) \cdot F\left(-\frac{a_1 - a_0}{2\sigma} - \frac{\sigma \ln x}{a_1 - a_0}\right) + \\ & + \int_{-\frac{a_1 - a_0}{2\sigma} - \frac{\sigma \ln x}{a_1 - a_0}}^{\frac{a_1 - a_0}{2\sigma} - \frac{\sigma \ln(\mu/x)}{a_1 - a_0}} \pi_{n-1}\left(x \cdot e^{\frac{t(a_1 - a_0)}{\sigma} + \frac{(a_1 - a_0)^2}{2\sigma^2}}\right) \cdot \varphi(t) dt \end{aligned} \quad (7)$$

где $\varphi(t)$ – функция плотности стандартного нормального распределения.

Среднее время между ложными тревогами задаётся соотношениями вида:

$$\hat{\pi}_1(x) = 1 - F\left(\frac{a_1 - a_0}{2\sigma} + \frac{\sigma \ln \frac{\mu}{x}}{a_1 - a_0}\right) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \hat{\pi}_n(x) = & \hat{\pi}_{n-1}(1) \cdot F\left(\frac{a_1 - a_0}{2\sigma} - \frac{\sigma \ln x}{a_1 - a_0}\right) + \\ & + \int_{\frac{a_1 - a_0}{2\sigma} - \frac{\sigma \ln x}{a_1 - a_0}}^{\frac{a_1 - a_0}{2\sigma} + \frac{\sigma \ln(\mu/x)}{a_1 - a_0}} \hat{\pi}_{n-1}\left(x \cdot e^{\frac{t(a_1 - a_0)}{\sigma} - \frac{(a_1 - a_0)^2}{2\sigma^2}}\right) \cdot \varphi(t) dt \end{aligned} \quad (9)$$

С помощью численного моделирования и установлено, что для построенной

$$\pi_n(x) \quad \hat{\pi}_n(x)$$

имитационной модели отклонений формы профиля оправки наилучшим образом подходит порог $\mu = 100$.

Получена следующая числовая последовательность:

$$\begin{aligned} S_0 &= 10,2, \\ S_1 &= \max\left\{1, S_0 \cdot \frac{p_1(x_1)}{p_0(x_1)}\right\} = \max\left\{1, 10,2 \cdot \frac{p_1(13,0922)}{p_0(13,0922)}\right\} = 1, \\ S_2 &= \max\left\{1, S_1 \cdot \frac{p_1(x_2)}{p_0(x_2)}\right\} = \max\left\{1, 1 \cdot \frac{p_1(15,6877)}{p_0(15,6877)}\right\} = 1, \\ S_3 &= \max\left\{1, S_2 \cdot \frac{p_1(x_3)}{p_0(x_3)}\right\} = \max\left\{1, 1 \cdot \frac{p_1(17,9867)}{p_0(17,9867)}\right\} = 1, \\ S_4 &= \max\left\{1, S_3 \cdot \frac{p_1(x_4)}{p_0(x_4)}\right\} = \max\left\{1, 1 \cdot \frac{p_1(19,989)}{p_0(19,989)}\right\} = 1, \\ S_5 &= \max\left\{1, S_4 \cdot \frac{p_1(x_5)}{p_0(x_5)}\right\} = \max\left\{1, 1 \cdot \frac{p_1(21,6946)}{p_0(21,6946)}\right\} = 1, \\ S_6 &= \max\left\{1, S_5 \cdot \frac{p_1(x_6)}{p_0(x_6)}\right\} = \max\left\{1, 1 \cdot \frac{p_1(23,1036)}{p_0(23,1036)}\right\} \approx 3075,58. \end{aligned}$$

Как можно видеть, шестое значение превышает заданный порог (рис.2). Это означает, что после шестисотой сборки-разборки конического соединения необходимо внести изменения в имитационную модель отклонений формы профиля конической оправки, поскольку к моменту следующего измерения она уже станет технологически непригодной.

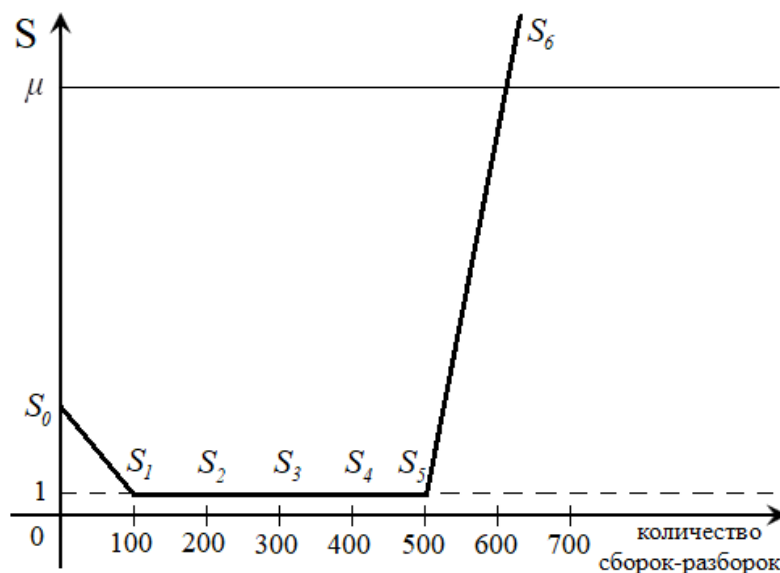


Рис. 2 – Поведение числовой последовательности S_n в зависимости от количества сборок-разборок соединения

Заключение

1. Проведенные исследования пригодности оправок конического соединения типа SK при фиксации в осевом направлении по силе закрепления равной 1400 Н показали, что в условиях многократной сборки-разборки соединения происходит изменение рельефа поверхности конической оправки в результате изнашивания.

2. Установлено, что момент разладки наступает после 700 сборки-разборки конического соединения при воспроизведении реальной формы профиля оправки типа SK конусом 30 используемой на операции растачивание.

Список литературы

1. Ильиных В.А. Статистическая оценка погрешности формы конических валов (на примере оправки NSK 30-27) / В.А. Ильиных, Н.А. Пшеничникова // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы восьмой международной научно-практической конференции, 28 марта – 01 апреля 2017 г. - Иркутск: В 2 т., т.1- Иркутск: ИрГУПС, 2017, С. 431-437
2. Мазалов В.В. Метод кумулятивных сумм для обнаружения вторжений и борьбы с ними / В.В. Мазалов, Н.Н. Никитина // Программирование. №6. – 2014, С. 54-61.
3. Никифоров И.В. Применение кумулятивных сумм для обнаружения изменения характеристик случайного процесса // Автоматика и телемеханика. – 1979. – №2. – С. 48-58.
4. Mazalov V.V., Zhuravlev D.N. A method of cumulative sums in the problem of detection of traffic changes in computer networks // Programming and Computer Software. 2002. Т. 28. № 6. С. 342-348.
5. Пшеничникова Н.А. Применение метода кумулятивных сумм при оценке погрешности формы профильных валов / Н.А. Пшеничникова, Н.В. Пешков, В.А. Ильиных // Научно-технический вестник Поволжья. №1 2019г. – Казань: ООО «Научно-технический вестник Поволжья», 2019 – С. 126-128.
6. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учебное пособие / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 5-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2011. – 448 с.
7. Липцер Р.Ш. Статистика случайных процессов / Р. Ш. Липцер, А. Н. Ширяев. - М.: Наука - 1974. - 696 с.
8. Линейцев В.Ю., Ильиных В.А. Учет износа при имитационном моделировании сборки РК-3 профильных конических соединений // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 2 (54). С. 26-30.
9. Ширяев А.Н. Стохастические задачи о разладке. Электронное издание. М.: МЦНМО, 2017. 391 с.

1.2.2.

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

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВРЕДОНОСНОЙ АКТИВНОСТИ В ВЕДОМСТВЕННЫХ СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В работе приводится подход к построению системы обнаружения аномалий в ведомственных сетях передачи данных, построенной на основе искусственной нейронной сети. Рассмотрена архитектура сети с долгой краткосрочной памятью, описана технология предотвращения вторжений, предложен вариант адаптации нейросетевой системы выявления вредоносной активности к изменяющимся условиям.

Ключевые слова: *искусственная нейронная сеть, модель сети с долгой краткосрочной памятью, информационная безопасность, система обнаружения вторжений.*

В настоящее время использование в служебной деятельности сотрудников УИС сетевых технологий, глобальных и локальных компьютерных сетей позволяет существенно повысить оперативность выполнения задач, однако неотъемлемым сопутствующим явлением становится возрастание угроз информационной безопасности, включая несанкционированное получение или изменение информации, несанкционированный доступ в ведомственные информационные системы, атаки типа «отказ в обслуживании» и др.

Одним из действенных инструментов выявления инцидентов безопасности является применение аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС). ИНС имеют широкие перспективы применения при создании современных систем обнаружения вторжений (далее - СОВ) [1]. Вместе с тем имеющиеся готовые нейросетевые средства предотвращения вторжений могут быть развернуты далеко не во всех средах, что приводит к необходимости разработки специализированных СОВ, способных к адаптации и самообучению в соответствии с изменяющимися условиями на расширяемом обучающем наборе данных. В работе приводится подход к построению нейросетевой СПВ на основе LSTM-сети. СОВ представляет собой множество различных программных и аппаратных средств, общей задачей которых служит анализ использования сетевых ресурсов и выдача тревожного сообщения при появлении подозрительных либо нетипичных событий, что обеспечивает возможность по обнаружению, идентификации и устранению причин инцидентов безопасности [2]. К активностям, которые могут быть выявлены в результате проведения мониторинга со стороны СПВ, относятся атаки на информационные системы (АИС), представляющие собой целенаправленные действия злоумышленника, эксплуатирующие уязвимости информационной системы и приводящие к нарушению конфиденциальности, целостности и доступности обрабатываемой информации [2]. В рассматриваемой работе средством выявления АИС служит искусственная нейронная сеть, обученная на наборах данных, соответствующих штатной ситуации сетевой активности, а также данных, свидетельствующих о возникновении аномалии в компьютерной сети. Выбор архитектуры ИНС является важнейшим шагом при создании нейросетевых СОВ, определяющим точность и быстродействие работы системы обнаружения аномалий.

Рассматривается применение ИНС долгой краткосрочной памяти для построения СОВ в ведомственной информационно-телекоммуникационной сети [3]. ИНС долгой

Принцип работы слоя описывают следующие соотношения:

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f), \hat{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c). \quad (2)$$

Значения i_t служат для определения части информации, которую предстоит добавить в состояние ячейки на текущем этапе, $\hat{C}_t$ – данные, поступающие на вход слоя, над которыми совершили операции умножения, сложения и применили нелинейную функцию активации. Функция гиперболического тангенса $\tanh$ обеспечивает возможность нормировки. По окончании прохождения информации через вышеописанные фильтры обновленное состояние ячейки может быть описано соотношением:

$$C_t = f_t \cdot C_{t-1} + i_t \cdot \hat{C}_t. \quad (3)$$

Для определения набора данных, подаваемых на выход сети, предназначен слой выходного фильтра. Описание его работы имеет вид:

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o), h_t = o_t \cdot \tanh(C_t). \quad (4)$$

СОВ на основе LSTM-сети может быть обучена на открытом датасете KDD – 99 [5]. Указанная база данных содержит записи, представляющие собой последовательность TCP – пакетов (время передачи конечно, моменты начала и конца сессии строго определены, пакеты передаются с IP-адреса источника на IP-адрес приемника и обратно с использованием выбранного протокола). Каждая запись датасета содержит 41 параметр трафика и метку «атака»/«атаки нет». Применение LSTM-сети обеспечивает возможность построения классификатора с высоким быстродействием и допустимой величиной ошибки. Важным фактором является учет возможности адаптации нейросетевой СОВ к меняющимся условиям. Схема процесса адаптации СОВ отображена на рис. 4.



Рис. 4 – Адаптация СОВ на базе нейронной сети

Таким образом, для построения специализированных СОВ для обеспечения информационной безопасности эффективно применение ИНС с архитектурой LSTM и создание механизма адаптации системы к изменению внешних условий, с возможностью самообучения системы защиты при участии и под контролем уполномоченных лиц, например, администраторов безопасности.

Список литературы

1. Свистунов И. Ситуационный подход к управлению безопасностью объектов // Технологии защиты. 2015. №5.
2. Елтунова И.Б., Нестеров А.С. Система обнаружения сетевых вторжений на основе алгоритмов искусственного интеллекта // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. № 11. С. 175-178.
3. Заворина Л.Д., Селифанов В.В. Разработка системы защиты информации значимого объекта критической инфраструктуры Российской Федерации // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета, 2019. № 1(94). С. 123-131.
4. Андреева Е.А., Кратович П.В. Оптимизация нейронных сетей. Тверь: Твер. гос. ун-т. 2015. 116 с.
5. Шабуров А.С. О разработке модели обнаружения компьютерных атак на объекты критической информационной инфраструктуры // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2018. № 26. С. 198-213.

1.2.2.

С.В. Шилова канд. техн. наук, П.В. Кожевникова канд. техн. наук, А.А. Чувашов

Ухтинский государственный технический университет,
факультет экономики, управления и информационных технологий,
кафедра вычислительной техники, информационных систем и технологий,
Ухта, sshlova@bk.ru, aira_dark@list.ru, sid_artur@mail.ru

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАЗЦОВ
ОТРАБОТАННЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ НЕЧЕТКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

В работе освещена проблема выявления отклонений рабочих параметров агрегатов автотранспортных средств от норм заводов-изготовителей на ранних стадиях посредством периодической диагностики отработанных смазочных материалов. Рассмотрена технология диагностики отечественных авторов. Для повышения точности диагностики и прогнозирования остаточного ресурса смазочных материалов предложено использование математического аппарата, основанного на элементах теории нечеткого моделирования.

Ключевые слова: диагностика агрегатов транспортных средств, нечеткое моделирование, смазочные материалы.

Одной из важнейших задач при эксплуатации транспортных средств является качественная и своевременная диагностика технического состояния их агрегатов, поскольку выявление проблем на начальных стадиях позволяет предотвратить выход техники из строя, а также сократить временные и финансовые затраты на ее ремонт. Это является особенно актуальным при коммерческой эксплуатации транспортных средств, так как такая эксплуатация предполагает большие наработки моточасов и пробег автомобилей.

В настоящее время, как за рубежом, так и в России активно распространяется принцип диагностики состояния узлов и агрегатов транспортных средств по анализам отработанных смазочных материалов: моторных, трансмиссионных масел и т.д., проводящийся на регулярной основе через определенные интервалы пробега либо выработанных техникой моточасов [1]. К достоинствам такого метода можно отнести:

- отсутствие необходимости разбора узлов для диагностики;
- возможность обнаружения отклонений в работе на ранних стадиях;
- выполнение диагностики образцов смазочных материалов (нет необходимости доставки автомобиля к пункту диагностики);
- возможность выявления фактического наличия либо потери смазочными материалами эксплуатационных свойств (определение контрафактной, либо не удовлетворяющей рабочему режиму агрегата продукции).

Анализ опубликованных работ демонстрирует наличие исследований в данной области. Так, авторами работы [2] создана система цифрового мониторинга транспорта. В узел автомобиля (двигатель внутреннего сгорания, коробка переключения передач, редукторы) устанавливается созданный датчик, улавливающий появляющиеся в масле металлические частицы – продукты износа компонентов узла. Существуют нормы присутствия данных частиц, отраженные в таблице 1. Затем, посредством беспроводного протокола Bluetooth, в соответствие с заданным интервалом, происходит передача показаний ответственному лицу для мониторинга и принятия мер реагирования.

Таблица 1 – Нормальные и предельно допустимые концентрации частиц

№	Агрегат	Содержание частиц железа	
		Нормальное значение, мг/л масла, не более	Предельно допустимое значение, мг/л масла
1	Гидравлические механизмы и системы	10	30
2	Двигатель внутреннего сгорания (ДВС)	30 (бензиновый ДВС) 60 (дизельный ДВС)	150 (бензиновый ДВС) 300 (дизельный ДВС)
3	Компрессоры	25	50
4	Механические трансмиссии	80	200
5	Турбинные агрегаты	20	30

Алгоритм, реализованный в программном обеспечении данного комплекса, позволяет выполнять прогнозирование дальнейших свойств смазочных материалов, и, следовательно, рекомендовать необходимость их замены по фактическим данным, а не по регламентированным интервалам. К недостатку данного алгоритма можно отнести базирование на статистических данных, что влечет наследование ошибок, нередко заключающихся в массиве данных. Альтернативой, позволяющей исключить недостоверные сведения, является применение теории нечеткого моделирования. Для проведения экспериментов необходимо воспользоваться представленными в работе [3] данными выполненных замеров и прогнозов, а затем провести собственные вычисления с применением созданного математического аппарата.

Представленные далее расчеты проведены с использованием программного комплекса, разработанного авторами статьи на языке программирования C#, вывод графических результатов осуществлялся в среде MatLab.

Алгоритм решения задачи оценки достоверности исходных данных состоит из двух этапов:

- на первом этапе решается задача расположения источников;
- на втором – подбор веса источников.

Первый этап

Для определения местоположения источников на сетке воспользуемся алгоритмом кластеризации. Кластеризация – это разбиение исходных данных на кластеры. Кластеры представляют из себя группы со схожими характеристиками, которыми, в нашем случае, являются значения одновременно измеренных параметров.

В основе алгоритмов кластеризации лежит критерий сравнения объектов, которым, как правило, является расстояние. Для расчета расстояния была выбрана метрика квадрата евклидова расстояния (ρ) между объектами x и x' :

$$\rho(x, x') = \sum_i^n (x_i - x'_i)^2, \quad (1)$$

где n – количество характеристик объекта.

В качестве алгоритма кластеризации для решения поставленной задачи был выбран метод k -средних, позволяющий построить оптимальное решение (выбор координат источников) на основе минимизации суммарного квадратичного отклонения объектов кластера от центров данных кластеров:

$$\min_C \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M \rho(a_i, s^k), \quad (2)$$

здесь $C = \{s^k; k = 1 \div K\}$ – набор кластеров.

Входными данными для решения задачи кластеризации являются вектор значений параметров и количество источников.

Второй этап

Для решения задачи (2) в рамках второго этапа с целью расчета весов источников в точках (центров кластеров), полученных на первом этапе, можно воспользоваться алгоритмом Хука-Дживса. Данный метод относится к методам прямого поиска экстремума функции и состоит из исследующего поиска и поиска по образцу [4].

Проведение экспериментальных расчетов

В качестве исходных данных для исследования были выбран графики зависимости содержания частиц износа от пробега двигателя внутреннего сгорания в трех образцах моторного масла разных одного и того же класса (10W40 API SG/CD) разных производителей (рис. 1). По утверждениям авторов [3], данные значения получены путем исследования реальных образцов масел.

Затем, с помощью программы Graph2Digit, была произведена оцифровка данных графиков в таблицы Microsoft Excel. На следующем шаге данные таблицы загружались в созданный программный комплекс, и производился расчет.

Для вычислений была выбрана расчетная сетка S размером 50×50 (согласно проводившимся ранее исследованиям по подбору расчетной сетки [5]). На рис. 2-4 представлены результаты.

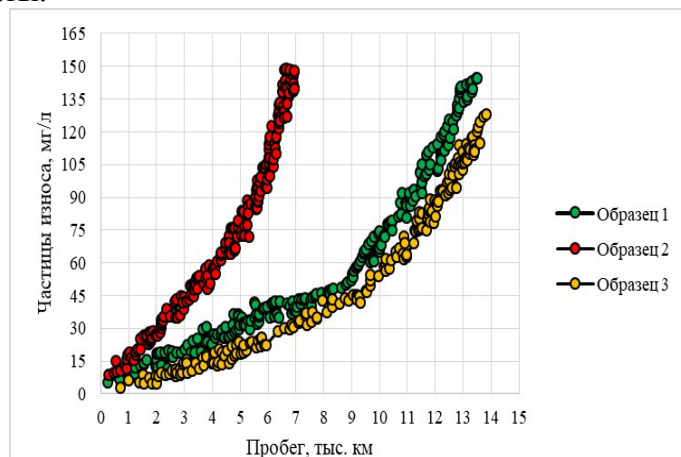


Рис. 1 – Данные по исследованиям образцов моторного масла

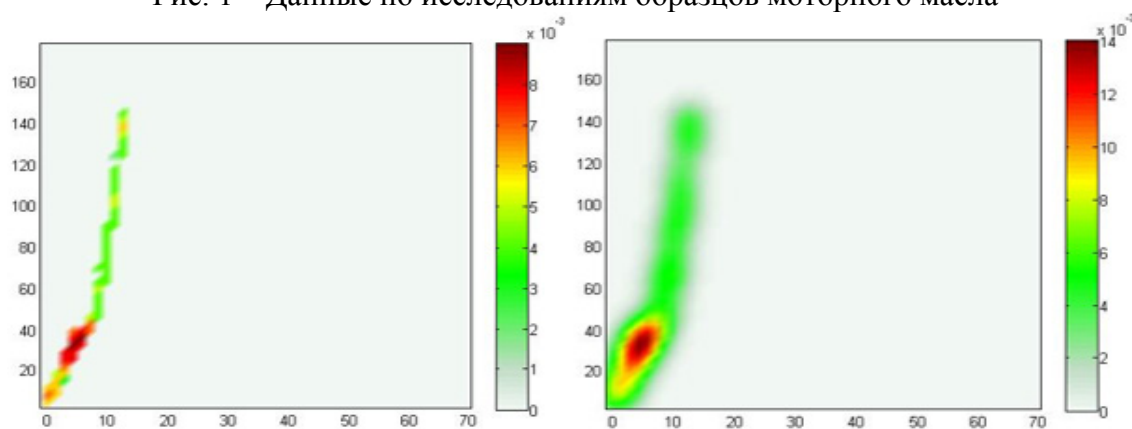


Рис. 2 – Исследование исходных данных образца моторного масла 1: карта источников (слева), поле рассеяния (справа)

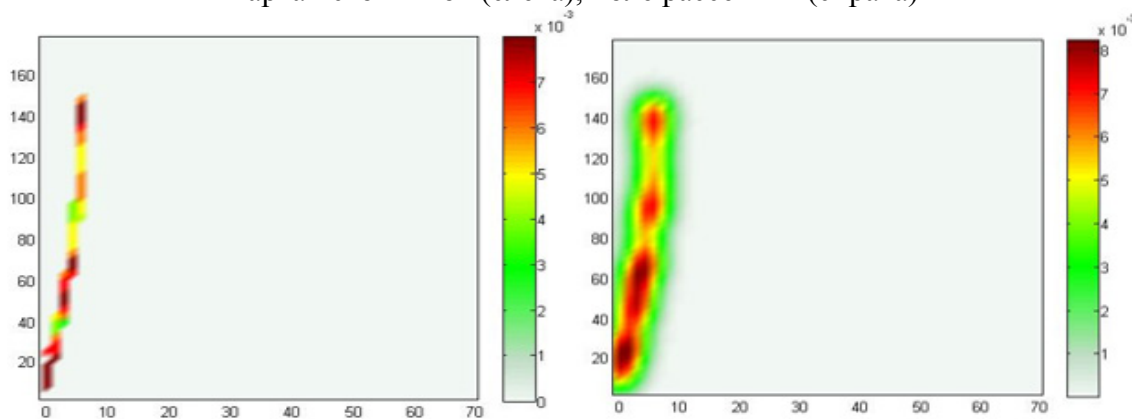


Рис. 3 – Исследование исходных данных образца моторного масла 2: карта источников (слева), поле рассеяния (справа)

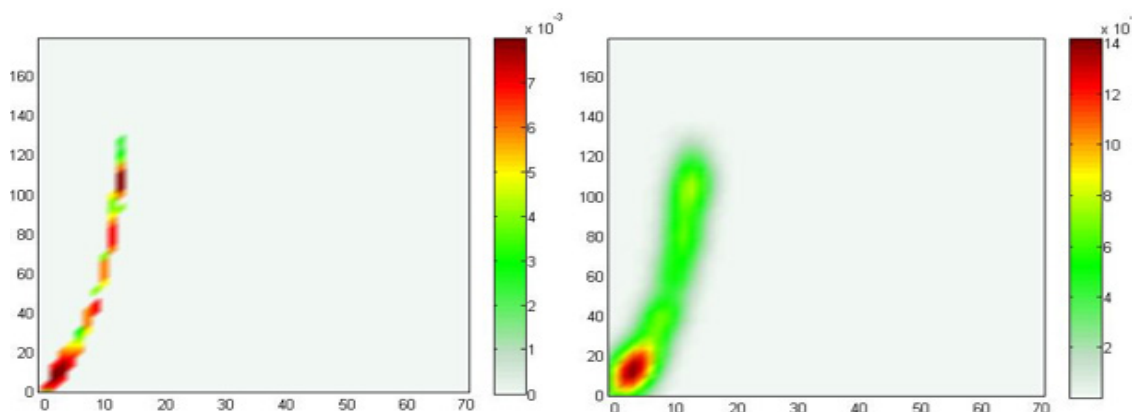


Рис. 4 – Исследование исходных данных образца моторного масла 3:
карта источников (слева), поле рассеяния (справа)

Карта источников отображает местоположение источников, полученное на первом этапе, и веса источников, полученные на втором этапе. Поле рассеяния является основой представления данных в форме нечетких отношений и используется для оценки алгоритма сжатия информации путем сравнения данного поля с картой плотности. Вертикальная цветовая шкала справа на рисунках отображает числовые значения источников и поля рассеяния в палитру.

Анализируя результаты анализов образцов моторных масел, можно сделать вывод о том, что образец №2 потерял удовлетворительные смазочные свойства, проработав около 60% от заявленного ресурсного времени. Для вынесения окончательного заключения необходима дополнительная информация об условиях эксплуатации, а также о происхождении данного масла. По общей оценке остальных образцов, видно, что количество металлических частиц в масле увеличивается прямо пропорционально пробегу.

В ходе выполнения экспериментальных расчетов были сделаны следующие выводы:

- 1) Для распределения источников информации при представлении набора одновременно измеренных значений параметров можно использовать алгоритм кластеризации, в частности, основанный на метрике квадрата евклидова расстояния.
- 2) Для расчета весов источников допустимо использовать метод Хука-Дживса.
- 3) Алгоритм, созданный изначально для решения задач нефтяной промышленности, допустимо использовать в прикладных областях естественных наук, что свидетельствует об его универсальности.

Следующий этап исследований - определение критерия уменьшения количества источников.

Список литературы

1. Криони Н.К., Мигранов М.Ш., Нигматуллин Р.Г., Мигранов А.М. Смазочные материалы в машинах и при лезвийной обработке: учеб. пособие. М.: Инновационное машиностроение, 2018. - 221 с.
2. Мигранов А.М. Мониторинг состояния узлов трения по анализу смазочных материалов // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». № 2 (10), 2021. – С. 29-38.
3. Салахов Т.З., Мигранов М.Ш., Нигматуллин Р.Г. Увеличение эффективности технического обслуживания промышленного оборудования на основе анализа состояния масла // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 5. № 2. С. 50–54.
4. Хук Р., Дживс Т.А. «Прямой поиск решения для числовых и статических проблем». – М. : Мир, 1961. – С. 212-219.
5. Кожевникова П.В., Кунцев В.Е., Чувашов А.А. Влияние шага расчетной сетки при построении функций принадлежности отношений между петрофизическими параметрами // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2021. – №7. – С. 65-70.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ — 2.3.1.****2.3.1.****В.В. Андреев, В.О. Фурман, И.В. Демарев, Н.С. Любавин, Н.С. Пугачев, С.А. Антонов**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»,
Образовательно-научный институт ядерной энергетики и технической физики
им. академика Ф.М. Митенкова,
кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки»,
Нижний Новгород, react@nntu.ru

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ ОБОБЩЕННОГО АНАЛИЗА**

В данной статье рассмотрены исследования по оценке гидравлических характеристик циркуляционных контуров, результаты которых используются для обоснования надежности и безопасности ядерных энергетических установок (ЯЭУ) стационарного и транспортного назначения. Представлены основные характеристики некоторых экспериментальных стендов. Высокая стоимость получения подобных экспериментальных данных заставляет разрабатывать методы прогнозирования показателей гидравлического сопротивления, в том числе, на основе обобщенного анализа. Показана возможность уточнения методов прогнозирования с использованием процедуры обобщения экспериментальных данных.

Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, испытания, обобщение экспериментальных данных, верификация, прогнозирование.

Надежная и безопасная эксплуатация стационарных ЯЭУ и ЯЭУ транспортного назначения обеспечивается их расчетно-теоретическим и экспериментальным обоснованием. Гидравлическое сопротивление реакторной установки является одной из важнейших характеристик, определяющих ее теплотехническую надежность и безопасность работы. От величины гидравлического сопротивления зависит производительность главного циркуляционного насоса, надежность охлаждения активной зоны, запас до всплытия ТВС как при нормальном режиме работы РУ, так и в переходных режимах [1]. Практическая реализация режимов естественной циркуляции (ЕЦ) как для основных циркуляционных трактов энергетической установки, так и для систем пассивного отвода тепла, требуют тщательного изучения теплогидродинамических особенностей режимов ЕЦ теплоносителя, как без кипения, так и с его кипением [2,3].

Для обоснования теплотехнической надежности ТВЭЛ и трубной системы парогенератора также важно определение гидравлического сопротивления при продольном и поперечном обтекании пучков труб различной конструкции в рамках исследования гидравлического сопротивления ТВЭЛ, ТВС и трубной системы ПГ с гладкой поверхностью [4-6] или поверхностью, на которую по конструктивным соображениям или с целью интенсификации теплообмена наносят искусственные шероховатости [7].

Определение индивидуальных проливочных характеристик ТВС [8], а также получение экспериментальных данных о гидродинамических параметрах проточных частей теплообменного оборудования и реакторных установок [9] важно для эффективного проектирования и, в конечном итоге, для надежной и эффективной работы основного технологического оборудования ЯЭУ.

Экспериментальное определение гидравлических характеристик контуров циркуляции представляет собой сложную задачу. В настоящее время сложилась практика разделения всего комплекса экспериментальных работ на различные этапы или, точнее, уровни исследования. Первоначально исследуются отдельные сложные элементы проточной части отдельных конструктивных элементов контуров циркуляции. Следующим уровнем экспериментального исследования является моделирование контура циркуляции и определение гидравлического сопротивления на параметрах теплоносителя более низких, чем рабочие и, наконец, эти работы выполняются на рабочих параметрах теплоносителя. В качестве примера по моделированию отдельных элементов проточной части основного технологического оборудования ЯЭУ можно привести эксперименты на раздающих коллекторных системах, в которых активную зону, расположенную на выходе из коллектора, имитируют трубным пучком относительно малой длины с установленными в выходной части дросселирующими диафрагмами [9,10]. В качестве примера контура циркуляции с низкими, по сравнению с рабочими, параметрами теплоносителя можно привести экспериментальный стенд “Циркуляционная петля” ИАТЭ НИЯУ МИФИ, который используют для проведения теплогидравлических испытаний ТВС и имитаторов рабочих каналов и моделей реакторов. Длина основного контура циркуляции этого стенда составляет 45 м, теплоноситель основного контура – вода, давление на выходе из насоса 3 атм, а рабочая температура может находиться в диапазоне от 10 до 75 градусов [11]. В качестве экспериментальной установки с теплоносителем, параметры которого близки к рабочим, можно отметить стенд ПСБ-ВВЭР АО “Электрогорский научно-исследовательский центр по безопасности атомных электростанций” (АО “ЭНИЦ”), созданный, как крупномасштабная интегральная установка подобная первому контуру АЭС с реактором ВВЭР – 1000/1200, для исследования теплогидравлики реакторных установок в стационарных, переходных и аварийных режимах. Давление теплоносителя в системе составляет до 18МПа, температура теплоносителя от 20 до 350 градусов [11].

Обилие вариантов конструктивного исполнения элементов основного технологического оборудования ЯЭУ, возможные отклонения от предусмотренных первоначально в проекте вариантов их исполнения, варьирование параметров рабочей среды в условиях нормальной эксплуатации, при переходных и аварийных режимах, все это объясняет значительный объем работ, необходимых для экспериментального обоснования принятых конструктивных решений. Во многих случаях расчетное обоснование тех или иных конструкторских решений также требует выполнения многочисленных верификационных экспериментов, как минимум, при разработке или адаптации к условиям решаемой задачи расчетных программ.

Полученные экспериментальные результаты используются для обоснования конкретной конструкции. Вместе с тем, использование полученных результатов применительно к другим вариантам исполнения затруднено и требует либо повторения экспериментов с учетом конструктивных особенностей, что, очевидно требует значительных материальных затрат и затрат времени, либо требует использования каких-либо методов обобщения информации с целью разработки, в конечном итоге, методов прогнозирования. В большинстве таких методов используются положения теории подобия, анализ размерностей и метод характеристических масштабов, которые представляют собой различные направления обобщенного анализа. Методы обобщенного анализа [12] представляют собой вариант особого способа уменьшения трудностей, связанных с множественностью внутренних и внешних параметров задачи. Преобразование параметров задачи с переходом к их безразмерным аналогам позволяет получить более удобные для аналитического описания формы зависимостей между исследуемыми величинами, выполнять прогнозирование поведения исследуемой системы, а затем, после восстановления традиционной формы параметров из их приведенных аналогов, сформулировать рекомендации по использованию полученного прогноза в конкретной инженерной системе. Варианты обобщения экспериментальных данных – различны. Например, обобщение выполняется путем формального объединения полученных в различных условиях экспериментальных

результатов в составе одной зависимости с очевидной потерей чувствительности полученных показателей к менее важным, для решаемой задачи, условиям [8]. Или обобщение осуществляется путем использования нормирования показателей гидравлического сопротивления на показатели гидравлического сопротивления существенные для решаемой задачи. Например, в [13] рассматривается отношение коэффициента гидравлического сопротивления исследуемых труб к аналогичному коэффициенту в прямой трубе при турбулентном режиме течения. В [6] при сопоставлении с целью анализа результатов гидравлического сопротивления в ребристых пучках рассматривается его отношение к коэффициенту гидравлического сопротивления для гладкого пучка с тем же шагом, а там, где нет данных для гладкого пучка, используется коэффициент сопротивления ребристого пучка с большим шагом навивки ребер. В [14] систематизированы результаты экспериментального исследования теплогидравлических характеристик теплообменных труб с внутренним спиральным оребрением и представлено целое “семейство” аппроксимирующих выражений для различных по конструкции труб теплообменных аппаратов. В [4] представлены результаты экспериментов по проливке теплообменников различных конструкций, в том числе, с криволинейными каналами, с использованием в качестве параметров обобщенной зависимости – комплексов гидравлического сопротивления и числа Рейнольдса, сформированных с использованием диаметра криволинейного канала и эквивалентного диаметра его навивки. Все подобные преобразования позволяют получить более простые для использования аналитические зависимости между приведенными значениями коэффициентов гидравлического сопротивления и числами Рейнольдса, однако их универсальность относительна и чаще всего они применимы к определенным условиям испытаний, параметрам теплоносителя, конструктивным особенностям контуров циркуляции. Большей степени универсальности можно ожидать в случае рассмотрения процедуры приведения (нормирования) применительно и к показателям гидравлического сопротивления, и к числам Рейнольдса, при последующем сопоставлении этих приведенных показателей гидравлического сопротивления с углом наклона левой ветви кривой гидравлического сопротивления в случае представления результатов экспериментов в логарифмической системе координат [15].

Предварительная обработка экспериментальных кривых с целью получения указанных выше приведенных показателей гидравлического сопротивления, позволяет добавлять новые точки на зависимость приведенных показателей гидравлического сопротивления и уточнять параметры обобщенной зависимости, используя результаты теплогидравлических экспериментов, в том числе и опубликованные в литературе. Обобщенная же зависимость, в свою очередь, может быть использована для прогнозирования кривой гидравлического сопротивления исследуемого контура циркуляции с целью сокращения объема экспериментальных работ по его проливке.

Список литературы

1. Ульяновский Д.В. Контроль гидравлических характеристик реакторной установки средствами СПНИ при вводе АЭС в эксплуатацию / Д.В. Ульяновский, Д.В. Зайцев, А.И. Чуркин, А.В. Селезнев, Хайретдинов // АО ОКБ “Гидропресс” г. Подольск, “6-я Международная научно-практическая конференция «Ввод АЭС в эксплуатацию». Сборник тезисов, г. Москва, 28 сентября 2022. С.14.
2. Благовещенский А.Я. Распределение расхода теплоносителя в парогенераторе в режимах его естественной циркуляции / А.Я. Благовещенский, В.Л. Леонтьева, А.Г. Митрюхин // Атомная энергия. Том.83, вып.3. 1997. С.169-174.
3. Будников В.И., Сабаев Е.Ф. Об устойчивости естественной циркуляции в контуре с кипением теплоносителя / В.И. Будников, Е.Ф. Сабаев // Атомная энергия. Том 56, вып.2. 1984. С.74-77.
4. Богданов Ф.Ф. Исследование гидравлических сопротивлений в пучках гладких труб при продольном обтекании / Ф.Ф. Богданов // Атомная энергия. Том 23, вып.1. 1967. С. 46-47.
5. Субботин В.И. Гидравлическое сопротивление при продольном обтекании жидкостью пучков стержней / В.И. Субботин, П.А.Ушаков, Б.Н. Габрианович // Атомная энергия. Том.9, вып.4. 1960. С.308-310.
6. Субботин В.И. Гидравлическое сопротивление при продольном обтекании пучков гладких и оребренных стержней / В.И. Субботин, Б.Н. Габрианович, А.В. Шейнина // Атомная энергия, т.33, вып.5. 1972. С. 889-892.
7. Миллионщиков М.Д. Гидравлическое сопротивление и поля скорости в трубах с искусственной шероховатостью стенок / М.Д. Миллионщиков, В.И. Субботин, М.Х. Ибрагимов, Г.С. Таранов, Л.Л. Кобзарь // Атомная энергия. Том 34, вып.4. 1973. С. 235-244.
8. Авдеев Е.Ф. Экспериментальное исследование гидравлических характеристик модифицированной ТВС реактора РБМК-1000 / Е.Ф. Авдеев, И.А. Чусов, В.А. Левченко // Известия вузов. Ядерная энергетика. №3. 2005. С. 69-85.
9. Габрианович Б.Н. Особенности экспериментального исследования гидродинамики проточных частей теплообменного оборудования и реакторных установок / Б.Н. Габрианович, В.Н. Дельнов // Атомная энергия. Том 119, вып.2. 2015. С.95-100.
10. Дельнов В.Н. Гидродинамика типичных раздающих коллекторных систем ЯЭУ: современные представления и перспективы исследования / В.Н. Дельнов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2020. № 4. С. 116-128.
11. Теплофизическая стендовая база атомной энергетики России и Казахстана / Саров: ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ”, 2016. – 160с.
12. Гухман А.А. Обобщенный анализ / А.А. Гухман, А.А. Зайцев. – Москва: Факториал. – 1998. – 303 с.
13. Будов В.М. Форсированные теплообменники ЯЭУ / В.М. Будов, С.М. Дмитриев. – М.: Энергоатомиздат. –1989. –176с.
14. Скрыпник А.Н. Гидравлическое сопротивление и теплоотдача труб с внутренним спиральным оребрением при однофазном течении теплоносителя / А.Н. Скрыпник. – Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – 2020. – 195с.
15. Андреев В.В. Преобразование характеристик гидравлического сопротивления с целью обобщения экспериментальной информации о течении жидкости в трубах / В.В. Андреев, М.В. Турченко, А.А. Абрамов // Научно-технический вестник Поволжья. №4 2012г. С. 35-37.

2.3.1.

**М.С. Аносов канд. техн. наук, Е.С. Аносова,
М.С. Трофимова канд. техн. наук, А.А. Подувальцев**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
институт промышленных технологий машиностроения,
Н. Новгород, anosov-maksim@list.ru

**КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ
СПЛАВА 04X24H13, ПОЛУЧЕННОГО ПО ТЕХНОЛОГИИ WAAM
ПРИ ИСПЫТАНИИ НА УСТАЛОСТЬ**

В работе проведено исследование особенностей деформации и разрушения сплава 04X24H13, полученного по технологии аддитивной электродуговой наплавкой. Установлена долговечность и предел выносливости исследуемого материала в диапазоне малоциклового усталости. Получена зависимость фрактальной размерности изображения микроструктуры рабочей зоны образца от его наработки для оценки остаточного ресурса материала по результатам неразрушающего контроля.

Ключевые слова: *сплав 04X24H13, WAAM, усталость, неразрушающий контроль.*

С интенсивным развитием во всем мире технологий 3D-печати металлическим порошком и проволокой, возникает необходимость внедрения данных технологий в производство для получения отдельных деталей и узлов. Однако их внедрение в значительной степени ограничивается недостаточностью сведений о микроструктуре получаемых металлов, их механических характеристиках. Мало изученным также остается вопрос поведения металлов, полученных 3D-печатью при их упругом и пластическом деформировании в процессе эксплуатации.

Одним из современных методов количественной оценки микроструктуры металлов и их неразрушающего контроля является метод фрактального анализа [1-3]. Как показывают проведенные ранее исследования с использованием показателя фрактальной размерности микроструктуры можно проводить оценку качества получаемых металлов, а также исследование процессов деформации и разрушения в процессе их упругого и пластического деформирования [1].

Среди большого количества аддитивных технологий (SLM, DMD, WAAM и др.) наиболее универсальной, экономичной и производительной является технология аддитивной электродуговой наплавки проволокой WAAM [5].

Целью данного исследования является оценка процесса деформации и разрушения сплава 04X24H13, полученного по технологии WAAM в процессе упругопластического циклического нагружения.

Образцы для исследования и испытаний были получены из сварочной проволоки ER309Lsi (Св-07X25H13) на специальном стенде для 3D-печати электродуговой наплавкой на базе портального станка с ЧПУ в среде защитного газа (CO₂) на ранее установленных режимах печати [6]. Вырезка образцов осуществлялась в продольном и поперечном направлении относительно наплавки, чтобы учесть анизотропию полученного материала. Химический состав полученных образцов соответствовал сплаву 04X24H13.

В рабочей зоне образца были получены микрошлифы. *Получение фотографий микроструктур осуществлялось с использованием микроскопа KYENCE-VHX 1000. Изображения микроструктуры рабочей зоны образца проходили обработку в среде MATLAB с последующей оценкой показателя фрактальной размерности изображения с использованием разработанной программы (Свидетельство №2022666922).*

Образцы для усталостных испытаний имели толщину 3 мм и размер рабочей зоны 60x15 мм (тип IV по ГОСТ 25.502). Образцы нагружали по схеме консольного изгиба (коэффициент асимметрии цикла $R=-1$). Испытания проводили с учетом требований ГОСТ 25.502-79 при частоте нагружения порядка 8 Гц. Нарботка образца R оценивалась, как соотношение текущего количества циклов N к количеству циклов до разрушения материала образца N^* .

Испытания на усталость для сплава 04X24H13 проводились в диапазоне амплитуд напряжений $\sigma_{\max}$ от 260 до 440 МПа (определен по результатам испытания сплава на растяжение). Полученная кривая для малоциклового усталости показана на рис. 1.

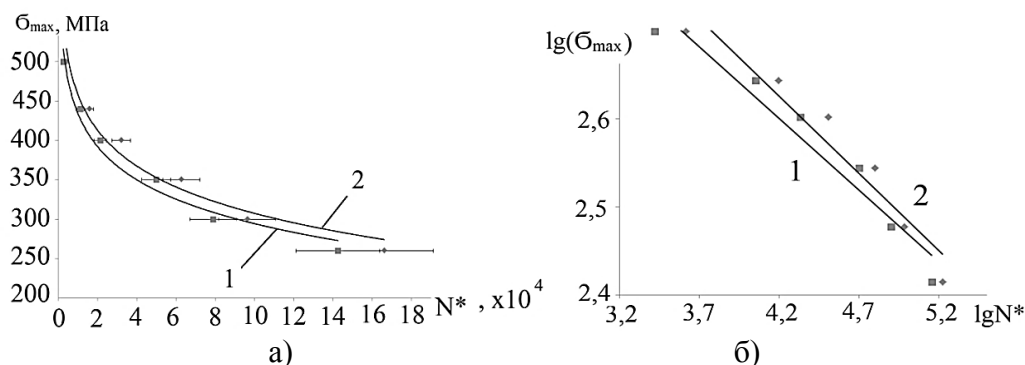


Рис. 1 – Кривые малоциклового усталости сплава 04X24H13 (в координатах $\sigma_{\max} - N^*$ (а) и двойных логарифмических (б) координатах) полученной: 1 вдоль и 2 поперек относительно направления наплавки

Согласно полученным данным (рис. 1б) определен тангенс угла наклона ($\lg(\alpha_w)$) кривой усталости в координатах $\lg \sigma - \lg N$ и предел выносливости сплава (табл. 1).

Таблица 1 – Усталостные характеристики сплава 04X24H13

Направление получения образцов относительно направления наплавки	Тангенс угла наклона $\lg(\alpha_w)$ ветки кривой усталости	Предел выносливости σ_{-1} , МПа
Вдоль (1)	0,1631	236
Поперек (2)	0,1756	242

Как следует из табл. 1, у сплава 04X24H13, полученного вдоль и поперек относительно направления наплавки сопротивляемость усталости существенно отличается, как и предел выносливости (от 10% до 30%).

В процессе усталостного нагружения микроструктура сплава претерпевает значительные изменения. Анализ микроструктур на различных этапах усталостного нагружения показывает, что на начальных этапах наблюдается появление полос скольжения на отдельных участках микроструктуры в виде тонких линий, после чего наблюдается увеличение их количества. Образование макротрещины наблюдается при наработке более 0,65...0,7.

По результатам фрактального анализа получен показатель относительного изменения фрактальной размерности изображения микроструктуры от наработки образца R (рис. 2).

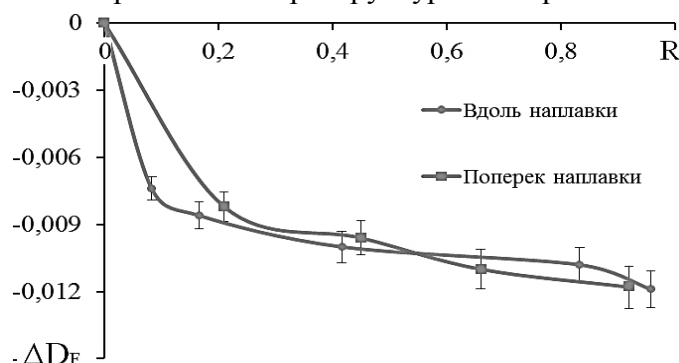


Рис. 2 – Зависимость относительного изменения фрактальной размерности изображения микроструктуры ΔD_F (Св-04X24H13 (WAAM))

Анализ полученных зависимостей показывает, что в процессе наработки материала образца за счет структурных изменений на поверхности образца наблюдается интенсивное снижение фрактальной размерности изображения микроструктуры на всех этапах испытания, особенно интенсивно на начальной стадии. Установлено, что увеличение анализируемого изображения практически не оказывает влияния на показатель фрактальной размерности. Также установлено, что область, в которой в дальнейшем происходило зарождение микротрещин, и наблюдалось появление макротрещины, имела наименьшие значения фрактальной размерности изображения. Зарождение макротрещины наблюдалось при достижении значений фрактальной размерности изображения микроструктуры, порядка $D_F=1,87\pm0,015$.

Согласно оптическим исследованиям зоны образования макротрещины в материале, макротрещина с момента ее появления до полного разрушения растет не равномерно, наиболее интенсивный рост трещины наблюдается после наработки порядка 0,9.

На основании данных оптических исследований определялась средняя скорость роста трещины на начальном этапе. Установлено, что при увеличении амплитуды напряжения в цикле наблюдается постоянная средняя скорость роста трещины до амплитуды напряжения порядка 350 МПа в районе 0.05...0.065 мкм/цикл, а при амплитудах в цикле выше 350 МПа наблюдается значительное увеличение средней скорости роста трещины, особенно при амплитудах напряжений выше 430 МПа.

Вывод по работе: Полученные в ходе исследования характеристики позволяют прогнозировать процесс деформации и разрушения сплава 04X24H13, полученного путем электродуговой наплавки за счет неразрушающего контроля рабочей зоны образца.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-79-00095 «Разработка научно-технологических основ структурообразования конструкционных материалов полученных путем аддитивного электродугового выращивания для формирования механических свойств при усталости с использованием подходов искусственного интеллекта»

Список литературы

1. Кабалдин Ю.Г., Хлыбов А.А., Аносов М.С., Рябов Д.А., Шатагин Д.А. Исследование малоциклового усталости стали 12X18H10T на основе подходов фрактального анализа и искусственного интеллекта. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2021. Т. 87. № 9. С. 59-67.
2. Савенков Г.Г., Барахтин Б.К. Связь фрактальной размерности поверхности разрушения с комплексом стандартных характеристик материала на растяжение. ПМТФ.- 2011.- т.52.- №6.- С. 177-184.
3. Filippo Montevercchi, Giuseppe Venturini, Antonio Scippa, Gianni Campatelli, Finite Element. Finite Element Modelling of Wire-arc-additive manufacturing Process. Procedia CIRP. – 2016. Vol. 55. – P. 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.024>.
4. Гончар А.В., Аносов М.С., Рябов Д.А. Оценка структурной деградации зоны термического влияния при усталостном разрушении сварного соединения. Дефектоскопия. 2022. № 9. С. 25-34.
5. Oliveira J.P., Tiago Rodrigues, Valdemar Duarte, R.M. Miranda, Telmo Santos. Current Status and Perspectives on Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM). Materials. 2019. Materials 12(7):1121. doi:12.1121.10.3390/ma12071121.
6. Аносов М.С., Колчин П.В., Устинов Б.В., Мансуров Р.Ш. Оценка влияния термического цикла аддитивного электродугового выращивания на структуру и механические свойства при пониженной температуре стали ER309LSI (Св-07X25H13). Тенденции развития науки и образования. 2022. № 85-1. С. 85-88.

2.3.1.

А.Г. Жорняк, Т.А. Морозова

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
Кафедра 604 «Системный анализ и управление»,
Москва, Zhornyak604mai@mail.ru, morozova_ta_66@mail.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ LAZARUS
ДЛЯ НАУЧНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.
ЧАСТЬ II. РАБОТА С БАЗАМИ ДАННЫХ**

Статья посвящена среде разработки Lazarus, используемой для создания программного обеспечения на языке Object Pascal. Рассматривается задача организации взаимодействия среды разработки Lazarus с базами данных в процессе создания программного обеспечения для научных и инженерных исследований. Также описана библиотека ZEOSLib, предназначенная для работы с базами данных, методика ее установки и пример использования в составе среды разработки Lazarus.

Ключевые слова: *среда разработки Lazarus, базы данных, система управления базами данных, СУБД MSSQLServer, СУБД PostgreSQL, СУБД Oracle, СУБД MySQL, СУБД Firebird, библиотека ZEOSLib, язык запросов SQL.*

Особенностью научных и инженерных исследований является необходимость хранения и обработки больших объемов данных, описывающих объект исследования. Одним из наиболее распространенных способов хранения больших объемов данных в настоящее время являются базы данных (далее БД). Таким образом, задача организации взаимодействия с БД при создании программного обеспечения для решения научных и инженерных задач на языке Object Pascal в среде разработки Lazarus [1] является актуальной задачей.

Среда разработки Lazarus может осуществлять взаимодействие с БД, созданными в различных системах управления базами данных (далее СУБД), таких как: MSSQLServer, Oracle, Sybase Adaptive Server Enterprise, PostgreSQL, MySQL, Firebird [2]. Для организации взаимодействия с БД в вышеуказанных СУБД среда разработки Lazarus имеет набор встроенных компонент, расположенных во вкладках: “SQLdb”, “Data Controls”, “Data Access”.

Помимо встроенных компонентов среда разработки Lazarus может использовать для работы с БД сторонние библиотеки, такие как ZEOSlib, FBLib, Pascal Data Objects (PDO), TPSQL, Fcl-db [3]. Многие из перечисленных сторонних библиотек являются узкоспециализированными и предназначены для взаимодействия только с конкретными СУБД, что существенно сужает частоту их применения. Так библиотека FBLib предназначена для работы с СУБД FireBird, библиотека TPSQL предназначена для работы с СУБД PostgreSQL, библиотека Pascal Data Objects может работать с СУБД MySQL и СУБД FireBird.

Из перечисленных сторонних библиотек выделяется библиотека ZEOSLib, известная также как ZEOS Database Objects. ZEOSlib является универсальной библиотекой и поддерживает возможность работы с большим количеством СУБД: Oracle, MSSQLServer, MySQL, MariaDB, PostgreSQL, FireBird, InterBase, SQLite, Sybase Adaptive Server Enterprise, а также Informix и DB2 [4]. Также библиотека ZEOSLib поддерживает работу с языками программирования Pascal и C++, и может использоваться в следующих средах разработки: Lazarus, Delphi, C++Builder.

Из перечисленных способов организации взаимодействия с БД из среды разработки Lazarus большое распространение получила библиотека ZEOSLib. Рассмотрим использование библиотеки ZEOSLib более подробно.

Для начала работы с библиотекой ZEOSLib необходимо перейти на официальную страницу ZEOSLib в интернете и скачать последнюю стабильную версию библиотеки [5]. Так последней стабильной версией библиотеки ZEOSLib на момент написания статьи является версия 7.2.14 от 14.07.2021 года.

Следующим шагом необходимо установить скачанную библиотеку ZEOSLib в состав среды разработки Lazarus. Для этого необходимо распаковать скачанный архив с исходниками библиотеки ZEOSLib в разделе \lazarus\components\zeoslib\ в папке, в которой установлена сама среда разработки Lazarus.

Далее в распакованных файлах с исходниками библиотеки ZEOSLib в папке \packages\lazarus\ найти файл ZComponent.lpk, предназначенный для установки компонент библиотеки ZEOSLib в среду разработки Lazarus, а также файл README.TXT с инструкцией по установке компонентов библиотеки ZEOSLib в среду разработки.

Далее необходимо открыть файл ZComponent.lpk в самой среде разработки Lazarus используя кнопку “Открыть” в меню “Файл” и дождаться появления на экране диалогового окна установки файла lpk.

В открывшемся диалоговом окне, согласно инструкции в README.TXT, необходимо нажать на кнопку “Compile” и откомпилировать исходники библиотеки ZEOSLib для установки в Lazarus. После окончания компиляции файла ZComponent.lpk необходимо в диалоговом окне нажать на кнопку “Install” и осуществить установку компонентов.

После нажатия на кнопку “Install” на экране появится сообщение с предложением пересборки всей среды разработки Lazarus, на которое необходимо ответить “Да”. Затем необходимо дождаться окончания процесса пересборки среды Lazarus, в конце которого среда разработки Lazarus будет автоматически закрыта и перезапущена снова, но уже с установленной в состав среды разработки Lazarus библиотекой ZEOSLib.

После перезапуска среды разработки Lazarus в библиотеке визуальных компонент LCL появится новая вкладка “Zeos Access” с компонентами библиотеки ZEOSLib для работы с БД. Рассмотрим список компонент библиотеки ZEOSLib во вкладке “Zeos Access”:

1. TZConnection - компонент, предназначенный для подключения к БД отдельных компонент библиотеки ZEOSLib, таких как TZQuery, TZTable, TZReadOnlyQuery, TZStoredProc, TZSQLMetadata в составе программы в среде Lazarus.

2. TZQuery - является одним из наиболее универсальных компонент, позволяющим как изменять данные в самой БД, так и осуществлять поиск и выборку данных из БД. При этом таблицы БД, с которыми работает компонент TZQuery, будут определены в тексте SQL-запроса.

3. TZTable - компонент, предназначенный для управления данными или поиска данных в одной таблице БД. Компонент TZTable не имеет свойства SQL.Text для указания текста SQL запроса, но при этом привязан к конкретной таблице БД, имя которой указывается в специальном свойстве TZTable.TableName.

4. TZReadOnlyQuery - компонент, предназначенный работы с таблицами БД в режиме “только для чтения”.

5. TZUpdateSQL - компонент, предназначенный выполнения SQL-запросов типа Insert, Update, Delete для управления данными в БД.

6. TZStoredProc - компонент, предназначенный для выполнения хранимых процедур SQL на сервере БД.

7. TZSQLMetadata - компонент, предназначенный для получения информации о метаданных БД, таких как список таблиц в составе БД, список полей в составе таблицы БД, индексы таблицы БД и т.д. Возвращаемые компонентом результаты описываются типом MetadataType.

8. TZSQLMonitor - компонент, предназначенный для ведения истории действий или событий компонентов ZEOSLib в программе при работе с БД. Информация из компонента TZSQLMonitor может быть выведена в компонент TМемо визуального пользовательского интерфейса программы или записана в лог-файл с расширением ".log". Для активации ведения истории действий компонентов ZEOSLib в программе у компонента TXSQLMonitor необходимо настроить свойство TXSQLMonitor.Active:=True; Также необходимо настроить автоматическое сохранение лог-файла TXSQLMonitor.AvttoSave:=True;

9. TZIBEventAlerter - специализированный компонент для работы с событиями в СУБД FireBird или Interbase.

10. TZPgEventAlerter - специализированный компонент для работы с событиями в СУБД PostgreSQL.

Рассмотрим простой пример использования библиотеки ZEOSLib для работы с БД из программы в среде Lazarus. В рассматриваемом примере мы используем 4 компонента:

1. Компонент TZConnection библиотеки ZEOSLib возьмем с вкладки "Zeos Access". После размещения компонента TZConnection на форме визуального пользовательского интерфейса в программе появится компонент ZConnection1 типа TZConnection.

Будем использовать для подключения к БД с названием TestDataBase, созданной на локальном сервере СУБД FireBird версии 1.5. Подключение будет осуществляться пользователем с логином "User" и паролем "123". Настроим свойства компонента ZConnection1 в программе:

```
try
  ZConnection1.Protocol := 'firebird-1.5';
  ZConnection1.HostName := '(local)';
  ZConnection1.DataBase := 'TestDataBase';
  ZConnection1.User := 'User';
  ZConnection1.Password := '123';
  ZConnection1.Connect;
except
  ShowMessage('Database connection error!');
end;
```

В случае, если локальный сервер СУБД FireBird или сама БД TestDataBase по какой-то причине недоступны или на сервере СУБД FireBird нет пользователя с логином "User" и паролем "123", то будет возвращено сообщение "Database connection error!".

2. Следующим шагом возьмем компонент TZQuery с вкладки "Zeos Access". После размещения компонента TZQuery на форме визуального пользовательского интерфейса в программе появится компонент ZQuery1 типа TZQuery.

Для подключения к БД компонент имеет свойство ZQuery1.Connection, в котором настраивается связь компонента ZQuery1 с компонентом ZConnection1, через который осуществляется подключение к БД. Данная настройка компонента ZQuery1 осуществляется в "Инспекторе объектов" во вкладке "Свойства": находим в "Инспекторе объектов" компонент ZQuery1, затем во вкладке "Свойства" находим свойство Connection и записываем туда значение ZConnection1.

Компонент типа TZQuery может работать в двух режимах:

а) Выполнение SQL-запросов Insert, Update, Delete для управления данными в БД. В этом случае в свойстве ZQuery1.SQL.Text задается текст самого SQL-запроса типа Insert или Update или Delete, а затем выполняется метод ZQuery1.ExecSQL, который реализует заданный SQL-запрос к базе данных. Например, для ввода новой записи в таблицу Table1 с полями Field1, Field2 в тестовой БД TestDataBase:

```
ZQuery1.SQL.Text := 'insert into Table1(Field1, Field2) values('1', '2')';
ZQuery1.ExecSQL;
```

Приведенный программный код осуществит добавление новой записи в таблицу Table1 в БД TestDataBase.

б) Выполнение SQL-запросов Select для поиска данных в БД. В этом случае в свойстве ZQuery1.SQL.Text задается текст самого SQL-запроса типа Select, а затем выполняется метод ZQuery1.Open, выполняющий заданный SQL-запрос на поиск данных в БД и возвращающий результирующую выборку данных из БД в сам компонент ZQuery1 для возможности дальнейшей построчной обработки с использованием встроенных методов навигации по полученной выборке ZQuery1.First, ZQuery1.Next, ZQuery1.Prior, ZQuery1.Last, а также встроенных методов обращения к полям записей ZQuery1.FieldByName("имя поля").Text или ZQuery1.Fields["номер поля"].Text. Например, для выборки всех записей из таблицы Table1 из тестовой БД TestDataBase:

```
ZQuery1.SQL.Text := 'select * from Table1';  
ZQuery1.Open;
```

Приведенный программный код осуществит выборку всех записей из таблицы Table1 в БД TestDataBase и вернет эту выборку в компонент ZQuery1 для дальнейшей обработки или просмотра.

3. Далее необходимо добавить в программу возможность отображения данных, полученных в компоненте ZQuery1 из таблицы Table1. Для отображения будем использовать компонент типа TDBGrid, предназначенный для отображений содержимого выборок из таблиц БД. Однако напрямую компоненты типа TZQuery и TDBGrid связать нельзя. Для их связи используется промежуточный компонент типа TDataSource. Компоненты TDBGrid и TDataSource входят в набор стандартных компонент Lazarus, предназначенных для работы с БД.

Поэтому следующим шагом возьмем компонент TDataSource с вкладки "Data Access". После размещения компонента TDataSource на форме визуального пользовательского интерфейса в программе появится компонент DataSource1 типа TDataSource.

Для подключения к компоненту ZQuery1 компонент DataSource1 имеет свойство DataSource1.DatSet. Данная настройка осуществляется в "Инспекторе объектов" во вкладке "Свойства": находим в "Инспекторе объектов" компонент DataSource1, во вкладке "Свойства" находим свойство DataSet и записываем туда значение ZQuery1.

4. Следующим шагом возьмем компонент TDBGrid с вкладки "Data Controls". После размещения компонента TDBGrid на форме визуального пользовательского интерфейса в программе появится компонент DBGrid1 типа TDBGrid.

Компонент DBGrid1 будет использоваться в программе для вывода на визуальный пользовательский интерфейс результатов выполнения SQL-запроса типа Select к таблице Table1 тестовой БД TestDataBase в компоненте ZQuery1. Для связи компонента DBGrid1 с компонентом ZQuery1 будем использовать компонент DataSource1.

Для подключения к компоненту DataSource1 компонент DBGrid1 имеет свойство DBGrid1.DataSource, в котором настраивается связь компонента DBGrid1 с компонентом DataSource1. Данная настройка компонента DBGrid1 осуществляется в "Инспекторе объектов" во вкладке "Свойства": находим в "Инспекторе объектов" компонент DBGrid1, во вкладке "Свойства" находим свойство DataSource и записываем туда значение DataSource1.

Теперь все компоненты для рассматриваемого примера работы с БД из программы в среде Lazarus настроены. Выбранные данные из таблицы Table1 в БД TestDataBase в компоненте ZQuery1 отобразятся на визуальном пользовательском интерфейсе программы в компоненте DBGrid1 сразу после выполнения команды ZQuery1.Open;

Таким образом, с использованием компонентов TZConnection и TZQuery библиотеки ZEOSLib, а также встроенных компонентов TDataSource и TDBGrid, возможно организовать работу программы для научных и инженерных исследований в среде разработки Lazarus с базами данных в большинстве популярных систем управления базами данных, таких как: Oracle, MSSQLServer, FireBird, InterBase, MySQL, MariaDB, PostgreSQL, SQLite, Sybase Adaptive Server Enterprise, Informix, DB2. Отличительной особенностью данного подхода к работе с БД из среды разработки Lazarus является простота и относительно небольшой объем программного кода, необходимый для осуществления работы с БД.

Список литературы

1. Официальный сайт среды разработки Lazarus [Электронный ресурс] <https://www.lazarus-ide.org/> (дата обращения 17.01.2023).
2. Lazarus Database Tutorial [Электронный ресурс] https://wiki.freepascal.org/Lazarus_Database_Tutorial/ru (дата обращения 17.12.2022).
3. FreePascal Database libraries [Электронный ресурс] https://wiki.freepascal.org/Database_libraries (дата обращения 17.01.2023).
4. Zeos 7.2.14 Release Notes [Электронный ресурс] <https://sourceforge.net/projects/zeoslib/files/documentation/> (дата обращения 17.01.2023).
5. Официальная страница библиотеки ZEOSlib на сайте Sourceforge.net [Электронный ресурс] <https://sourceforge.net/projects/zeoslib/> (дата обращения 17.01.2023).

2.3.1.

А.Г. Жорняк, Т.А. Морозова

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
Кафедра 604 «Системный анализ и управление»,
Москва, Zhornyak604mai@mail.ru, morozova_ta_66@mail.ru

**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ БИБЛИОТЕКИ ЯЗЫКА PYTHON
В НАУЧНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧАХ.
ЧАСТЬ I. БИБЛИОТЕКИ CX_FREEZE И PYINSTALLER**

Статья посвящена языку программирования Python, применяемому в задачах разработки программного обеспечения для научных и инженерных вычислений. В статье рассмотрена проблема переносимости разработанного программного обеспечения на языке Python, а также приведены примеры использования специализированных библиотек cx_Freeze и PyInstaller для создания исполняемого файла в программном обеспечении на языке Python.

Ключевые слова: язык программирования Python, программное обеспечение, исполняемый файл exe, менеджер пакетов PIP, командная строка, библиотека cx_Freeze, библиотека PyInstaller.

Python является современным быстроразвивающимся языком программирования, часто используемым при решении научных и инженерных задач [1]. Популярность языка Python в научных и инженерных задачах обусловлена большим количеством дополнительных библиотек для обработки больших массивов данных, высокоуровневых математических функций, алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей, работы с базами данных [2].

Для подготовки персонального компьютера к разработке программного обеспечения на языке Python необходимо установить и настроить набор специализированных программных средств:

1. Интерпретатор языка Python;
2. Среда разработки программного обеспечения на языке Python, например: PyCharm, Spyder, Microsoft Visual Studio, Eclipse;
3. Дополнительные специализированные библиотеки, расширяющие функционал языка Python.

Полноценная разработка программного обеспечения на языке Python возможна только после установки и настройки всего вышеуказанного программного обеспечения на персональном компьютере.

Однако сам язык Python обладает и рядом недостатков. Одним из таких недостатков является отсутствие возможности создавать исполняемый файл программы, который сможет в дальнейшем работать отдельно от всего списка программного обеспечения, используемого при разработке на Python. Таким образом, для запуска и работы уже созданной и отлаженной программы на языке Python потребуются наличие всех вышеуказанных средств разработки, а запуск и выполнение самой программы на Python будут осуществляться средствами используемой среды разработки. Этот недостаток делает невозможным запуск и использование созданной программы на языке Python на неподготовленном заранее компьютере и существенно ограничивает переносимость созданного программного обеспечения на языке Python.

Для исправления указанного недостатка в языке Python существует ряд дополнительных библиотек cx_Freeze, PyInstaller, Py2exe, Auto-py-to-exe, предназначенных для создания исполняемого файла “.exe”.

Рассмотрим в качестве примера использование библиотек `cx_Freeze` и `PyInstaller` для создания исполняемого файла в программе на языке Python.

Библиотека `cx_Freeze` предназначена для создания исполняемых файлов в программах на языке Python. Библиотека `cx_Freeze` поддерживает использование в операционных системах Linux, Windows, MacOS [3]. Также `cx_Freeze` поддерживает использование в 32х и в 64х разрядных операционных системах. Библиотека `cx_Freeze` может использоваться с версиями языка Python 2 и Python 3.

Для установки дополнительной библиотеки `cx_Freeze` в состав ранее установленного языка программирования Python необходимо выполнить следующие действия:

Запустить командную строку Windows от имени администратора персонального компьютера, на котором осуществляется установка. Для этого надо перейти в меню “Пуск”, найти в нем раздел “Стандартные” и в этом разделе найти пункт “Командная строка”. Далее необходимо кликнуть правой клавишей мыши по меню “Командная строка” и в выпадающем меню выбрать пункт “Запуск от имени администратора”.

На следующем шаге для осуществления установки дополнительной библиотеки `cx_Freeze` будет использован менеджер пакетов PIP языка программирования Python.

В открывшемся окне командной строки Windows необходимо осуществить установку дополнительной библиотеки `cx_Freeze`. Для этого вводим в командную строку Windows команду “`PIP install cx-Freeze`”. В общем виде команда на установку библиотеки будет иметь вид:

```
C:\windows\system32> PIP install cx-Freeze
```

И затем нажать на клавишу Enter. Далее в командную строку будет автоматически выведен список строк с результатами установки дополнительной библиотеки `cx_Freeze` менеджером пакетов PIP. После появления сообщения “`Successfully installed cx-Freeze...`” установка библиотеки `cx_Freeze` в Python завершена.

Рассмотрим пример использования библиотеки `cx_Freeze` для создания исполняемого файла в проекте на Python. Предположим, что в рассматриваемом проекте код программы написан в файле `test.py` и нам необходимо сделать исполняемый файл программы `test.exe`. Тогда процесс создания исполняемого файла `test.exe` можно описать следующими шагами:

1. Создадим отдельную папку Test на жестком диске компьютера и поместим в нее файл `test.py`. Далее создадим в среде разработки на Python файл с названием `setup.py` и сохраним его в ту же папку Test, в которой уже находится файл `test.py`.

Файл `setup.py` должен содержать следующий программный код, отвечающий за создание исполняемого файла `test.exe`:

```
from cx_Freeze import setup, Executable
setup(
    name = "test",
    version = "0.1",
    description = "test-exe",
    executables = [Executable("test.py")]
)
```

В приведенном коде параметр `name` содержит имя создаваемого исполняемого файла `test.exe`, параметр `version` содержит информацию о версии вашей программы, параметр `description` содержит текстовое описание создаваемого исполняемого файла. А в параметре `executables` в поле `[Executable(" ")]` необходимо вписать название файла `test.py` с исходным кодом проекта, для которого мы создаем исполняемый файл.

2. Переходим в меню “Пуск”, затем в подменю “стандартные” и запускаем командную строку. С помощью команды смены текущего каталога “`cd / d`” переводим командную строку в папку Test, в которой сохранены файлы `test.py` и `setup.py`. При этом потребуется указать полный путь к папке Test, например: “`cd /d D:\Test`”. Тогда в поле ввода командной строки будет выглядеть следующим образом:

```
C:\Users\Username> cd /d D:\Test
```

После выполнения указанной команды командная строка будет переведена в папку Test, а в самой командной строке будет выведено:

```
D:\Test>
```

3. Следующим шагом формируем команду на создание исполняемого файла test.exe. Эта команда состоит из трех составляющих элементов:

а) Полный путь к файлу Python.exe в каталоге установки языка Python на компьютере. Например: "C:\Python\Python36\python.exe". Точное значение этого элемента команды индивидуально и зависит от параметров установки языка Python на конкретном компьютере.

б) Файл, содержащий программный код, отвечающий за создание исполняемого файла test.exe. В данном примере это файл setup.py.

в) Команда build на создание исполняемого файла test.exe.

В итоге полностью сформированная команда на создание исполняемого файла test.exe в данном примере будет иметь вид:

```
C:\Python\Python36\python.exe setup.py build
```

Вышеуказанная команда должна быть введена в командную строку:

```
D:\Test> C:\Python\Python36\python.exe setup.py build
```

После ввода команду в командную строку нажимаем клавишу Enter и ожидаем завершения процесса создания исполняемого файла test.exe. Если все команды были подготовлены и введены правильно, то процесс завершится созданием исполняемого файла test.exe в папке Test.

В случае, если путь к файлу python.exe будет содержать символ "пробел", то командная строка вернет сообщение об ошибке: "Системе не удастся найти указанный путь". В этом случае потребуется поместить путь к файлу python.exe в двойные кавычки:

```
D:\Test> "C:\Python\Python 36\python.exe" setup.py build
```

После завершения создания исполняемого файла test.exe переходим в папку Test. Теперь в этой папке кроме файлов test.py и setup.py появилась папка build, содержащая папку exe.win-amd64-3.6.

В папке exe.win-amd64-3.6 хранится созданный исполняемый файл test.exe, а также набор динамических библиотек ".dll", необходимых для автономной работы исполняемого файла test.exe.

Полученный таким образом файл test.exe будет работать на любом другом персональном компьютере вне зависимости от того, установлен ли там Python или нет. Для запуска исполняемого файла test.exe на другом персональном компьютере вам необходимо будет перенести туда всю папку Test со всем ее содержимым. Объем всей папки с исходниками программы test.py и setup.py, исполняемым файлом test.exe, а также динамическими библиотеками ".dll", необходимыми для работы программы test.exe на компьютере, на котором не установлен Python, получился равным 10 Мб. При этом объем самого исполняемого файла test.exe составляет 15 Кб.

Далее рассмотрим использование дополнительной библиотеки PyInstaller для создания исполняемого файла в программе на языке Python.

Библиотека PyInstaller предназначена для создания исполняемых файлов в программах на языке Python. Библиотека PyInstaller поддерживает использование в операционных системах Linux, Windows, MacOS, а также может использоваться и для Solaris и FreeBSD [4].

Для установки дополнительной библиотеки PyInstaller в состав ранее установленного языка программирования Python необходимо выполнить следующие действия: необходимо запустить командную строку Windows от имени администратора. В открывшемся окне командной строки Windows необходимо осуществить установку дополнительной библиотеки PyInstaller. Для этого вводим в командную строку Windows команду "PIP install PyInstaller". В общем виде команда на установку библиотеки будет иметь вид:

```
"C:\windows\system32> PIP install PyInstaller"
```

И затем нажать на клавишу Enter. Далее в командную строку будет автоматически выведен список строк с результатами установки дополнительной библиотеки PyInstaller менеджером пакетов PIP. После появления сообщения “Successfully installed PyInstaller...” установка дополнительной библиотеки PyInstaller в Python завершена.

Рассмотрим пример использования библиотеки PyInstaller для создания исполняемого файла в проекте на Python. Предположим, что в рассматриваемом проекте код программы написан в файле test2.py и нам необходимо сделать исполняемый файл программы test2.exe. Тогда процесс создания исполняемого файла test2.exe можно описать следующими шагами:

1. Создадим отдельную папку Test2 на жестком диске компьютера и поместим в нее файл test2.py.

2. Переходим в меню “Пуск”, затем в подменю “стандартные” и запускаем командную строку. С помощью команды смены текущего каталога “cd / d” переводим командную строку в папку Test2, в которой сохранен файл test2.py. При этом потребуется указать полный путь к папке Test2, например: “cd /d D:\Test2”. Тогда в поле ввода командной строки будет выглядеть следующим образом:

```
C:\Users\Username> cd /d D:\Test2
```

После выполнения указанной команды командная строка будет переведена в папку Test2, а в самой командной строке будет выведено:

```
D:\Test2>
```

3. Далее, когда командная строка переведена в папку Test2 с файлом test2.py, вводим в командную строку команду на создание файла test2.exe с помощью библиотеки PyInstaller:

```
D:\Test2> Pyinstaller --onefile test2.py
```

где test2.py - имя файла с программой на python, для которой вам требуется создать исполняемый файл test2.exe.

Нажимаем клавишу Enter и получаем список сообщений Pyinstaller о ходе создания исполняемого файла test2.exe, в конце которого, в случае успеха, будет сообщение “completed successfully”.

4. После завершения создания исполняемого файла test2.exe переходим в папку Test2. Теперь в этой папке кроме файла test2.py появился файл test2.spec, а также папка build и папка dist, содержащая созданный исполняемый файл test2.exe.

Полученный таким образом файл test2.exe будет работать на любом другом персональном компьютере вне зависимости от того, установлен ли там Python или нет. Для запуска исполняемого файла test2.exe на другом персональном компьютере вам достаточно будет перенести туда только сам файл test2.exe, т.к. все необходимые для функционирования исполняемого файла test2.exe ресурсы уже включены в состав самого исполняемого файла. При этом размер исполняемого файла test2.exe получился в данном примере равным 6 Мб.

Также необходимо отметить, что в каждом из двух приведенных примеров созданные исполняемые файлы test.exe и test2.exe будут автоматически закрываться сразу после завершения выполнения всех команд в программном коде соответствующих модулей test.py и test2.py. Чтобы созданные исполняемые файлы test.exe и test2.exe не завершали свою работу после завершения выполнения всех команд в программном коде test.py и test2.py соответственно, а пользователь мог увидеть вывод результатов научных или инженерных расчетов в test.py и в test2.py прежде чем исполняемые модули test.exe и test2.exe завершат свою работу, необходимо в конце программного кода в файлах test.py и test2.py добавить команду “input(“Press Enter”)”. В этом случае исполняемые модули test.exe и test2.exe после завершения вычислений не завершат свою работу, а будут работать в режиме ожидания до тех пор, пока пользователь не нажмет клавишу Enter.

Таким образом, используя дополнительные библиотеки cx_Freeze или PyInstaller, решается задача создания исполняемого файла “.exe” для программного обеспечения в научных или инженерных вычислениях. Созданный исполняемый файл сможет функционировать на персональном компьютере, на котором не установлены программные средства языка программирования Python и его дополнительные библиотеки.

Список литературы

1. Официальный сайт языка программирования Python [Электронный ресурс] <https://www.python.org/> (дата обращения 29.01.2023).
2. Жорняк А.Г., Морозова Т.А. Специфика применения языка программирования Python для решения задач анализа и обработки информации, Научно–технический вестник Поволжья. 2022. №1. С. 26–29.
3. Официальная страница библиотеки cx_Freeze [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://pypi.org/project/cx-Freeze/> (дата обращения 29.01.2022).
4. Официальная страница библиотеки PyInstaller [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://pyinstaller.org/en/stable/> (дата обращения 29.01.2023).

2.3.1.

Р.Р. Имаев, Д.М. Афанасьев, Г.А. Гареева канд. педагог. наук

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
кафедра информационных систем,
Набережные Челны, alex.tarofun@yandex.ru, gagareeva1977@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ДОКУМЕНТООБОРОТА СРЕДСТВАМИ 1С:ПРЕДПРИЯТИЕ

В данной статье рассмотрены этапы разработки расширения «Лист согласования» на базе конфигурации 1С:Документооборот 2.1. Стандартные электронные подписи (ЭЦП), используемые для согласования документов, перекрывают информацию, находящуюся в самих же документах. Поэтому было решено разработать компонент для формирования дополнительного листа согласования к основному документу и проставления в нем простых цифровых подписей.

Ключевые слова: 1С, Документооборот, Лист согласования.

Документооборот является неотъемлемой частью любого предприятия, он необходим для обмена информацией как внутри предприятия, так и с внешними контрагентами [1]. В понятии электронного документооборота лежит концепция «бесбумажного делопроизводства». Одно из направлений данной концепции – электронное согласование внутренних документов [4, 5].

Проблема согласования документов в 1С:Документооборот 2.1 очевидна, так как при запуске процесса согласования внутреннего документа ЭЦП согласующего лица проставлялась напрямую, тем самым происходило наложение на текст документа, так как отдельное пространство для ЭЦП согласующих не выделялось. Таким образом, документ становился нечитабельным и неприменимым для дальнейшего использования [2]. Разработка расширения «Лист согласования» позволит устранить данную проблему, улучшить читабельность текста и позволит выводить всех согласующих лиц на новый лист. В базе данных 1С:Документооборот 2.1 – централизованный документооборот, поэтому доработка будет использоваться только для внутренних документов организации, на базе которой был внедрен документооборот [3].

Процесс работы с электронным документом следующий: в базе данных создается внутренний документ, пользователь заполняет служебную информацию для согласования с руководством и далее в печатной форме автоматически создается документ, либо может прикрепить документ в формате word или pdf. После чего назначаются согласующие лица, и документ отправляется по маршруту согласования как представлено на рисунке 1.

Шаг	С кем согласовать	Порядок	Срок
1	Гостев Андрей Алексеевич	Вместе с предыдущим	1 день (14.09.22)
1	Проводкин Михаил Моисеевич	Вместе с предыдущим	1 день (14.09.22)
2	Устюжанин Олег Валерьевич	После предыдущего	1 день (16.09.22)

Рис. 1 – Создание документа согласования на основании документа служебной записки

Затем файл, требующий согласования, отправляется согласующим по очереди, либо всем согласующим одновременно. Как было сказано выше, до доработок во внутреннем документе при согласовании проставлялись ЭЦП напрямую, не выделяя какого-либо отдельного пространства для согласований, ухудшая визуализацию документа.

Разработка расширения «Лист согласования» предполагает следующий алгоритм решения проблемы. При согласовании документа руководителем запускается процесс создания и заполнения листа согласований. К файлу, прикрепленному в базе при помощи программы GhostScript, добавляется лист согласований. В макет листа согласований вставляется штамп простой электронной подписи и заполняется информация о согласующем пользователе, его фамилия и инициалы, дата и время согласования. Для изменения файла с находящимся в нем изображением при помощи регулярных выражений используется программа ImageMagic. Пример макета представлен на рисунке 2.

Лист согласования	
Тест от 14.09.22 (№ 02-740-2022 от 14.09.2022)	
Ответственный: ТЕСТ	
Дата начала: 14.09.2022 14:41:43	Дата окончания: 14.09.2022 15:42:44
Подпись	Результат Комментарий
 ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ПРОСТОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ Подписал: ТестЮраг Дата подписи: 14.09.2022 14:46:11	Согласовано
 ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ПРОСТОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ Подписал: Гостев Андрей Алексеевич директор по ИТ Дата подписи: 14.09.2022 15:35:11	Согласовано с замечаниями замечание
 ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ПРОСТОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ Подписал: Проводкин Михаил Монсеевич Дата подписи: 14.09.2022 15:35:29	Согласовано
 ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ПРОСТОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ Подписал: Устюжанин Олег Валерьевич Генеральный директор Дата подписи: 14.09.2022 15:36:01	Согласовано

Рис. 2 – Внешняя обработка

Все замечания отображаются под статусом согласования. Дата окончания проставляется так же, как только все согласующие лица согласуют документ. При согласовании документа запускается регламентное задание, к которому и подключается расширение, старый документ без добавленного листа замещается новым при помощи версионирования объектов реализованных в 1С, т.е. новому файлу автоматически устанавливается статус актуальный. При втором и последующих согласованиях программа получает данные всех согласующих лиц и автоматически проставляет штампы и данные о согласовании документа.

Программная реализация представляет собой общий модуль и регистр сведений, в котором временно заполняется задача для согласования и запускается процесс создания листа согласования. Далее приведены основные функции для формирования листа согласования (рис.3, 4).

```

Функция ЗаполнитьЛистСогласования(Задача, ВнутреннийДокумент)

    ТабличныйДокумент = Новый ТабличныйДокумент;
    ТабличныйДокумент.АвтоМасштаб = Истина;
    ТабличныйДокумент.РазмерСтраницы = "А4";

    Макет = УправлениеПечатью.МакетПечатнойФормы("ОбщиеМакеты.ЛистСогласования");
    ШапкаДокумента = Макет.ПолучитьОбласть("ШапкаДокумента");
    ТаблицаШапка = Макет.ПолучитьОбласть("ТаблицаШапка");
    ТаблицаСтрока = Макет.ПолучитьОбласть("ТаблицаСтрока");
    СтрокаСПодвалом = Новый Массив;
    СтрокаСПодвалом.Добавить(ТаблицаСтрока);

    ДанныеШапкиЛистаСогласования = ПолучитьДанныеШапкиЛистаСогласования(Задача, ВнутреннийДокумент);
    ШапкаДокумента.Параметры.Заполнить(ДанныеШапкиЛистаСогласования);

    ТабличныйДокумент.Вывести(ШапкаДокумента);
    ТабличныйДокумент.Вывести(ТаблицаШапка);

    ВизыСогласования = ПолучитьВизыСогласования(ВнутреннийДокумент);

    Для каждого ВизаСогласования Из ВизыСогласования Цикл

        ТаблицаСтрока.Параметры.Заполнить(ВизаСогласования);
        ТаблицаСтрока.Рисунки.Подпись.Картинка = ВизаСогласования.Картинка;

        Если Не ТабличныйДокумент.ПроверитьВывод(СтрокаСПодвалом) Тогда

            ТабличныйДокумент.ВывестиГоризонтальныйРазделительСтраниц();
            ТабличныйДокумент.Вывести(ТаблицаШапка);

        КонецЕсли;

        ТабличныйДокумент.Вывести(ТаблицаСтрока);

    КонецЦикла;

    Возврат ТабличныйДокумент;

КонецФункции

```

Рис. 3 – Функции для формирования листа согласования

```

Функция ПолучитьВизыСогласования(ВнутреннийДокумент)
...

Функция ПолучитьPDFфайлыВнутреннегоДокумента(ВнутреннийДокумент)

    Запрос = Новый Запрос;
    Запрос.Текст =
        "ВЫБРАТЬ
        |   файлы.Ссылка КАК Ссылка
        |ИЗ
        |   Справочник.файлы КАК файлы
        |ГДЕ
        |   файлы.ВладелецФайла = &ВнутреннийДокумент
        |   И НЕ файлы.ПометкаУдаления
        |   И файлы.ТекущаяВерсияРасширение = ""pdf""
        |   И НЕ файлы.ПодписанЭП
        |   И НЕ файлы.Зашифрован";
    Запрос.УстановитьПараметр("ВнутреннийДокумент", ВнутреннийДокумент);

    РезультатЗапроса = Запрос.Выполнить();

    Если РезультатЗапроса.Пустой() Тогда
        Возврат Новый Массив;
        //ВызватьИсключение("Не удалось найти файл для проставления штампов");
    КонецЕсли;

    ВДЗ = РезультатЗапроса.Выбрать();

    файлы = Новый Массив;

    Пока ВДЗ.Следующий() Цикл
        файлы.Добавить(ВДЗ.Ссылка);
    КонецЦикла;

    Возврат файлы;

КонецФункции

Функция ПолучитьФайлБезШтампов(ФайлСсылка)
...

```

Рис. 4 – Функции для формирования листа согласования

Макет, использующийся для создания листа согласования, приведен на рисунке 5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Лист согласования									
2										
3	<Наименование>									
4										
5	<Ответственный> <Ответственный>									
6	Дата начала:		<ДатаНачала>			Дата окончания:		<ДатаОкончания>		
7										
8	Подпись					Результат				
9						Комментарий				
10	 документ подписан простой электронной подписью Подписан: 00000000000000 000000000000 00000000000000 Работы сурфайтфайтфайт Дата подписи: 10.10.20423 10.10.10					<Результат>				
11						<Комментарий>				
12										
13										
14										
15										

Рис. 5 – Макет листа согласования

В результате для совершенствования внутреннего документооборота разработан компонент формирования дополнительного «Листа согласования» к основному документу на базе конфигурации 1С:Документооборот 2.1.

Список литературы

1. *Жеребенкова А.В.* Документооборот на предприятии / А.В. Жеребенкова. - М.: Вершина; Издание 2-е, перераб. и доп., 2017. - 384 с.
2. *Гундарева С.А.* Совершенствование документооборота как фактор эффективности в управленческой деятельности / С. А. Гундарева. - Молодой ученый. - 2009. - № 7 (7). - С. 75-78.
3. *Шайхутдинов Р.Я.* Технология рассылки почты в 1С / Р.Я. Шайхутдинов, Г.А. Гареева // За нами будущее: взгляд молодых ученых на инновационное развитие общества: Сборник научных статей 3-й Всероссийской молодежной научной конференции, Курск, 03 июня 2022 года. Том 2. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 549-551.
4. *Лушников В.В.* 1С: Документооборот. 200 вопросов и ответов / В.В. Лушников, А.В. Бондарев. - Москва: Огни, 2018. - 298 с.
5. *Джесси Рассел* 1С: Документооборот / Джесси Рассел. - М.: VSD, 2016. - 705 с.

2.3.1.

Е.Н. Канинина, А.В. Пантелеев, Н.А. Балашов

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,
институт электроники и светотехники,
кафедра метрологии, стандартизации и сертификации,
Саранск, elena-kaninina@yandex.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИВОЙ СИЛЫ СВЕТА СВЕТОДИОДОВ**

В статье рассматриваются результаты определения формы кривой силы света светодиодов в зависимости от используемых методик измерений. Проводится сравнительный анализ результатов определения кривых силы света светодиодов, полученных с помощью различных методик.

Ключевые слова: воспроизводимость, кривая силы света, методика измерений, приемник излучения, сила света.

Метрологическое обеспечение является одной из основных сфер развития современной светодиодной осветительной техники. Знание полного комплекса параметров и характеристик светодиодного устройства позволяет прогнозировать его поведение на длительное время, оптимизировать конструкции, улучшать тепловые характеристики, повышать энергетическую эффективность и обеспечивать производство конкурентоспособных светотехнических изделий. При этом метрологическая база требует наличия современных высокоточных измерительных приборов, аттестованных в соответствии с международными требованиями [1].

При измерении излучения в оптическом диапазоне, (как и при любом другом измерении) в метрологии используются специально разработанные принципы и приемы, направленные на получение достоверных результатов и точности измерений. Эти приемы и принципы, несмотря на их значительные отличия при применении в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра, имеют много общего. Это обусловлено тем, что излучение в указанном диапазоне подчиняется одним и тем же законам оптики: распространения, отражения, поглощения и пропускания. Совокупности приемов использования принципов и средств измерений в метрологии называются методами измерений.

В фотометрии в основном применяются методы непосредственной оценки и разновидность метода сравнение с мерой – метод замещения [2].

Метод непосредственной оценки – это метод измерений, в котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия, например, измерение освещенности люксметром, яркости – яркомером.

Метод замещения – это метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой. Этим методом измеряется световой поток в фотометрическом шаре, где поток измеряемых ламп время от времени замещается световым потоком светоизмерительной лампы.

Метод измерения с использованием фотоэлектрического люксметра. Установка состоит из фотометрической скамьи, фотометрической головки, фотоэлектрического люксметра, эталонных, люминесцентных источников света. Электрические режимы источников света поддерживается на неизменных заданных уровнях, и контролируются в моменты выполнения измерений вольтметрами класса точности не ниже 0,5.

При измерении силы света в разных направлениях применяется метод распределительного фотометра (гониофотометра) – измерение силы света через измерения освещенности в разных точках шаровой (полушаровой) поверхности, условно окружающей источник света [1].

Метод измерения с использованием гониофотометра основан на пошаговой фиксации значений силы света или освещенности источника света (ИС) при его повороте на известный угол.

Для измерения применяют гониометр и фотоприемное устройство. Гониометр должен быть с угловым разрешением, обеспечивающим получение наиболее достоверного углового распределения измеряемой величины, что возможно при минимальном значении шага угла поворота ИС относительно фотоприемного устройства. При измерении должно быть обеспечено сканирование силы света или освещенности измеряемого ИС в угле излучения. Гониофотометр должен иметь приспособление (оснастку) для крепления ИС, положение которого должно соответствовать указанному в стандартах или технических условиях на ИС конкретных типов и применяемой методике измерения пространственного распределения силы света. Предпочтительно использование гониофотометра с неподвижным положением ИС. Допускается применение гониофотометра с вращением ИС относительно фотоприемного устройства. В этом случае возможны изменения значений силы света в различных положениях ИС [3].

Для определения воспроизводимости результатов измерений силы света, полученных различными методиками был проведен эксперимент, заключающийся в следующем.

На первом этапе проведения эксперимента измерения силы света проводились с разными шагами сканирования по 5° и 10° , при площади приемника 100 мм^2 . В качестве приемника оптического излучения использовался люксметр «ТКА-ЛЮКС». Расстояние между светодиодом и приемником оптического излучения составляет 316 мм, измерения проводились по геометрии А, светодиод расположен неподвижно относительно приемника излучения, который перемещается вокруг него на 360° . Перемещение возможно проводить с шагом в 1° , так как на основании установки нанесена угловая шкала с ценой деления 1° .

На следующем этапе были проведены измерения на гониофотометре OL 700–30. Измерения также проводились в соответствии с геометрией А (рис. 1 и 2).

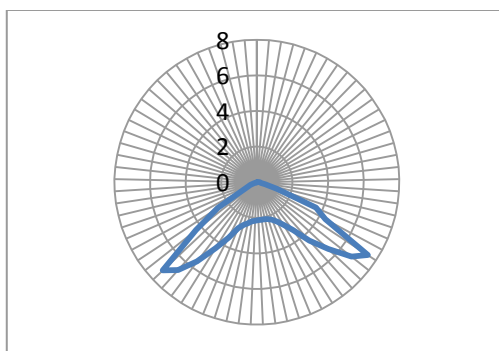


Рис. 1 – Кривая силы света при шаге сканирования 5°

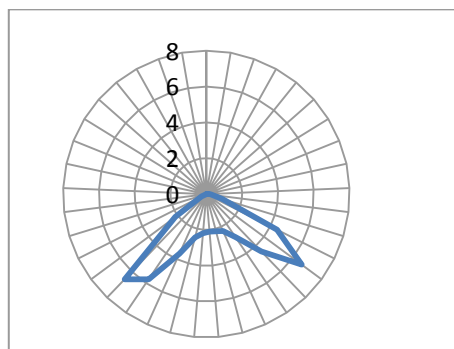


Рис. 2 – Кривая силы света при шаге сканирования 10°

Два метода измерений могут быть пригодными для определения одной и той же измеряемой характеристики, один из которых проще и дешевле другого, но реже применяемый. С целью оправдания использования более дешевого метода была рассчитана воспроизводимость полученных результатов.

Уровень воспроизводимости результатов измерений находится в диапазоне от 0,015 до 0,157 отн. ед.

По результатам первого эксперимента можно сделать вывод о том, что методика измерения силы света не оказывает существенного влияния на форму кривых силы света.

Также в рамках исследования был выполнен эксперимент с целью определения влияния площади фотоприемной площадки на форму кривой силы света различных светодиодов.

Измерения проводились в соответствии со стандартными условиями (геометрия В).

В качестве приемников излучения в эксперименте применялась интегрирующая полусфера, имеющая насадку из матового стекла, а также оптоволоконный световод. Площадь приемной поверхности насадки составляла 100 мм^2 , площадь приемной поверхности световода – 7 мм^2 .

В целях обеспечения единства измерений все результаты были переведены в относительные единицы.

В результате выполненного эксперимента можно сказать, что величина силы света, определенная с использованием фотоприемника площадью 100 мм^2 несколько выше, чем с использованием фотоприемника площадью 7 мм^2 . Кроме того, при применении приемников излучения с большей площадью кривые силы света получаются более резкими.

В том числе необходимо обратить внимание, что время сканирования источника значительно меняется в зависимости от применяемых приемников и углов. При сканировании с шагом 5° время затраченное на одно измерение с приемником площадью 100 мм^2 составляло 6 часов, а с площадью 7 мм^2 – 30 минут.

Список литературы

1. Канинина Е.Н., Родин В.В. Исследование возможности автоматизации измерений характеристик светодиодов // Научно-технический вестник Поволжья, 2019. – № 12 – С. 116-118.
2. Коваленко О.Ю., Буряк В.В., Канинина Е.Н. Исследование зависимости кривой распределения силы света светодиодов от применяемых средств и методов измерений // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей XXIX Международной научно-практической конференции : в 2 ч., 2019. – С. 100-103.
3. Канинина Е.Н., Ашратов А.А. Устройство для определения светораспределения источников света // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники энергетики. Сб. науч. тр. IX Междунар. науч.-тех. конф., Саранск, 14-15 декабря 2011 г. – Саранск : СВМО; Афанасьев В.С., 2011. – С. 199-200.

2.3.1.

**О.С. Логунова, Л.С. Масальский, Е.А. Ильина,
Д.Я. Арефьева, Л.В. Артюхин, Е.А. Горлова**

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
институт энергетики и автоматизированных систем,
кафедра вычислительной техники и программирования,
Магнитогорск, logunova66@mail.ru, s.masalsky@yandex.ru,
dar_nas@mail.ru, arefewa.daria@gmail.com

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ
ДЛЯ ОЦЕНКИ НАУЧНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВТОРОВ**

В статье проанализированы теоретические и практические аспекты разработки приложения, осуществляющего визуализацию данных для наукометрического анализа. Рассмотрены различные формы представления данных о публикационной активности. Представлено разработанное программное обеспечение, реализующее визуализацию для качественной оценки публикационных коллабораций.

Ключевые слова: публикационная активность, публикационные коллаборации, визуализация, разработка программного обеспечения.

В результате стремительного развития современной науки и, как следствие, роста числа публикаций происходят значительные изменения в сфере наукометрического анализа. В особенности ярко выражен тренд на компьютеризацию исследований в данной области: прикладное программное обеспечение обеспечивает трудоемкие статистические вычисления и мониторинг соответствующих ресурсов с целью обновления данных анализируемой выборки [1], а использование отдельных инструментов электронных систем учета публикационной активности (Elibrary, Scopus, Web of Science) позволяет получить инфографики [2].

Однако большинство нынешних цифровых решений вопросов наукометрии имеют глобальный характер, что делает невозможным учет специфики отдельных научных учреждений. Кроме того, для научных организаций характерна общая современная тенденция к созданию единой цифровой системы управления [3], что находит отражение в стремлении к автономизации систем наукометрического анализа. Таким образом, для наукометрии сегодня характерно не только расширение применения компьютерных технологий, но и стремление к организации на их основе независимого информационного пространства для контроля и аналитики публикационной активности.

Для решения рассматриваемой проблемы принято решение о создании системы «Учет результатов научной деятельности университета». По результатам анализа наукометрических исследований [4, 5] выявлена потребность в использовании различных схем и диаграмм для осуществления оценки, обозначена необходимость создания в рамках системы модуля визуализации публикационной активности.

Анализ публикационной активности авторов включает в себя рассмотрение количественных и качественных характеристик их научной деятельности. К количественным характеристикам относятся количество публикаций, количество цитирований, количество соавторов, индекс Хирша (с учетом самоцитирования и без), средневзвешенный импакт-фактор журналов, в которых опубликованы статьи и т.д. [6]. Для наглядного отображения этих данных применяются диаграммы, в которых значения показателей для отдельных авторов сравниваются в масштабах научной организации или ее структурной единицы (кафедры, института). Подобные визуализации достаточно удобно выполнять с использованием тех же прикладных программ, который используются для осуществления

непосредственного расчета количественных характеристик. Это является определяющим фактором в выборе электронных таблиц в качестве основного инструмента количественного анализа публикационной активности, ведь данные программные приложения совмещают возможности удобного хранения данных, выполнения сложных расчетов и последующей визуализации полученных в результате анализа данных.

Иным образом складывается ситуация в случае качественного анализа публикационной активности: значительная часть аналитики производится не автоматически, а вручную либо с использованием малой части функционала общедоступных инструментов прикладных приложений. В частности, для качественного анализа применяются различные схемы, отображающие взаимодействия отдельных лиц и структур. Создание таких схем является достаточно трудоемким процессом, но его автоматизация с использованием программных решений показывает достаточно эффективные результаты. С учетом этого, принято решение о разработке подмодуля визуализации публикационных коллабораций. Данный подмодуль реализует графическое отображение межструктурных и внутривидовых взаимодействий и объединяет набор инструментов, необходимых для качественного наукометрического анализа.

Основной формой представления визуализируемых данных является граф, отображающий в качестве вершин отдельных авторов научной организации, а в качестве ребер – взаимодействия в виде общих публикаций. При этом для отображения различной степени взаимодействия авторов используется параметр толщины ребра, который определяется пропорционально количеству общих научных работ. Отличительной особенностью системы является наличие интерактивного взаимодействия: при нажатии на отдельное ребро графа происходит его «раскрытие» – одно ребро с заданной толщиной заменяется на мультиребро, состоящее из соответствующего степени взаимодействия числа единичных ребер. Дополнительно на мультиребре отображается кружок, в котором отображена количественная характеристика взаимодействия: для удобства осуществления анализа пользователем.

Для реализации поставленной цели выбран подход с изображением различных характеристик объекта в унифицированном виде, а именно каждой характеристике из возможного набора ставится в соответствие свой цвет и для каждого объекта сопоставляются метки с цветами, соответствующими их характеристикам. В приложении доступны следующие наборы характеристик: типы публикаций, журналы, года публикации, коды ГРНТИ. Для каждой структурной единицы научной организации выборка характеристик осуществляется независимо, что гарантирует возможность выбрать достаточно отличающиеся друг от друга цвета.

Пример рабочего окна приложения, содержащий визуализацию в виде графа с метками отдельных вершин и результаты интерактивного взаимодействия с пользователем, в том числе экземпляры «раскрытых» и «нераскрытых» ребер, представлен на рисунке 1.

На представленном рисунке отображены основные элементы пользовательского интерфейса: поля меню и область визуализации. Поля меню реализуют возможность выбора отображаемых при визуализации данных: левое меню позволяет выбрать структурную единицу университета для рассмотрения, а правое меню позволяет осуществить выбор рассматриваемой характеристики для меток. Навигация в полях меню осуществляется при помощи стрелок, выбор отдельного элемента меню – путем нажатия на его название. Область визуализации реализует возможность взаимодействовать с графом: «раскрывать» и «закрывать» ребра нажатием на них.

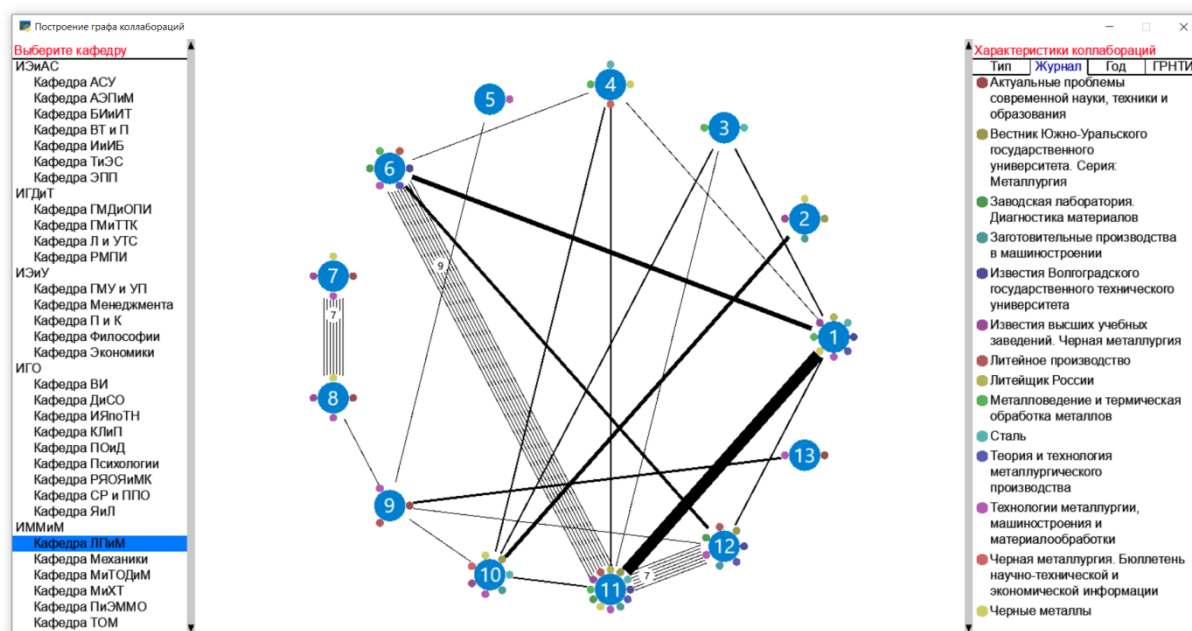


Рис. 1 – Пример рабочего окна приложения, демонстрирующий результаты взаимодействия с пользователем

Созданное программное обеспечение позволяет рассмотреть взаимодействия внутри научной организации и свойства отдельных объектов, что позволяет осуществлять комплексный качественный анализ публикационных коллабораций на основе предоставленной визуализации. Таким образом, использование программы упростит проведение наукометрических исследований публикационной активности профессорско-преподавательского, а также окажет содействие в решении ряда прикладных задач, касающихся обеспечения функционирования научных организаций.

Список литературы

1. Сорокин А.Б. Виртуальный робот мониторинга публикаций / А. Б. Сорокин, Р. Э. Семенов, Л. М. Железняк // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 4. – С. 200-202. – EDN ONCAOP.
2. Научные публикационные коллаборации: структурирование и визуализация информации / О. С. Логунова, Д. Я. Арефьева, Д. А. Сухов [и др.] // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2019. – № 5(92). – С. 22-41. – DOI 10.23859/1994-0637-2019-5-92-2. – EDN LMGUHT.
3. Воронина Т.И. Систематизация и визуализация данных распорядительных и организационных документов / Т. И. Воронина, С. Ю. Шмигирилов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 11. – С. 47-50. – EDN SLQZCO.
4. Логунова О.С. Эффективность управления публикационной активностью профессорско-преподавательского состава института Энергетики и автоматизированных систем / О. С. Логунова, Е. А. Ильина // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 12-4. – С. 748-753. – EDN XIIPTXX.
5. Логунова О.С. Динамика показателей публикационной активности профессорско-преподавательского состава Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова / О. С. Логунова, Л. Г. Егорова, В. В. Королева // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2015. – № 3(51). – С. 101-112. – EDN ULEZKT.
6. Тугашова Л.Г. Анализ показателей публикационной активности / Л. Г. Тугашова // Системный анализ в науке и образовании. – 2021. – № 2. – С. 77-82. – EDN EYMQYV.

2.3.1.

А.Ю. Перов, И.Е. Серебрянская

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
факультет Специальное машиностроение,
кафедра Автономных и информационных управляющих систем,
Москва, perovau@bmstu.ru

**ФОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ БЕСПИЛОТНЫХ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

В статье описывается получение математической модели построения температурного изображения беспилотных летательных аппаратов. Приведены практические рекомендации о формировании полигональной модели цели и результаты моделирования распределения температур по поверхности беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: тепловые изображения, температурный портрет, беспилотные летательные аппараты.

Введение

В настоящее время происходит интенсивное развитие информационных технологий, используемых в расчетах для получения температурного портрета. Одним из программных комплексов, направленных на решение инженерных задач, является CAE-системы (Computer-Aided Engineering), которые позволяют моделировать тепловые физические процессы.

ANSYS предоставляет очень обширные инструменты для проведения термического анализа на инженерном уровне. Основным при построении системы анализа с использованием различных инструментов ANSYS Mechanical является определение правильных граничных условий, создание оптимизированной структуры сетки, а также корректное определение тепловых и материальных условий.

В этой статье будет представлен термический анализ с использованием ANSYS Steady-State Thermal. Целью термического анализа является получение температурного портрета беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Распределение температуры, полученное в результате исследования, является необходимым знанием для обеспечения успешного формирования изображений в инфракрасном диапазоне.

Для изучения теплопередачи в массе механической детали или между компонентами механической сборки, которые должны быть определены тепловыми (физическими) величинами, такими как температура, температурный градиент и распределенный тепловой поток. Существует два типа термического анализа: стационарный термический анализ и нестационарный термический анализ. Стационарный термический анализ направлен на распределение температур корпуса и распределение теплового потока при достижении термической стабильности. Этот анализ применяется для получения первичных условий. Основные уравнения для анализа температуры и термических напряжений представлены далее.

Модель, методология и анализ моделирования

Проводимость – это способ передачи энергии в виде тепла из-за разницы температур в твердом теле или в месте теплового контакта. Микроскопически этот способ передачи энергии объясняется потоком свободных электронов с более высоких энергетических уровней на более низкие и столкновением молекул без перемещения массы.

Общей моделью для исследования проводимости является тело, в котором существуют тепловые потоки, распространяющиеся во всех направлениях. Суммарный тепловой поток на поверхности тела во всех рассматриваемых направлениях и тепло, выделяемое в объеме, составляют запасенную энергию(1). Это может быть выражено следующим образом [1]:

$$(Q_k + qV)d\tau = \rho c V dT, \quad (1)$$

где Q_k – тепло, проводимое по всем поверхностям, В,

q – коэффициент теплоотдачи на единицу объема, В/м³,

V – объем, м³, ρ – плотность, кг/м³,

c – удельная теплоемкость, Дж/кг · К,

$d\tau$ – рассматриваемый период времени, с,

dT – изменение температуры в течении рассматриваемого периода времени, °С.

Температура будет зависеть от местоположения и времени(2). Функция температуры может быть выражена как функция четырех переменных

$$T = T(x, y, z, t) \quad (2)$$

Температурный портрет получается путем вывода и решения дифференциального уравнения, основанного на соотношениях энергетического баланса для объема.

Рассмотрим объем с размерами dx, dy, dz в декартовой системе координат принимая во внимание временной интервал dt и принимая во внимание, что температура является функцией четырех переменных, следующие шаги приводят к общему дифференциальному уравнению.

Тепловой поток за счет проводимости получается путем рассмотрения проводимости по всем граням. Воспользовавшись законом Фурье, тепловой поток на поверхности $dydz$ в точке x за период времени $d\tau$ может быть выражена как $-k dydz \frac{\partial T}{\partial x} d\tau$. Знак минус

предназначен для учета того факта, что тепло передается в направлении снижения температуры. Температура может быть указана в кельвинах или градусах Цельсия – температурный градиент не зависит от того, какая из этих единиц используется. Константа пропорциональности k является свойством, известным как теплопроводность, и является характеристикой вещества. Соответственно, поток через $x + dx$ выражается

$= -k dydz \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(-k \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx$. Полный поток в направлении x (3) можно

выразить как сумму этих двух выражений:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{dT}{dx} dy \cdot dz \cdot d\tau \right) dx = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{dT}{dx} \right) dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau \quad (3)$$

Аналогично получим выражения для y (4) и z (5) направлений:

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{dT}{dy} \right) dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{dT}{dz} \right) dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau \quad (5)$$

Изменение энергии этого объема за время $d\tau$ при изменении температуры равно $\rho c \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot \partial T$. Общее выражение(6) упрощается если ввести следующие ограничения: dx, dy, dz не изменяются вдоль направлений координат, а k – постоянная:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{\rho c}{k} \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (6)$$

Определим коэффициент теплопроводности[2] как: $\alpha = \frac{k}{\rho c}$ и упростим выражение (6) до вида (7).

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (7)$$

Полное решение для общей модели в упрощенном виде представлены ниже (8). Их можно использовать для решения следующих задач:

1. Одномерный устойчивый поток с постоянными или переменными свойствами, без выделения тепла.
2. Одномерный устойчивый поток с постоянными или переменными свойствами, с выделением тепла.
3. Двумерный устойчивый поток с постоянными свойствами без выделения тепла.
4. Одномерное нестационарное состояние без выделения тепла.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) &= 0 \\ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} &= 0 \\ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\dot{q}}{k} &= 0 \\ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} &= \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau} \end{aligned} \quad (8)$$

Существует программное обеспечение позволяющее моделировать и решать задачи проводимости для различных типов граничных и начальных условий, однако необходимо иметь базовое представление о этой проблеме.

Так как в нашем случае геометрическая модель имеет сложную форму ее необходимо аппроксимировать элементарными объемами, расчет которых значительно облегчает наш анализ и дает возможность продемонстрировать даже такие сложные ситуации. Трехмерные сетки создаются автоматически в САПР Ansys. Существуют несколько популярных методов: Tetrahedrons, Sweep, Hex Dominant, MultiZone и Automatic. В данной работе был выбран метод Tetrahedrons, который позволяет генерировать объемные сетки с элементами, имеющими форму тетраэдров, на основе одного из двух методов: Patch Conforming и Patch Independent. Метод Patch Conforming был выбран, так как исходная геометрия имеет мелкие детали, выступы и скругления. Метод выполняется следующим образом: сначала происходит разбиение ребер и поверхностей модели, после чего строятся тетраэдры в объеме модели с учетом уже построенной сетки.

Правильная плотность сетки важна для получения корректных и информативных результатов. Для мест геометрии, где результаты представляют больший интерес, необходимо увеличить плотность сетки. Но оптимизация структуры сетки очень важна. ANSYS предоставляет множество видов инструментов оптимизации сетки для пользователей. Эти параметры использовались для получения требуемых сетчатых структур.

Необходимо определить наиболее важное свойство материала в стационарном тепловом анализе в ANSYS [3]. Из уравнений (8) становится понятным, что информативным является характеристика вещества k - теплопроводность. Для ее задания в среде ANSYS Mechanical необходимо выбрать материалы для геометрии анализа. В библиотеке материалов ANSYS доступно множество материалов по умолчанию. Необходимо учесть, что задание начальных условий для корректного анализа.

Результаты

В качестве основы для исходной модели БЛА был принят DJI Phantom 3. Его геометрия была создана в программе Autodesk Inventor 2022 в масштабе 1:1. Далее в проект Ansys Steady-State Thermal была импортирована созданная геометрическая модель. Шаг сетки был выбран исходя из геометрии модели и вычислительных способностей компьютерного обеспечения. В местах, представляющий больший интерес для формирования

температурного портрета шаг сетки увеличен для создания более точной точечной модели. Метод создания сетки, как уже было выше упомянуто Tetrahedrons.

Материалы были назначены в соответствии с характеристиками DJI Phantom 3: корпус – пластик ABS, корпус моторов – алюминий, катушки индуктивности в моторах – медь, аккумулятор – литий. Эти тела представляют интерес при формировании температурного портрета БЛА, так как изменение их температур формируют наибольший температурный поток.

Начальная температура тел, не формирующих тепловой поток, 22°C . Максимальная рабочая температура Моторов DJI 2312 960kv и аккумулятора Intelligent Flight Battery была взята исходя из характеристик DJI Phantom 3 – 66°C . В результате решения был получен результат, представленный на рисунке 1.

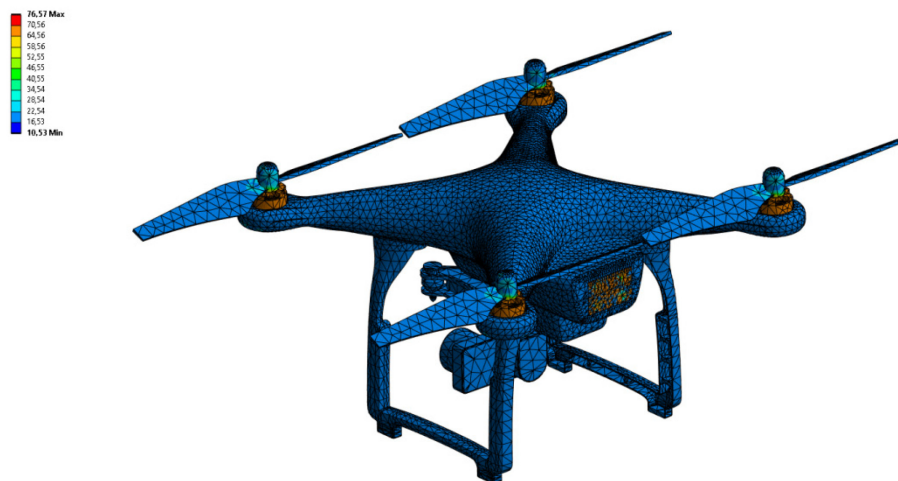


Рис. 1 – Результат стационарного моделирования в САПР Ansys Steady-State Thermal БЛА DJI Phantom 3

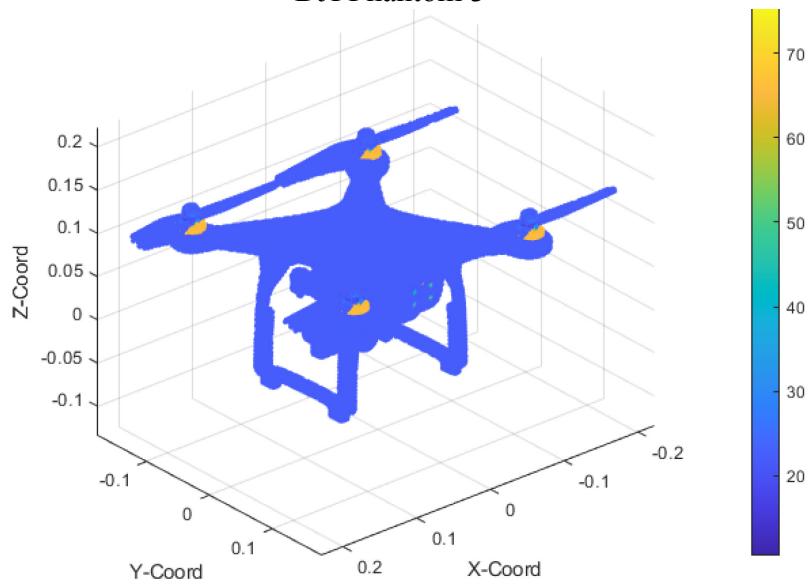


Рис. 2 – Температурный портрет, полученный в САПР MATLAB БЛА DJI Phantom 3

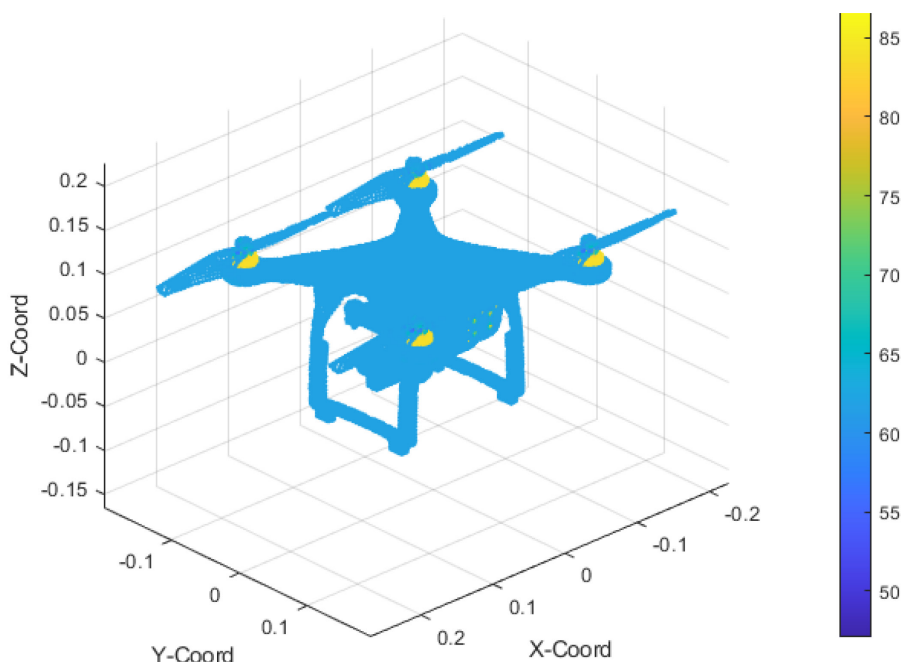


Рис. 3 – Температурный портрет, полученный в САПР MATLAB БЛА DJI Phantom 3 в логарифмическом масштабе

Получившиеся данные по сформированной многоточечной модели и распределению температурных потоков был создан температурный портрет в программе MATLAB. В созданный код были экспортированные полученные в результате моделирования параметры сетки и температурное распределение. Полученные результаты представлены на рисунках 2, 3 в исходном и логарифмическом масштабе.

Заключение

В статье представлена математическая модель построения температурного изображения БЛА DJI Phantom 3. Приведены практические рекомендации и результаты формирования полигональной сетчатой модели по твердотельной модели БЛА. По результат моделирования был сформирован многоточечный температурный портрет БЛА DJI Phantom 3 в инфракрасном диапазоне.

Список литературы

1. Kothandaraman C.P. Fundamentals Heat and mass transfer NEW AGE INTERNATIONAL (P) LIMITED, PUBLISHERS, 4835/24, Ansari Road, Daryaganj, New Delhi - 110002, 2006. 712 p.
2. Денисов М.А. Д33 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. ANSYS и САЕ-проектирование : учебное пособие / М. А. Денисов. Екатеринбург : УрФУ, 2011. 149 с.
3. Цаплин А.И. Моделирование теплофизических процессов и объектов в металлургии: учеб. пособие / А.И. Цаплин, И.Л. Никулин. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. – 299 с.

2.3.1.

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

**ПОЛНЫЙ ЦИКЛ ПОХОДКИ В ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛОСКОГО
ДВУНОГОГО РОБОТА**

В работе рассматривается схема устройства плоского двуногого робота и возможность получения циклической походки при условии, что лодыжки робота не приводятся в движение. При ходьбе походка состоит из последовательных фаз с одной опорой и мгновенных фаз с двойной опорой ног, которые моделируются уравнениями пассивного взаимодействия с поверхностью.

Ключевые слова: *двуногий робот, цикл походки, сагиттальная плоскость, динамическая модель.*

Введение

Двуногие роботы представляют собой сложную динамическую систему многопараметрической, нелинейной, сильно связанной, переменной структуры. Их разработка требует всестороннего применения новых технологий во многих областях, таких как компьютерные технологии, механика, электроника и искусственный интеллект [1]. Управление движением робота в компьютерных экспериментах реализуется посредством численного моделирования работы электромеханических приводов шарнирных углов.

Рассмотренная в работе основополагающая схема двуногого робота, свободная от каких-либо конструктивных предпочтений, говорит о принципиальной эффективности и возможности расширения использованного подхода для получения оптимальной циклической походки, комбинирования различных видов движения [2]. Чтобы получить непрерывную циклическую походку, применяются специальные ограничения при выборе начальных углов каждого звена, целевых функций и связанных с ними параметров походки. В данной работе рассматривается динамическая модель плоского двуногого робота, идущего по ровной поверхности. Траектории звеньев ноги аппроксимируются с помощью полиномиальных функций [3], [4], а их коэффициенты определяются с помощью уравнений связи, учитывающих физические характеристики походки.

Динамическая модель плоского двуного робота

Рассмотрим движение шагающей машины в сагиттальной плоскости [5]. Предположим, что робот состоит из твердого корпуса и двух одинаковых ног (рисунок 1). Каждая нога состоит из двух звеньев, сочлененных с коленом. Колени и бедра представляют собой вращательные суставы с одной степенью свободы. С корпусом связана прямоугольная система координат xu . Для описания двуногого робота на плоскости определим вектор $\mathbf{X} = (x, y, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \beta)^T$ обобщенных координат. Он содержит пять координат для ориентации ног и корпуса робота $\mathbf{q} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \beta)^T$; две координаты x, y расположены в тазобедренных суставах и задают координаты точки корпуса. Эти переменные описывают фазы покоя и переноса ног при формировании походки робота. Вектор $\mathbf{M} = (M_1, M_2, M_3, M_4)^T$ задает вращающие моменты, приложенные в тазобедренном и коленном суставах (рис. 1); силы $\mathbf{F}_1 = (F_{1x}, F_{1y})$ и $\mathbf{F}_2 = (F_{2x}, F_{2y})$ приложены к конечным точкам ног. Также учитывается инерция звеньев.

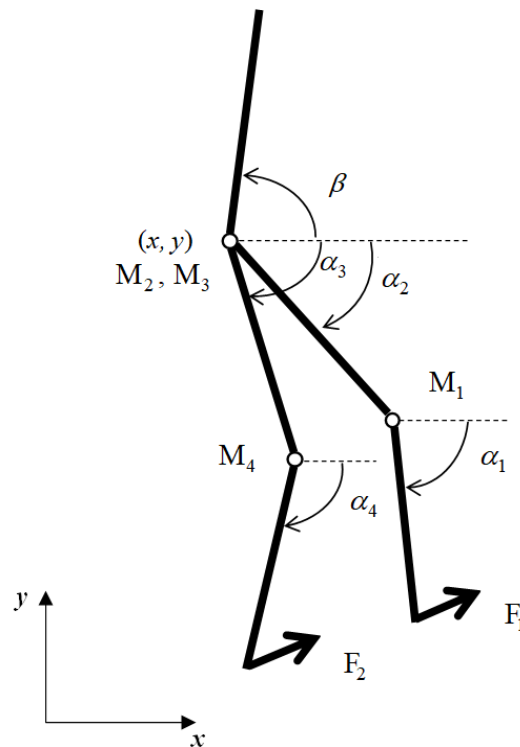


Рис. 1 – Схема устройства робота

В фазе опоры на ногу l на поверхность действует сила F_l , $l = 1, 2$, поэтому уравнения движения двуногого робота имеют следующий вид

$$A(q)\ddot{X} + H(q, \dot{q}) = D \cdot M + D_l(q)F_l^T \quad (1)$$

где $A_{7 \times 7}$ — матрица инерции, $H_{7 \times 1}$ — вектор кориолисовых, центробежных и гравитационных сил, матрицы $(D_l)_{7 \times 2}$, $l = 1, 2$, и $D_{7 \times 4}$ учитывают воздействие внешней силы и вращающих моментов [3]. Концевая точка опорной ноги не движется, поэтому ее скорость и ускорение равны нулю:

$$\begin{cases} D_l^T(q)\dot{X} = 0, \\ D_l^T(q)\ddot{X} + H_l(q, \dot{q}) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Принимая во внимание уравнения связи (2), в фазе опоры имеется пять степеней свободы и четыре привода. Таким образом, можно записать соотношение между ускорениями, скоростями и обобщенными координатами двуногого механизма, не зависящее от моментов:

$$f_s(q, \dot{q}, \ddot{q}) = 0 \quad (3)$$

где нижний индекс s обозначает фазу опоры. При нахождении соотношения (3) следует учитывать, что кинетический момент робота, записанный относительно концевой точки опорной ноги зависит только от гравитационных сил.

В условии, когда одна нога робота находится в фазе опоры, координаты x, y туловища и их производные можно вывести, используя предположение о поведении концевой точки опорной ноги (2) и движении ног. Затем по уравнению (3) можно определить изменение ориентации β , угловой скорости корпуса как функции ориентации и угловой скорости корпуса в конце отмеченной фазы опоры: $\beta_f, \dot{\beta}_f$.

Таким образом, если движения ног определены и $\beta_f, \dot{\beta}_f$ известны, то вектор X и его производные можно вывести с помощью равенств (2) и (3). Моменты и силы реакции опоры находятся из системы (1). Так как положение корпуса определяет соотношение (3), то система (1) будет иметь единственное решение.

Определение периодического движения при ходьбе

Планируемая траектория обладает свойством цикличности: два следующих шага должны быть одинаковыми. Условие периодичности следует использовать для определения траектории только на одном шаге и уменьшения количества параметров оптимизации. При перемещении лодыжка изучаемого робота не приводится в действие, поэтому количество конфигурационных переменных больше, чем количество приводов. Изменение положения корпуса записывается как функция параметров, описывающих движение ног. Чтобы получить циклическое движение, сам корпус должен иметь периодическое движение. Поскольку положение робота постоянно во время мгновенного пассивного удара – опускания ступни на опору, и ноги поочередно меняются местами, получается:

$$\alpha_{1i} = \alpha_{4f}, \alpha_{2i} = \alpha_{3f}, \alpha_{3i} = \alpha_{2f}, \alpha_{4i} = \alpha_{1f} \quad (4)$$

и

$$\beta_i = \beta_f \quad (5)$$

Индексы i, f соответствуют начальному (при $t=0$) и конечному (при $t=T$) состояниям робота соответственно.

Предполагается, что фаза пассивного воздействия такова, что нога « k », которая вступает в контакт с опорой, оказывает неупругий удар и не скользит, а нога с пометкой « l », которая ранее находилась в контакте, отрывается от поверхности. Уравнение воздействия можно получить интегрированием уравнения (1). Воздействие является пассивным, поэтому импульсный вращающий момент не применяется:

$$A(q)(\dot{X}^+ - \dot{X}^-) = D_k \cdot I_{Rk}, \quad (6)$$

где I_{Rk} — импульсная реакция, $\dot{X}^-$ и $\dot{X}^+$ — векторы скорости до и после пассивного удара об опору. Нога « k », $k=1,2$, подвергается неупругому воздействию без скольжения, поэтому скорость концевой точки стопы ноги сразу после воздействия равна нулю

$$D_k^T \cdot \dot{X}^+ = 0, \quad (7)$$

При этом должны выполняться некоторые ограничения: реакция I_{Rk} должна быть направлена вверх, и в конусе трения скорость концевой точки стопы ноги l ($l \neq k$) тоже должна быть направлена вверх [3].

Зная скорость робота до воздействия опоры можно определить скорость сразу после контакта ноги с помощью уравнений (6) и (7), то есть скорость робота есть функция переменных $\alpha_f, \dot{\alpha}_f, \beta_f, \dot{\beta}_f$.

В зависимости от выбранной походки (фаза опоры со сменой ног между двумя полушагами) знание скорости перед опусканием ноги на опору или в конце фазы опоры позволяет определить скорость в начале фазы опоры.

Следовательно, можно записать $\dot{\alpha}_l, \dot{\beta}_l$ как функции $\alpha_f, \dot{\alpha}_f, \beta_f, \dot{\beta}_f$:

$$\dot{\alpha}_l = g_\alpha(\alpha_f, \dot{\alpha}_f, \beta_f, \dot{\beta}_f), \quad \dot{\beta}_l = g_\beta(\alpha_f, \dot{\alpha}_f, \beta_f, \dot{\beta}_f). \quad (8)$$

В работе [3] угол звена в каждом сочленении – $\alpha_l, l=\overline{1,4}$, задается полиномиальной функцией времени. Используя (4) и (8), такие функции $\alpha_l, l=\overline{1,4}$, могут быть определены как функции от $\alpha_f, \dot{\alpha}_f, \beta_f, \dot{\beta}_f, \beta^*, T$, где β^* соответствует положению робота в момент времени $t=T/2$.

Заключение

Согласно исследованиям, коэффициенты полиномиальных функций определяют положение и скорость движения между двумя последовательными шагами двуногого робота. Оптимальному полному циклу ходьбы будут соответствовать максимальная скорость продвижения, минимальный вращающий момент и минимальная входная энергия, необходимая для такого вида походки. Чтобы правильно выбрать минимально возможный

порядок полинома и избежать при переносе столкновения концевой точки ноги с опорой, дополнительно определяется промежуточная конфигурация робота.

Список литературы

1. *Суразетдинов Р.Т., Деваев В.М., Камалов А.Р., Кацевман Е.М.* Программный комплекс моделирования и виртуализации антропоморфного робота AR-601 на основе систем ROS и GAZEBO // 7 Всероссийская научно-практическая конференция "Имитационное моделирование. Теория и практика", Москва, 23-25 окт., 2015. - М. 2015. Т. 2. С. 328-331.
2. *Rodman C.H., Martin A.E.* Developing Equations of Motion for a Planar Biped Walker with Nonuniform Foot Shape. *IFAC-PapersOnLine*. 2021. vol. 54. no. 20. P. 455-462.
3. *Aoustin Y., Formal'sky A., Chevallereau C.* Virtual quadruped: Mechanical design, control, simulation, and experimentation. *Journal of Mathematical Sciences*. 2007. vol. 147. no. 2. P. 6552-6568.
4. *Gorobtsov A.S., Ryzhov E.N., Polyanina A.S., Andreev A.E., Kohtashvili N.I.* The Control System Structure for the Stable Biped Robot Motion. *Proc. Creativity in Intelligent Technologies and Data Science*. Germany, Springer International Publishing AG. 2017. P. 231-241.
5. *Xiuping Mu, Qiong Wu.* Sagittal gait synthesis for a five-link biped robot. *Proceedings of the American Control Conference*. 2004. vol. 5. P. 4004-4009.

2.3.1.

**Д.А. Привалов, А.М. Самойлов, К.Г. Галстян,
Н.Г. Катков, Н.П. Тарасова, В.В. Андреев д-р техн. наук**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»,
Образовательно-научный институт ядерной энергетики и технической физики
им. академика Ф.М. Митенкова,
Нижегород, privalov.dima99@mail.ru

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ СУДОВЫХ ЯЭУ

В работе представлены качественная характеристика и сравнение результатов экспериментов по изучению теплогидравлических процессов в оборудовании судовых ядерных установок типа КЛТ-40 и РИТМ-200, а также возможные направления дальнейших экспериментальных исследований гидродинамических и теплообменных процессов в судовых ЯЭУ.

Ключевые слова: судовые ЯЭУ, гидродинамика теплоносителя, активная зона, внешнее воздействие.

С момента появления первого ядерного реактора актуализировались исследования гидродинамических процессов и процессов теплообмена в оборудовании судовых реакторных установок (РУ) [1]. К современным ядерным энергетическим установкам предъявляются требования по повышенному ресурсу оборудования, в особенности, активной зоны, а также по безопасной эксплуатации установок. Исследования и гидродинамические расчеты в ядерной энергетике связаны с течениями в каналах и сосудах, определением их характеристик, главными из которых являются гидравлическое сопротивление каналов различной формы и параметры теплопередачи. Режим эксплуатации транспортных ЯЭУ предусматривает многократное изменение мощности реактора, а также наличие внешних воздействий. В настоящее время реализуются три взаимосвязанных подхода к исследованиям процессов теплопереноса в активной зоне. Аналитический подход предусматривает разработку математических моделей, как правило, значительно упрощенных и лишь качественно описывающих протекающие процессы [2-5]. Численное решение задач теплообмена реализовано в многочисленных кодах и позволяет с конечной точностью разрешать системы уравнений, не поддающихся аналитическому решению (CAE и CFD) [6]. Экспериментальное моделирование теплогидродинамических процессов течения теплоносителя используются для верификации численных методов исследования теплопереноса и являются основой для аналитических исследований.

Эксперименты по исследованию параметров потока теплоносителя в элементах современных транспортных ЯЭУ проводятся на базе АО «Государственный научный центр Российской Федерации — Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского» (ФЭИ) [2-5], АО «ОКБМ Африкантов» [6], Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Национального исследовательского ядерного университета МИФИ [7-9], ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева» (НГТУ) [10-17]. На основе экспериментальных исследований в ФЭИ установлена неизвестная ранее закономерность распределения потока жидкости на выходе из проточных частей раздающих коллекторных систем [2-5]. Было получено, что для течения жидкости в коллекторе характерно преобразование одних типов струй в другие, наличие вихревых и застойных зон. Данные особенности характерны для применяющихся на данный момент конструкций реакторов и теплообменников.

В АО «ОКБМ Африкантов» созданы цифровые двойники для проектируемых реакторных установок, в частности, для РУ РИТМ-200. Внедрение данной технологии на ранних этапах проектирования позволило сократить сроки ввода ЯЭУ в эксплуатацию. По результатам применения технологии обоснована возможность снижения мощности реакторной установки РИТМ-200 при глушении части теплообменной поверхности парогенераторов и более чем двукратное повышение назначенного ресурса основного оборудования РИТМ-200 (до 320 тысяч часов) [6]. «Курчатовский институт» и МИФИ проводили расчетно-теоретические исследования по моделированию процессов гидродинамики и теплообмена в элементах теплогидравлического тракта судовой реакторной установки интегрального типа. Было получено, что в коллекторах возникают широкомасштабные вихри, рассматривалось влияние различных факторов, влияющих на исследуемые процессы: схема подачи теплоносителя, диаметр трубопроводов, гибы трубопроводов и кривизна проточных каналов. Вихреобразование сопровождается возникновением акустических колебаний [7-9]. Значительный объем экспериментальных исследований гидродинамики теплоносителя в активной зоне проведен в ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева».

В результате проведения экспериментальных работ определены особенности течения теплоносителя в реакторе КЛТ-40 за дистанционирующими решетками ТВС. Получено, что характер течения теплоносителя преимущественно осевой, радиальная перетечка между соседними ячейками составляет не более 5% общего расхода. Выявлено, что в периферийных ячейках наблюдается снижение расхода, по отношению к средней ячейке на величину порядка 20-30% в зависимости от геометрии ТВС и вытеснителей. Влияние на поток оказывают расстояния между ТВЭЛ в ТВС, взаимное расположение каналов и пластин дистанционирующей решетки. [10-13]. Результаты данного эксперимента позже были подтверждены аналитическими исследованиями [2-5]. На базе НГТУ проводились исследования по влиянию внешних динамических воздействий на теплогидравлические характеристики ЯЭУ. Установлено влияние периодических воздействий на неравномерность перемешивания теплоносителя и возникновение зоны застоя [14]. Проведено модельное исследование влияния одномерного гармонического воздействия, имитирующего влияние качки судна в одной плоскости, на теплогидравлические характеристики судовой ЯЭУ. Подтверждено соответствие ЯЭУ требованиям, предъявляемым к судовому оборудованию Морским регистром [15]. Исследованиями подтверждается интенсификация конвективной теплоотдачи в активной зоне при наличии внешних динамических воздействиях (качке судна), оказывающих положительное влияние на безопасность судовых ЯЭУ с точки зрения теплоотвода [16]. Одновременно установлено негативное влияние бортовой и килевой качки судна на длительность пребывания ЯЭУ при качке по критерию усталостного повреждения элементов активной зоны ввиду действия термоциклических нагрузок [17].

На основе анализа опубликованных в открытых источниках материалов можно заключить, что проведение теплогидравлических исследований является ключевым моментом не только с точки зрения обоснования безопасности современных судовых ЯЭУ, но и с точки зрения улучшения технико-экономических показателей разрабатываемых элементов для таких ЯЭУ. На данном этапе прослеживается стремление исследовать пути улучшения прочностных характеристик оборудования за счет нивелирования различного рода неравномерностей теплогидравлических параметров. В работах ФЭИ, МИФИ и Курчатовского института основное внимание уделяется влиянию вихреобразования и перемешивания потока. На основе этих данных создаются или уже разработаны элементы ЯЭУ, менее подверженные влиянию неизотермического перемешивания или акустических колебаний. По результатам НГТУ в настоящее время проектируются активные зоны судовых реакторных установок с оптимальными теплогидравлическими параметрами. Исследование течения теплоносителя через ТВС позволяет определить пути интенсификации теплообмена без ухудшения условий работы ТВС (повышение мощности без снижения ресурса и безопасности). Большая часть исследований носит экспериментальный характер, что является неотъемлемой частью теории

теплопереноса, однако на основании работ ФЭИ и ОКБМ можно увидеть тенденции к развитию CAE и CFD моделирования. Применение программных средств (ПС) позволит исследовать рассматриваемые процессы не только для решения локальных задач, но и для выявления общих закономерностей протекания процессов переноса тепла и массы. В настоящее время в мире накоплены многочисленные результаты экспериментальных исследований, что позволит верифицировать разрабатываемые ПС для решения широкого спектра задач без проведения экспериментов, которые часто связаны с серьезными финансовыми затратами.

Список литературы

1. Митенков Ф.М. Нестационарные режимы судовых ядерных паропроизводящих установок / Ф.М. Митенков, Б.И. Моторов. – Ленинград, Судостроение. –1970. – 200 с.
2. Дельнов В.Н. Свойство подобия гидродинамики раздающих коллекторных систем с различными условиями подвода жидкости в коллектор / В.Н. Дельнов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2018. № 5. С. 208-222.
3. Дельнов В.Н. Гидродинамика типичных раздающих коллекторных систем ЯЭУ: современные представления и перспективы исследования / В.Н. Дельнов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2020. № 4. С. 116-128.
4. Лунина С.В. Тестовые расчеты гидродинамики раздающих коллекторных систем теплообменников и реакторов ЯЭУ / С.В. Лунина, В.Н. Дельнов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2020. № 4. С. 129-137.
5. Дельнов В.Н. Применение схем течения и учет гидродинамических эффектов при совершенствовании раздающих коллекторных систем теплообменников и реакторов ЯЭУ / В.Н. Дельнов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2021. № 2. С. 200-217.
6. Большухин М.А. Подходы к созданию и применение суперкомпьютерного двойника ЯЭУ / М.А. Большухин, В.А. Болнов, А.В. Будников, М.Н. Ереев, М.В. Зотова, И.С. Зотов, А.Н. Лепехин, В.А. Панов, В.В. Петрунин, С.А. Рогожкин, Р.И. Романов, В.И. Фомичев. // Атомная энергия. 2020. Т. 129. № 2. С. 83-88.
7. Уртенев Д.С. Исследование эффектов закрутки потока в элементах теплогидравлического тракта транспортных ЯЭУ / Д.С. Уртенев, О.В. Митрофанова, А.Ш. Байрамуков // Труды седьмой российской национальной конференции по теплообмену: В 3х томах. Москва: Издательский дом МЭИ, 2018. Т. 1. С. 263-266.
8. Митрофанова О.В. Моделирование процессов гидродинамики и теплообмена в элементах теплогидравлического тракта транспортных ЯЭУ / О.В. Митрофанова, А.Ш. Байрамуков, О.А. Ивлев, И.Г. Поздеева, Н.А. Старовойтов, Д.С. Уртенев, А.В. Федоринов // Современные проблемы теплофизики и энергетики. 2020. С. 195-196.
9. Митрофанова О.В. Исследование влияния вихревых потоков на элементы ЯЭУ / О.В. Митрофанова, А.Ш. Байрамуков, О.А. Ивлев, Д.С. Уртенев, А.В. Федоринов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2021. № 4. С. 78-81.
10. Варенцов А.В. Экспериментальные исследования локального массообмена и эффективности перемешивания теплоносителя дистанционирующими решетками в ТВС реактора КЛТ-40С / А.В. Варенцов, Д.В. Доронков, Е.С. Купричева, Д.Н. Солнцев, В.Д. Сорокин // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2012. №1 (94). С. 107-113.
11. Варенцов А.В. Экспериментальные исследования массообменных характеристик потока теплоносителя в ТВС реакторных установок КЛТ-40С и РИТМ-200 / А.В. Варенцов, Д.Н. Солнцев, В.Д. Сорокин, М.А. Легчанов, А.Е. Хробостов // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2014. №5 (107). С. 47-51.
12. Варенцов А.В. Экспериментальные исследования локальных гидродинамических характеристик потока в тепловыделяющих сборках реакторной установки плавучей атомной электростанции / А.В. Варенцов, Д.В. Зяблицев, Д.Н. Солнцев, А.Н. Пронин, О.Н. Морозкин // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2012. №3 (96). С. 118-124.

13. *Бородин С.С.* Расчетно-экспериментальные исследования течения теплоносителя в активной зоне реактора плавучего энергоблока / С.С. Бородин, Д.В. Доронков, М.А. Легчанов, Е.Н. Полозкова, О.Б. Солдаткин, В.Д. Сорокин, А.Е. Хробостов // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2015. №3 (110). С. 117-126.
14. *Сатаев А.А.* Исследование процессов смешения неизотермических потоков на модели судовой ядерной энергетической установки / А.А. Сатаев, А.В. Дунцев // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2018. № 5. С. 26-32.
15. *Сатаев А.А.* Методика исследования теплогидравлических процессов при воздействии внешних динамических сил. / А.А. Сатаев, С.А. Чесноков, Д.И. Новиков, В.В. Андреев // Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 1-1. С. 23-30.
16. *Короваев В.А.* Системное исследование процесса теплоотдачи при свободной конвекции водяного теплоносителя вокруг горизонтального цилиндра при воздействии внешних динамических сил. / В.А. Короваев, А.А. Сатаев, В.В. Андреев // Научно-технический вестник Поволжья №10. 2022. С. 42-44.
17. *Сатаев А.А.* Создание экспериментальной базы и методики системной оценки влияния изменения пространственной ориентации на теплогидравлические процессы / А.А. Сатаев, В.В. Андреев, А.М. Самойлов, А.А. Блохин // Труды Крыловского государственного научного центра. 2021. Специальный выпуск 2: С. 70–75.

2.3.1.

А.В. Рысистов, Н.А. Максимов канд. техн. наук

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
факультет «Системы управления, информатика и электроэнергетика»,
кафедра 307 «Цифровые технологии и информационные системы»,
Москва, n-a-maximov47@yandex.ru

**АЛГОРИТМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БПЛА
НА РАЗНОСЕЗОННЫХ СНИМКАХ МЕСТНОСТИ
ЧАСТЬ I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ
И АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ЕЕ РЕШЕНИЮ**

В работе рассматривается принцип построения инвариантного к сезонным изменениям подстилающей поверхности алгоритма позиционирования БПЛА на основе визуальной информации, поступающей с камеры, закрепленной на борту БПЛА.

Ключевые слова: *БПЛА, позиционирование, метод Монте-Карло, фильтр частиц, компьютерное зрение, сиамская нейронная сеть, подобие изображений, сезонные изменения.*

На сегодняшний день беспилотные летательные аппараты (БПЛА) являются одной из самой быстроразвивающихся и перспективных областей науки и техники. Это связано с огромным потенциалом БПЛА в решении сложных задач в различных областях жизни, таких как картография, охрана, наблюдение и мониторинг, нефтепромышленность, сельское хозяйство, спасательные миссии, разведка.

Во всех перечисленных приложениях актуальным и важным является вопрос автоматического позиционирования, навигации и управления. По степени зависимости от внешней инфраструктуры методы позиционирования, используемые в авиации сегодня, как правило, на два основных типа:

- автономное позиционирование;
- неавтономная позиционирование.

Автономное позиционирование позволяет БПЛА определять его местоположение и ориентацию с помощью только бортовых датчиков; при этом какие-либо внешние элементы, например, спутниковые системы или наземная инфраструктура, не требуются.

Неавтономное позиционирование подразумевает наличие вспомогательных систем в космосе или на земле для предоставления дополнительной информации с ее последующей обработкой на борту БПЛА.

Однако, несмотря на то, что неавтономные навигационные системы обеспечивают достаточно высокую точность позиционирования, непрерывность и целостность выработки данных в любых авиационных применениях, у них существуют ряд недостатков, таких как: отсутствие автономности, потеря и затухание сигнала, подверженность блокировке сигнала и уязвимость к подменным атакам противника, естественные и искусственные помехи, вызванные погодой или рельефом местности.

Такие недостатки могут стать очень критичными в рамках некоторых задач, выполняемых БПЛА, в частности, при выполнении удаленных операций в регионах с ограниченной доступностью навигационной инфраструктуры или военных операций. В таких задачах БПЛА должны иметь средства автономной навигации. Поскольку возможности инерциальных датчиков в целом ограничены, требуются альтернативные бортовые автономные навигационные датчики.

В идеальной системе автономного позиционирования беспилотный летательный аппарат мог бы определять свое местоположение с помощью бортовых датчиков, не завися от наличия какой-либо инфраструктуры. Наиболее приоритетной связкой таких датчиков

является комбинация инерциальной навигационной системы (ИНС) и камеры видеонаблюдения, закрепленной на борту БПЛА, так как система данной конфигурации имеет наименьшую стоимость по сравнению с другими. Решения для инерциальной и визуально-инерциальной одометрии (VIO) [1] позволяют обеспечить отслеживание собственного движения агента в краткосрочной перспективе. Однако, данные решения интегрируют зашумленные сигналы, поэтому значительная ошибка локализации накапливается в течение более длительного периода без дальнейшей коррекции. Системы одновременной локализации и картографирования (SLAM) [2] помогают уменьшить эту ошибку, но только в случае, если БПЛА пересекает одну и ту же область несколько раз во время миссии, что не всегда применимо. Причем коррекция, обеспечиваемая SLAM, является лишь частичной, и ни системы SLAM, ни VIO не предоставляют координаты с географической привязкой без дополнительной информации. В случае использования методов компьютерного зрения в рамках систем автономного позиционирования необходимо определить способ сопоставления визуальной информации датчиков с картой с географической привязкой. Однако, обеспечение соответствия между наблюдениями БПЛА и картой является нетривиальной задачей. Кроме того, что условия съемки меняются из-за различий в оборудовании для обработки изображений, смены высоты полета, освещения и погоды, основной проблемой является значительная смена внешнего вида местности в зависимости от сезона.

Именно поэтому одной из основных задач, которые решаются в области разработки систем автономной навигации на основе компьютерного зрения на сегодняшний день – это получение инвариантных к различным изменениям подстилающей поверхности методов определения координат БПЛА. В число таких изменений входят изменения местности, вызванные сезонными и погодными факторами.

В данной работе приводится алгоритм автономного визуального позиционирования БПЛА, не зависящий от сезонных изменений подстилающей поверхности. В основе алгоритма лежит модель глубокого обучения для сопоставления изображений с сезонно-инвариантной локализацией, при котором латентная информация, полученная из изображения с камеры БПЛА, используется для установления соответствия с эталонной ортопроекцией карты местности. В качестве данных для обучения и валидации модели определения меры подобия между изображениями используется набор, состоящий из спутниковых снимков одной и той же местности, сделанных в различные сезоны и при различных погодных условиях. Полученную модель мы позиционирования БПЛА в рамках метода локализации Монте-Карло (MCL) [3]. Мы демонстрируем, что, начиная с неточной инициализации, представленный метод обеспечивает значительно меньшее время конвергенции и меньшую ошибку локализации, чем шесть базовых методов.

1. Постановка задачи позиционирования

В общем случае решением задачи позиционирования в некоторый момент времени $t = \{t_0, t_1, \dots, t_\tau\}$, в который определяются координаты, является вектор состояния $s^{(t)}$, определяемый в следующем виде:

$$s^{(t)} = (x^{(t)}, y^{(t)}, z^{(t)}, \gamma^{(t)}, v^{(t)}, \vartheta^{(t)})^T,$$

где $x^{(t)}$, $y^{(t)}$, $z^{(t)}$ – координаты в картографической трехмерной системе координат, $\gamma^{(t)}$ – угол крена, $v^{(t)}$ – угол тангажа, $\vartheta^{(t)}$ – угол курса в момент времени t .

В рамках данной работы предполагается, что углы крена $\gamma^{(t)}$ и тангажа $v^{(t)}$ определяются с помощью ИНС. Высота полета $z^{(t)}$ является, как уже было обозначено ранее, постоянной и заданной заранее или определяется с помощью метода ортопроекций, представленного в работе [3]. В качестве системы координат местности зафиксируем выбор на геодезической системе координат WGS 84 EPSG: 4326.

Таким образом, задача позиционирования, рассматриваемая в данной работе, сводится к задаче оценке координат вектора $s^{(t)} = (x^{(t)}, y^{(t)}, \vartheta^{(t)})^T$, где $x^{(t)}$ и $y^{(t)}$ – широта и долгота соответственно.

Тогда исходная цель работы сводится к построению алгоритма оценки вектора состояния $\hat{s}^{(t)} = (\hat{x}^{(t)}, \hat{y}^{(t)}, \hat{\vartheta}^{(t)})^T$ на основе визуальной информации, поступающей с камеры, закрепленной на БПЛА.

Ошибка определения координат $\varepsilon_{xy}^{(t)}$ (в метрах) в каждый момент времени t будем определять исходя из предположения, что местность, над которой пролетает БПЛА можно принять за плоскость. Тогда в качестве ошибки можно использовать географическое расстояние между точками в сферической проекции Земли на плоскость:

$$\varepsilon_{xy}^{(t)} = E_{xy}(s^{(t)}, \hat{s}^{(t)}) = R \sqrt{(x^{(t)} - \hat{x}^{(t)})^2 + \cos\left(\frac{y^{(t)} + \hat{y}^{(t)}}{2}\right) (y^{(t)} - \hat{y}^{(t)})^2} \quad (1)$$

где R – радиус Земли, м (принят равным $R = 6\,371\,302$), $x^{(t)}$, $y^{(t)}$ и $\hat{x}^{(t)}$, $\hat{y}^{(t)}$ – географические координаты (широта и долгота) истинного положения БПЛА и их оценки соответственно в момент времени t , выраженные в радианах;

Ошибка определения угла курса $\varepsilon_{\vartheta}^{(t)}$ (в градусах) в момент времени t будем определять как:

$$\varepsilon_{\vartheta}^{(t)} = E_{\vartheta}(s^{(t)}, \hat{s}^{(t)}) = |\vartheta^{(t)} - \hat{\vartheta}^{(t)}|. \quad (2)$$

Если задан некоторый маршрут движения БПЛА $D = \{(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_{\tau}, y_{\tau})\}$, с конечным числом точек τ , в которых определяются координаты БПЛА (назовем их контрольными), то агрегированные ошибки определения координат $\bar{\varepsilon}_{xy}$ и угла курса $\bar{\varepsilon}_{\vartheta}$ на всей траектории в общем случае будут определяться как:

$$\bar{\varepsilon}_{xy} = \int_D E_{xy}(s^{(t)}, \hat{s}^{(t)}) = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} E_{xy}(s^{(t=t_i)}, \hat{s}^{(t=t_i)}), \quad (3)$$

$$\bar{\varepsilon}_{\vartheta} = \int_D E_{\vartheta}(s^{(t)}, \hat{s}^{(t)}) = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} E_{\vartheta}(s^{(t=t_i)}, \hat{s}^{(t=t_i)}), \quad (4)$$

2. Методика позиционирования

Для оценки вектора $\hat{s}^{(t)}$ используется метод локализации Монте-Карло (MCL) или фильтр частиц – рекурсивный численный метод, предназначенный для оценки вектора состояния подвижной системы.

Метод Монте-Карло представляет собой алгоритм определения состояния объекта управления (робота) на основе ограниченного конечного пространства вероятных состояний (частиц), в которых может находиться объект: $Q^{(t)} = \{q_1^{(t)}, q_2^{(t)}, \dots, q_n^{(t)}\}$, $|Q^{(t)}| = n$. Элементами данного пространства состояний являются вектора $q_i^{(t)} \in \mathbb{R}^m$, такие что: $q_i^{(t)} = (q_{i1}^{(t)}, q_{i2}^{(t)}, \dots, q_{im}^{(t)})^T$, $i \in 1..n$. Учитывая известное заранее множество возможных состояний, в которых может находиться объект, алгоритм оценивает истинное состояние объекта управления на основе информации, поступающей с различных датчиков в текущий момент времени и информации о своем предыдущем состоянии.

Каждая из частиц в свою очередь содержит информацию о вероятном состоянии объекта, и ей соответствует дополнительный параметр, именуемый весом частицы ω_i . Его интерпретация – оценка условной вероятности того, что истинное состояние $s^{(t=t_j)}$, что в момент времени $t = t_j$ соответствует состоянию частицы $q_i^{(t)}$:

$$\omega_i^{(t)} = \hat{P}(s^{(t=t_j)} = q_i^{(t=t_j)}), i \in 1..n.$$

Инициализация частиц координат частиц происходит на основе равномерного распределения по конфигурационному пространству: $q_{ij}^{(t=0)} \sim R(s_j^{min}, s_j^{max})$, где s_j^{min} и s_j^{max} – минимально и максимально возможные значения j -ой координаты вектора состояния $s^{(t)}$.

В момент получения измерения одометрии новое состояние для каждой частицы выбирается в соответствии с распределением измерения одометрии. Визуальная информация, полученная с бортовой камеры БПЛА используется для обновления веса каждой частицы. Для этого вводится некоторая мера подобия $c_i^{(t)} \in \mathbb{R}$ между изображением,

полученным с камеры БПЛА - $I_{s(t)}$, и изображением, соответствующим частице $q_i^{(t)}$, обозначим - $I_{q_i^{(t)}}$

Функция меры подобия изображений $c_i^{(t)}$ будет задаваться некоторым отображением, назовем его *отображением подобия изображений*, L следующего вида:

$$c_i^{(t)} = L(I_{q_i^{(t)}}, I_{s(t)}), \quad i \in 1..n.$$

Отображение подобия изображений L задается в виде сиамской нейронной сети, архитектура которой описана ниже.

Предположим, что отображение L задано. Тогда для того, чтобы определить вес $\omega_i^{(t)}$ i -ой частицы необходимо оценить условную вероятность того, что БПЛА находится в состоянии $s^{(t)}$, если коэффициент подобия изображений $I_{q_i^{(t)}}$ и $I_{s(t)}$ равен $c_i^{(t)}$:

$$\omega_i^{(t)} = P(s^{(t)} | c_i^{(t)}).$$

В соответствии с формулой апостериорной вероятности Байеса данная вероятность оценивается как:

$$\omega_i^{(t)} = P(s^{(t)} | c_i^{(t)}) = \frac{P(c_i^{(t)} | s^{(t)})}{P(c_i^{(t)} | s^{(t)}) + P(c_i^{(t)} | \neg s^{(t)})}. \quad (5)$$

Для вычисления (5) необходимо оценить вероятность $P(c_i^{(t)} | s^{(t)})$. Ее оценка производится с помощью аппроксимации некоторой функцией, построенной на специальных выборках истинных позиций $s^{(t)}$ и соответствующих им изображениям, используя оценку плотности гауссовского ядра с правилом полосы пропускания Скотта [4]. Аналогично оценивается вероятность $P(c_i^{(t)} | \neg s^{(t)})$. Таким образом, функция вероятности $P(s^{(t)} | c_i^{(t)})$ заменяется на аппроксимацию, некоторой функцией $F(c_i^{(t)})$, которая строится на основе отложенного набора данных: $\omega_i^{(t)} = F(c_i^{(t)})$.

После вычисления весов частиц выполняется их нормировка, чтобы выполнялось свойство нормировки вероятности:

$$\omega_i^{(t)} = \frac{\omega_i^{(t)}}{\sum_{i=1}^n \omega_i^{(t)}}. \quad (6)$$

Для того, чтобы «слабые» частицы с низким значения веса не использовались в вычислении оценки вектора состояния $\hat{s}^{(t)}$, вводится некоторая процедура выделения из множества $Q^{(t)}$, так называемых, «сильных» (strong) частиц, именуемая сэмплингом.

Обновление состояния самих частиц выполняется в соответствии с алгоритмом фильтра частиц и сэмплингу с низкой дисперсией, описанным в [5]. После каждого обновления выполняем повторную выборку.

3. Методы поиска подобия изображений

Ранее было отмечено, что для завершения построения алгоритма позиционирования необходимо задать отображение L , которое определяет функцию вычисления меры подобия $c_{I_1, I_2} = c_i^{(t)} = L(I_1, I_2)$ между изображением $I_1 = I_{s(t)}$, полученным с камеры БПЛА, и изображением $I_2 = I_{q_i^{(t)}}$, соответствующим частицам $q_i^{(t)}$, $i \in 1..n$ в момент времени t .

На рисунке 1 приведена общая концепция вычисления меры подобия изображений $I_{s(t)}$ и $I_{q_i^{(t)}}$ в контексте алгоритма позиционирования БПЛА.

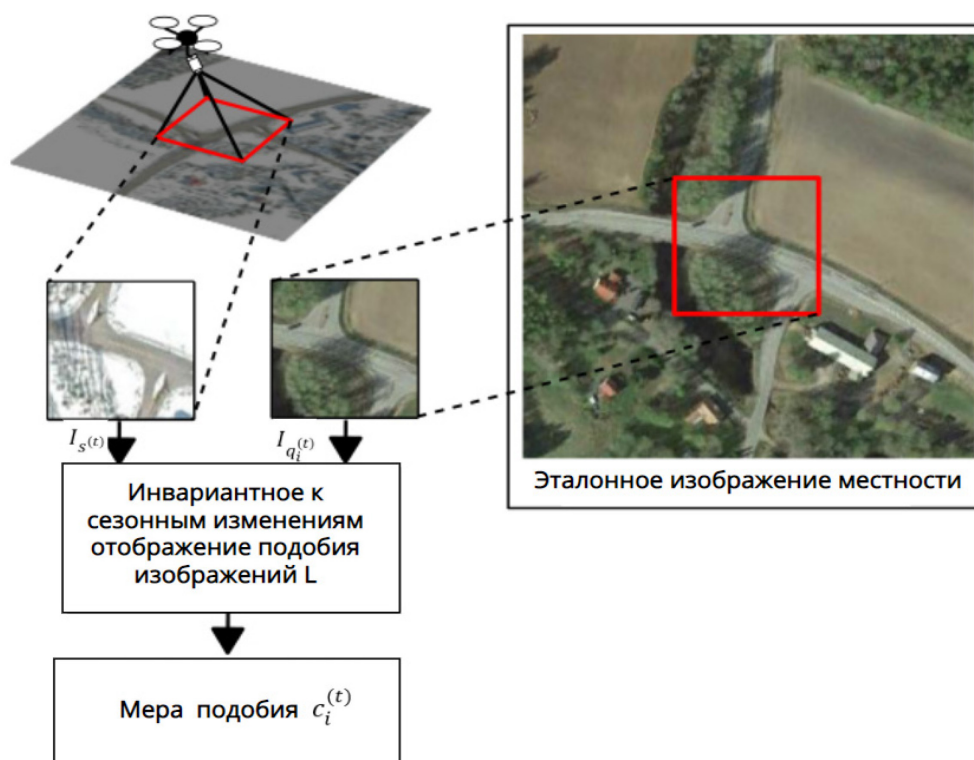


Рис. 1 – Определение меры подобия изображений
в контуре системы позиционирования БПЛА

В данном разделе приводится краткий обзор популярных методов вычисления подобия изображений, описываются их недостатки и предлагается методика построения отображения L .

Стоит отметить, что задача определения того, насколько два изображения соответствуют друг другу, довольно сложна, поскольку существует большое количество факторов, влияющих на конечный внешний вид изображения. В них входит: изменение точки съемки, общего освещения сцены, различного рода перекрытия, затенение, различия в настройках камеры и т.д.

Наиболее простым способом поиска коэффициента подобия изображений является введение некоторой непараметрической взаимно-корреляционной функции. Данный подход находит свое отражение в таких мерах подобия изображений, как нулевая перекрестная корреляция (ZNCC) [6] и нормализованный момент инерции (NMI) [7]. Ключевым недостатком данных методов является неустойчивость к ситуациям, когда количество вариаций в семантическом пространстве мало. Это может быть, например, когда БПЛА пролетает над большой лесной территорией – даже несмотря на различия в структуре леса, его семантическая классификация остается постоянной и не несет полезной информации для локализации. Также у методов наблюдается низкая устойчивость к сильным изменениям текстуры подстилающей поверхности, которые возникают при смене сезонов.

Следующими представителями алгоритмов сопоставления изображений, стремящимися к получению инвариантности, являются детекторы, основанные на выделении на изображении характерных точек, такие как ORB, SIFT, SURF, используемые в работах [8, 9, 10]. Принцип определения характерных (ключевых) точек индивидуален для каждого алгоритма, однако, как правило, он базируется на переходах яркости и изменениях текстуры в изображении. Каждой ключевой точке ставится в соответствие вектор, именуемый дескриптором ключевой точки, $d_k = (d_{k1}, d_{k2}, \dots, d_{kl})$, $k \in 1..K$, $d_k \in \mathbb{R}^l$, где K – число ключевых точек, выделяемых алгоритмом, l – размерность дескриптора. Основное требование к такому вектору – устойчивость к изменениям яркости, аффинным преобразованиям (поворот, масштабирование) и проективным преобразованиям. Способ формирования дескрипторов, также зависит от конкретного алгоритма.

Процесс определения меры подобия изображений c_{I_1, I_2} с помощью таких методов в большинстве случаев предполагает, как минимум, три шага:

1. Выделение ключевых точек $H = \{h_i\} = \{(x_k, y_k)\}$, где $h_i = \{(x_i, y_i)\}$, $i \in 1..K$ – координаты ключевой точки на изображении и формирование соответствующим им дескрипторов $D = \{d_k\}$, $k \in 1..K$, $d_k \in \mathbb{R}^l$.

2. Сопоставление дескрипторов на изображениях, с помощью различных методов. Наиболее часто используются методы, основанные на поиске ближайших соседей.

3. Формирование меры подобия c_{I_1, I_2} двух изображений на основе сопоставленных дескрипторов с помощью различных функций расстояния. Методология вычисления меры подобия с помощью алгоритма SIFT представлен в работе [11].

Такая трехэтапная процедура, как правило, предполагает заблаговременное выделение ключевых точек и дескрипторов на эталонных изображениях, что может быть затруднительным в условиях наличия большой базы данных эталонных снимков. Еще одним недостатком является тот факт, что создаваемые с помощью подобных алгоритмов дескрипторы могут быть неспособны оптимальным образом учитывать все вышеупомянутые факторы, которые определяют внешний вид изображений. Например, ни один из приведенных алгоритмов, не являются инвариантным к сильным изменениям в перспективе и сильным изменениям текстуры подстилающей поверхности,

которые возникают при смене сезонов. Другой способ поиска подобия изображений БПЛА и картой - семантические функции. В нескольких работах полученное с камеры БПЛА изображение сначала преобразуется в классификацию промежуточного класса местности (с использованием одного класса, такого как здания [12] или дороги [13] или несколько классов [14].

Далее, объекты в семантическом представлении (такие как дорога и геометрия перекрестков, общие дескрипторы формы или объекты, обнаруженные на сегментированных изображениях) используются в качестве ориентиров для

локализации. К недостаткам упомянутых методов можно отнести: высокие требования к разметке изображений (от качества разметки сегментации

объектов в обучающей выборке напрямую зависит точность позиционирования), низкое качество позиционирования на местностях с отсутствием явных ориентиров (например, лесной местности), а также низкая производительность данных подходов. Еще один подход к решению задачи позиционирования БПЛА - рассматривать ее как последовательность преобразований гомографии между изображением БПЛА и эталонной картой. В работе [15] авторы подбирают параметры гомографии, чтобы получить максимальную взаимную информацию (MI) с использованием модели, которая преобразует исходное изображение с камеры в латентное пространство объектов, чтобы добавить методу свойство сезонной инвариантности. В обеих работах предполагается, что исходная позиция БПЛА является заранее известной. Оба решения проверяют одну гипотезу, которая, вероятно, приведет к потере возможности позиционирования в случае длительного периода неопределенности на местности.

В этой связи возникает необходимость использовать методы определения подобия изображений, свободных от перечисленных недостатков. На сегодняшний день широкое развитие в данном направлении получили нейросетевые подходы, в частности сиамские нейронные сети (англ. SNN - Siamese Neural Network). Рассмотрению такого подхода и проведенным экспериментам будет посвящена вторая часть настоящей статьи.

Список литературы

1. Scaramuzza D. and Zhang Z., *Aerial Robots, Visual-Inertial Odometry* of. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. – 2020.
2. SLAM (метод) [Электронный ресурс] – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/SLAM_\(метод\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/SLAM_(метод)) (Дата обращения 2022-03-10).
3. Scott D.W., *Multivariate Density Estimation*. John Wiley & Sons, Ltd – 1992.
4. Kinnari J., Verdoja F., Kyrki V. GNSS-denied geolocalization of UAVs by visual matching of onboard camera images with orthophotos. –(Дата обращения 2021 20th International Conference on Advanced Robotics (ICAR), URL: <https://www.researchgate.net/publication/357616921> (Дата обращения 2022-03-10).
5. Jurevicius R., Marcinkevicius V., Seibokas J. Robust GNSS Denied Localization for UAV Using Particle Filter and Visual Odometry. URL: <https://www.researchgate.net/publication/336869052>–2019. (Дата обращения 2022-03-10).
6. Luigi D.S., Mattoccia S., Tombari F. ZNCC-based template matching using bounded partial correlation // *Pattern Recognition Letters* 26, pp.65-78 – 2005.
7. Studholme C., Hill D.L.G., Hawkes D.J. An overlap invariant entropy measure of 3d medical image alignment // *Pattern Recognition* 32 (1), pp. 71–86. External Links: ISSN 0031-3203. – 1999.
8. Степанов Д.Н. Методики сопоставления особых точек в задаче визуальной навигации БПЛА // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Вычислительная математика и информатика»*, с. 32-45 – 2015.
9. Корнеев М.А., Максимов А.Н., Максимов Н.А. Методы выделения точек привязки для визуальной навигации беспилотных летательных аппаратов // *Электронный журнал «Труды МАИ»*. Выпуск №58. С.1-22, 2015. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/> ((Дата обращения 2022-03-10).
10. Рысистов А.В, Максимов Н.А. Автоматическое позиционирование БПЛА с помощью компьютерного зрения // *Информационные технологии в деятельности органов внутренних дел– Сб. статей Всероссийской конференции. 22 апреля 2021г. М.: Московский университет МВД России имени В.Я. Кикотя, 2021 с. 168-175 Научное электронное издание.*
11. Hua S., Chen G., Wei H., Jiang Q. Similarity measure for image resizing using SIFT feature // *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, pp.46-59 – 2012.
12. Choi J. and Myung H., “Brm localization: Uav localization in gnss-denied environments based on matching of numerical map and uav images,” 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 4537–4544. – 2020.
13. Dumble S.J. and Gibbens P., “Airborne vision-aided navigation using road intersection features,” *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, pp. 185–204. – 2015.
14. Schleiss M., “Translating aerial images into street-map-like representations for visual self-localization of uavs,” *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 575–580. – 2019.
15. Goforth H. and Lucey S., “Gps-denied uav localization using pre-existing satellite imagery,” in 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). –pp.123-137 - 2019.

2.3.1.

А.В. Рысистов, Н.А. Максимов канд. техн. наук

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
факультет «Системы управления, информатика и электроэнергетика»,
кафедра 307 «Цифровые технологии и информационные системы»,
Москва, n-a-maximov47@yandex.ru

**АЛГОРИТМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БПЛА
НА РАЗНОСЕЗОННЫХ СНИМКАХ МЕСТНОСТИ
ЧАСТЬ II. СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗНОСЕЗОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
И ЭКСПЕРИМЕНТЫ С РАЗРАБОТАННЫМИ АЛГОРИТМАМИ
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

Предлагается метод вычисления подобия разносезонных изображений местности. Полученная мера подобия используется в основе алгоритма фильтра частиц для оценки положения БПЛА.

Оценивается эффективность полученного метода сопоставления изображений в рамках системы позиционирования БПЛА и результаты сравнения разработанного метода сопоставления изображений с существующими.

Ключевые слова: БПЛА, позиционирование, фильтр частиц, компьютерное зрение, сиамская нейронная сеть, подобие изображений, сезонные изменения.

Построение отображения подобия

В качестве отображения L используется обученная сиамская нейронная сеть (англ., SNN - Siamese Neural Network). Архитектура SNN является двухкомпонентной состоит из двух основных модулей:

– Branch-подсеть – сверточная нейронная сеть, предназначенная для формирования латентного компактного представления признакового пространства поступающего на ее вход изображения;

– Decision-подсеть – часть общей архитектуры, выполняющая аппроксимацию функции расстояния $d(r_i, r_j)$, определяющую меру удаленности между входными изображениями. По своей архитектуре представляет полносвязную нейронную сеть (многослойный персептрон), определяющую финальное предсказание меры подобия. Модель имеет два входа, каждый из которых является вектором, полученным из одной из трех сиамских branch-подсетей.

На рисунке 1 представлена схема вычисления меры подобия $c_i^{(t)}$ между изображением, полученным с камеры БПЛА - $I_{s^{(t)}}$ и изображением, соответствующем частице $I_{q_i^{(t)}}$ в момент времени t :

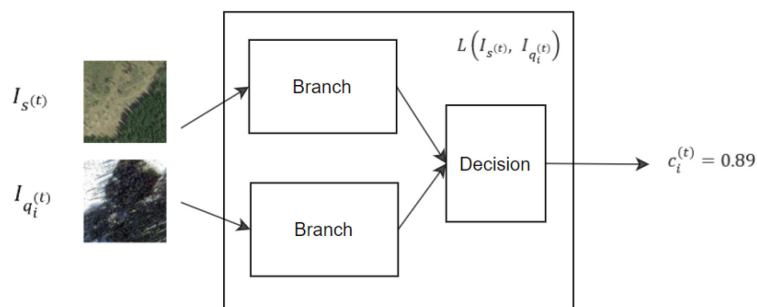


Рис. 1 – Схема вычисления меры подобия $c_i^{(t)}$ на основе отображения L , представленного сиамской нейронной сетью

На рисунке 2 представлены архитектура branch (а) и decision (б) -подсетей:

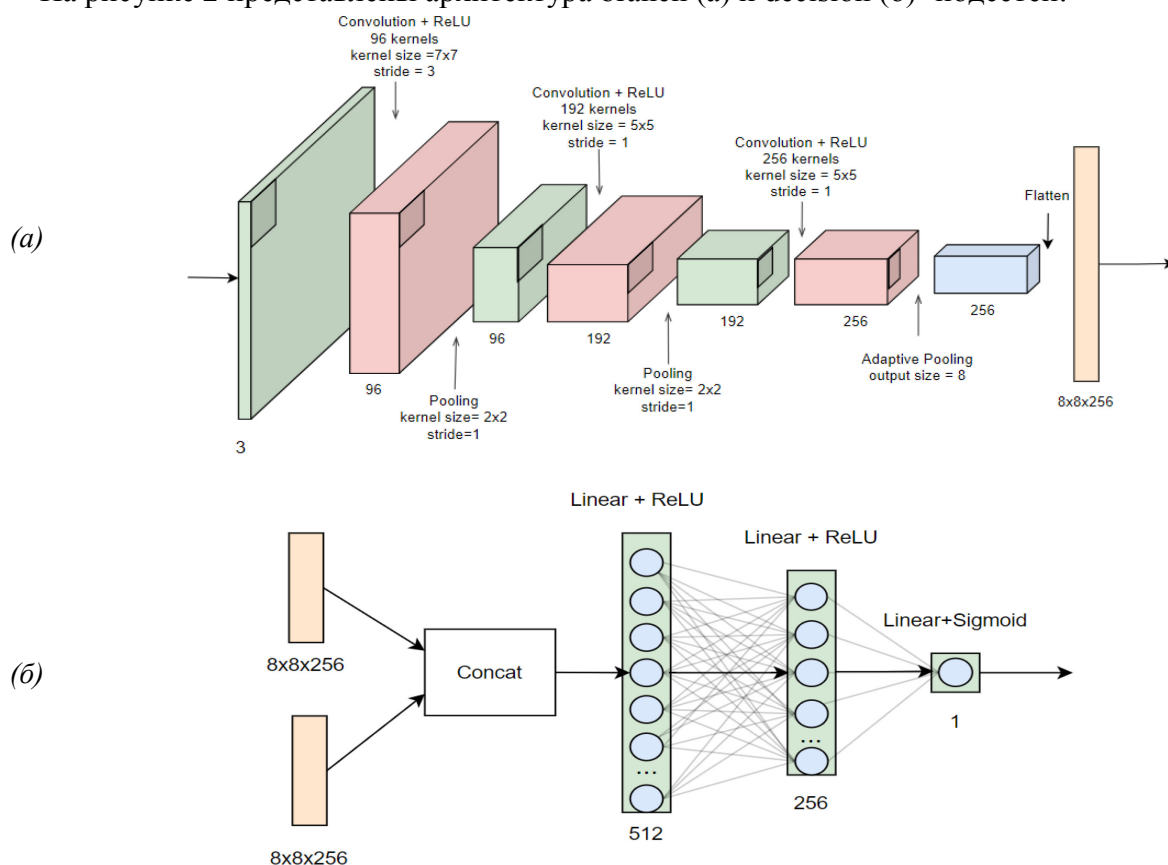


Рис. 2 – Архитектура branch(а) и decision(б) -подсетей

На рисунке 3 представлена схема обучения branch и decision подсетей. Для обучения используется триплет-схема [1] обучения сиамских сетей. В качестве функции потерь используется перекрестная кросс-энтропия, в качестве оптимизатора – Adam с темпом обучения $\eta = 10^{-3}$.

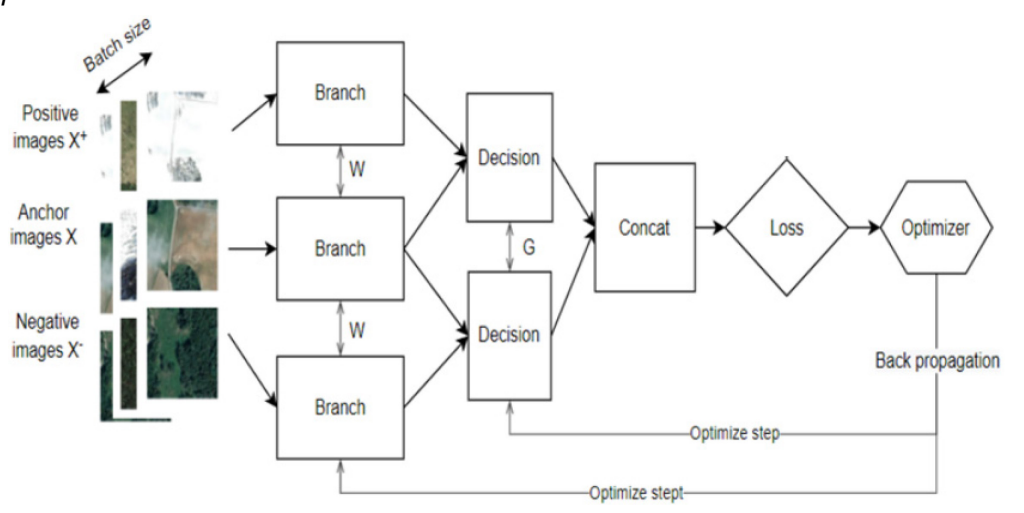


Рис. 3 - Схема обучения branch и decision подсетей

Набор данных

Для обучения модели определения подобия разносезонных снимков местности L , оценок функций плотности вероятностей $P(c_i^{(t)} | s^{(t)})$ и $P(c_i^{(t)} | \neg s^{(t)})$, а также для тестирования алгоритма, описанного выше и алгоритма позиционирования в целом, был собран набор данных, состоящий из спутниковых снимков некоторых местностей. В качестве местностей были взяты несколько уникальных непересекающихся районов Швейцарии и Финляндии, собранные с помощью геоинформационной системы Google Earth (GE).

В общей сложности собраны данные о 15 различных местностях, каждой из которых соответствует от 3 до 15 изображений, включающих в себя разносезонные колебания. Размер каждого снимка – 4800x3600 пикселей с разрешением съемки $0.95 \frac{\text{м}}{\text{пиксель}}$. Каждому снимку соответствуют координаты его краевых точек, а также метка центра фокусировки в формате (широта, долгота).

Далее для обучения модели, создается обучающая и валидационная выборки. Для каждой местности из исходного набора данных определяется сетка возможных позиций (местоположение) на карте. Для каждого местоположения (x_s, y_s) выбирается одно эталонное изображение, соответствующее какой-то случайной дате съемки. Из этого изображения в соответствии с заявленным местоположением (x_s, y_s) вырезается область размером $k \times k$ метров со случайным вращением на угол ϑ_s и небольшим случайным перемещением вокруг заявленных координат. Полученное изображение помечается как якорный образец X_s . Далее генерируется еще один образец, используя те же параметры обрезки, но из другого изображения той же местности, сделанного в другую дату. Полученное изображение помечается как положительный образец X_s^+ . Третье изображение, помечаемое как отрицательный образец X_s^- , генерируется путем выбора случайного местоположения и ориентации в пределах той же местности, что и первые два изображения.

Выполнив указанные преобразования для каждой местности и каждого местоположения из заявленной сетки возможных позиций, формируется обучающий набор триплетов изображений который состоит из $S_{train} = 21870$ уникальных местоположений:

$$X_{train} = \{(X_s, X_s^+, X_s^-), s \in 1..S_{train}\}. \quad (1)$$

Аналогично формируется валидационная набор выборка X_{valid} , которая содержит $S_{valid} = 1392$ местоположения и соответствующие им триплеты:

$$X_{valid} = \{(X_s, X_s^+, X_s^-), s \in 1..S_{test}\}. \quad (2)$$

Дополнительно выделяется отдельный оценочный набор данных X_{prob} , он состоит из $S_{prob} = 5568$ местоположений и соответствующих им триплетов. Данная выборка предназначена для вычисления оценок плотностей вероятности $P(c_i^{(t)} | s^{(t)})$ и $P(c_i^{(t)} | \neg s^{(t)})$, которые будут использоваться для определения весов частиц в алгоритме позиционирования:

$$X_{prob} = \{(X_s, X_s^+, X_s^-), s \in 1..S_{prob}\} \quad (3)$$

Для повышения размера выборки и получения инвариантности модели к аффинным преобразованиям изображений, выполняются различные аугментации во время обучения модели с помощью [2], а также случайные повороты изображений и их транспонирование. Для получения устойчивости модели к изменениям освещения, яркости и шуму в изображения также применяется гауссов шум, различные средства размытия резкости, тиснения.

Эксперименты

Общий процесс тестирования разбит на два этапа:

- оценка функций плотности вероятности меры подобия изображений. Сравнение эффективности полученного метода сопоставления изображений с существующими решениями;

- тестирование алгоритма позиционирования на спроектированных маршрутах. Определение характеристик построенного алгоритма при различных условиях.

Перед проведением экспериментов необходимо задать входные данные для тестирования - внешние параметры алгоритма, которые будут использоваться в экспериментах.

Во всех экспериментах в начальный момент времени $t = t_0$ инициализируется $n^{(t=t_0)} = 1000$ частиц в области 100×100 м на основе

наличия гипотезы о первоначальном положении координат БПЛА на рассматриваемой местности $\hat{s}^{(t=t_0)} = (\hat{x}^{(t=t_0)}, \hat{y}^{(t=t_0)})$, с масштабом от 0.9 до 1.05 и без априорной информации об ориентации БПЛА $\hat{\vartheta}^{(t=t_0)}$ (угле курса), с некоторой погрешностью

$$\Delta \hat{s}^{(t=t_0)} = \left(\Delta \hat{s}_1^{(t=t_0)}, \Delta \hat{s}_2^{(t=t_0)}, \Delta \hat{s}_3^{(t=t_0)} \right)^T = (30 [\text{м}], 30 [\text{м}], 360 [^\circ])^T.$$

Такие значения параметров соответствуют ситуации, когда пользователь указывает неточное начальное положение БПЛА без необходимости ввода изначальной ориентации. Координаты стартовых точек для каждой местности $(\hat{x}^{(t=t_0)}, \hat{y}^{(t=t_0)})^T$ определяются на основе маршрута полета D , заданного в виде последовательности точек.

Задается порог подобия $\gamma_s = 0.98$, при котором изображения считаются идентичными друг другу.

Эталонные снимки местностей I_M , которые используются в экспериментах сделаны на высоте $z_0 = 4300 [\text{м}]$. Размеры матриц эталонных изображений идентичны и равны $l_x^M = 4300 [\text{пкс}]$ и $l_y^M = 3600 [\text{пкс}]$ – ширина и высота соответственно. Размер матрицы изображений, при съемке с БПЛА равны $l_x = 1280 [\text{пкс}]$ и $l_y = 720 [\text{пкс}]$.

Аппаратные характеристики: эксперименты выполняются на ПК, оснащенном процессором Intel(R) Core (TM) i5-10300H CPU (2.50GHz), видеокартой NVIDIA GeForce GTX 1650 GPU (16 Гб) и оперативной памятью объемом 16 Гб.

Далее была произведена оценка функции плотности распределения вероятностей меры подобия $f_p(c_i^{(t)} | s^{(t)})$ и $f_p(c_i^{(t)} | \neg s^{(t)})$, которые используются для вычисления весов частиц. Для формирования функций распределения были построены гистограммы коэффициента подобия c_{I_1, I_2}

для случая, когда рассматриваемое изображение соответствует истинному положению $s^{(t)}$ и для обратного случая $\neg s^{(t)}$. Для построения гистограмм

используется определенный ранее оценочный набор триплетов X_{prob} .

Построенные на наборе данных X_{prob} гистограммы меры подобия, вычисленной с помощью модели SNN представлены на рисунке 4 (а). Дополнительно строятся гистограммы мер подобия, полученных на основе методов ZNCC [3] (б), SIFT [4] (в) и NMI [5] (г).

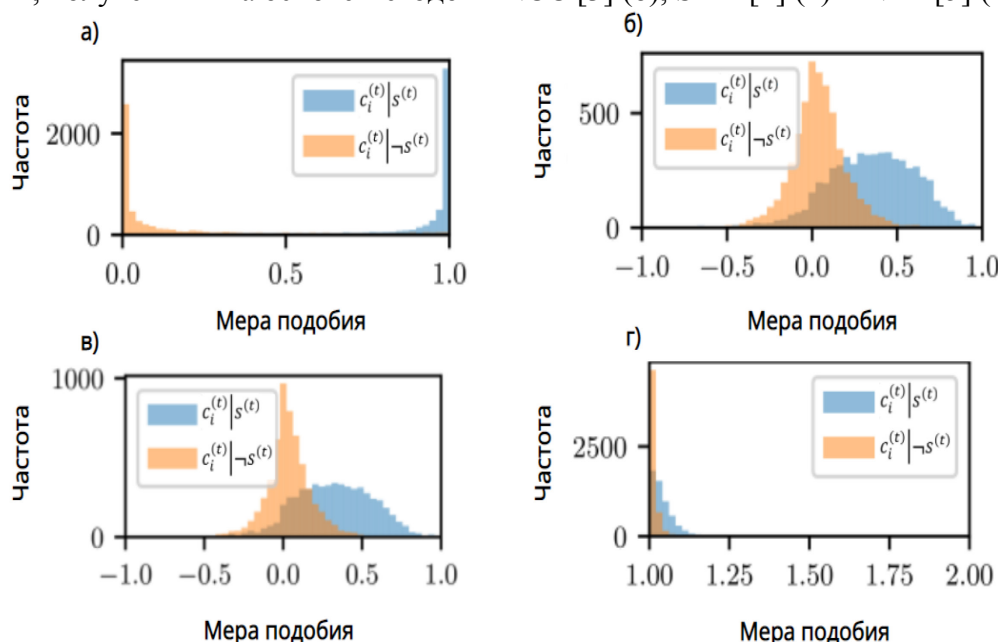


Рис. 4 – Гистограммы меры подобия изображений, вычисляемых с помощью сиамской нейронной сети (а), ZNCC (б), SIFT (в) и NMI (г)

Каждая из гистограмм разбита на две компоненты:

- гистограмма распределения коэффициента подобия c_{I_1, I_2} для случая, когда рассматривается пара подобных изображений, состоящая из якорного образца X_k и положительного образца X_k^+ , то есть рассматривается случай, когда мера подобия $c_{I_1, I_2} = c_i^{(t)}$ соответствует состоянию $s^{(t)}$ (на рисунке 4 обозначена синим цветом).

- гистограмма распределения коэффициента подобия c_{I_1, I_2} для случая, когда рассматривается пара подобных изображений, состоящая из якорного образца X_k и положительного образца X_k^+ , то есть рассматривается случай, когда мера подобия $c_{I_1, I_2} = c_i^{(t)}$ не соответствует состоянию $s^{(t)}$ (на рисунке 6 обозначена на рисунке оранжевым цветом).

Из представленных на рисунке 4 гистограмм видно, что предложенный в работе метод вычисления подобия изображений на основе сиамской нейронной обладает наибольшей инвариантностью к сезонным изменениям местности из всех рассматриваемых методов. Гистограммы меры подобия, вычисленные с помощью сиамской нейронной сети, для каждой из подаваемых на вход совокупностей пар, являются непересекающимися, в отличие от гистограмм, полученных другими методами определения подобия. Причем для всех пар изображений X_k и X_k^+ из множества S^+ коэффициент подобия стремится к своему максимуму $c_{I_1, I_2} \rightarrow 1$, а для всех пар изображений X_k и X_k^- из множества S^- коэффициент подобия стремится к своему минимуму $c_{I_1, I_2} \rightarrow 0$.

Полученные на наборе данных X_{prob} гистограммы используются как оценки функций плотности вероятности $f_p(c_i^{(t)} | s^{(t)})$ и $f_p(c_i^{(t)} | \neg s^{(t)})$ с помощью гауссовского ядра плотности с правилом полосы пропускания Скотта [6]. Результирующие функции плотности используются для вычисления вероятностей $P(c_i^{(t)} | s^{(t)})$ и $P(c_i^{(t)} | \neg s^{(t)})$, на основе которых вычисляется вес частицы $\omega_i^{(t)} = F(c_i^{(t)})$ по формуле (5). Аппроксимация $\omega^{(t)} = F(c^{(t)})$ используется для определения весов частиц во всех экспериментах.

Для проведения тестирования были выбраны два типа местности (далее они будут обозначены как *area_3* и *area_7*), с соответствующими им эталонными изображениями I_{M_1} и I_{M_2} . Для каждой местности выбирается по 3 изображения, сделанные в разное время: Первое будет служить эталонным снимком местности, закладываемом в память бортового компьютера БПЛА, второе используется для имитации незначительных сезонных изменений подстилающей поверхности относительно эталонного изображения, а третье - соответствует значительным сезонным изменениям относительно эталонного изображения подстилающей поверхности. Второе и третье изображения будут использоваться для моделирования полета БПЛА.

На рисунке 5 представлены изображения, которые будут использоваться для проведения экспериментов.



Рис. 5 – Снимки местностей, использующиеся в экспериментах в качестве эталонных снимков (а), снимков с незначительными сезонными изменениями (б) и снимков со значительными сезонными изменениями (в); верхний ряд- преимущественно урбанистическая местность (*ge_area_3*), нижний ряд-преимущественно неурбанистическая местность (*ge_area_7*)

На каждой местности составляются маршруты движения БПЛА на трех заданных отметках высот: 100, 300 и 600 метров относительно подстилающей поверхности в стартовой точке маршрута. На каждом маршруте с частотой примерно 100 метров генерируются контрольные точки, в которых производится позиционирование. Симуляция полета по заданному маршруту выполняется с помощью встроенного инструментария ГИС Google Earth.

В результате симуляций полетов было создано 12 видеофайлов, состоящих из кадров съемки подстилающей поверхности с камеры, закрепленной на БПЛА, а также 12 KML-файлов, содержащих информацию о местоположении контрольных точек маршрута, в которых БПЛА определяет свои координаты. Каждый из видеофайлов соответствует эксперименту с заданным типом местности, сезонными изменениями и высотой.

На рисунке 6 представлен пример работы алгоритма позиционирования в одной из контрольных точек построенного маршрута на преимущественно урбанистической местности (ge area 3).

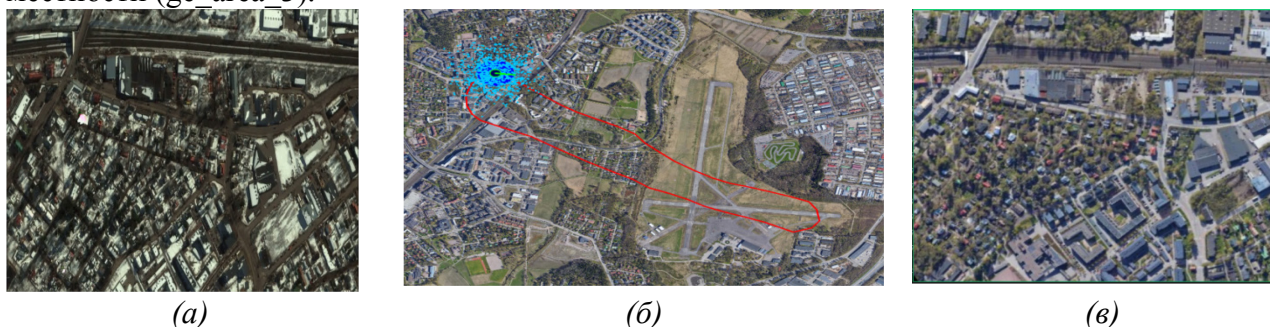


Рис. 6 – Пример работы алгоритма БПЛА в одной из контрольных точек маршрута:

- (а)- снимок с БПЛА в контрольной точке и снимок частицы, имеющей наибольший вес,
(б) – оценка координат и угла курса в картографической системе координат алгоритмом позиционирования, (в) – вырезка из эталонной карты местности, соответствующая оценке положения

На рисунке 7 приведены результаты построенного алгоритма позиционирования, основанного на использовании SNN (а), ZNCC (б), SIFT (в) и NMI (г), во всех точках маршрута. Каждый из методов получал одни и те же изображения, соответствующие частицам и изображения с бортовой камеры БПЛА.

В таблице 1 представлены агрегированные результаты полученных ошибок $\bar{\varepsilon}_{xy}$ и $\bar{\varepsilon}_\theta$ в каждом эксперименте алгоритмом позиционирования с использованием модели SNN.

Для всех экспериментов среднее время работы алгоритма позиционирования в контрольной точке составляет 0.71 секунды. Причем данная характеристика не зависит от типа местности и высоты полета БПЛА.

Обсуждение результатов

Из представленных на рисунке 7 графиков видно, что в начале полета БПЛА ошибка определения координат $\varepsilon_{xy}^{(t)}$ достигает своего максимума. Это происходит из-за отсутствия априорной информации об ориентации БПЛА.

Когда частицы, представляющие ложные гипотезы об угле курса, исчезают, ошибка начинает уменьшаться и алгоритм сходится к истинному положению БПЛА в системе координат.

Из поведения ошибки определения координат видно, что высота полета БПЛА оказывает влияние на качество позиционирования на основе модели SNN. Это связано с тем, что модель была обучена определять подобие изображений, полученных с одним и тем же разрешением снимков,

на высоте 94 м. Значительное увеличение высоты, а в следствии и изменение разрешения съемки приводит к уменьшению скорости сходимости алгоритма и увеличению средней ошибки определения координат.

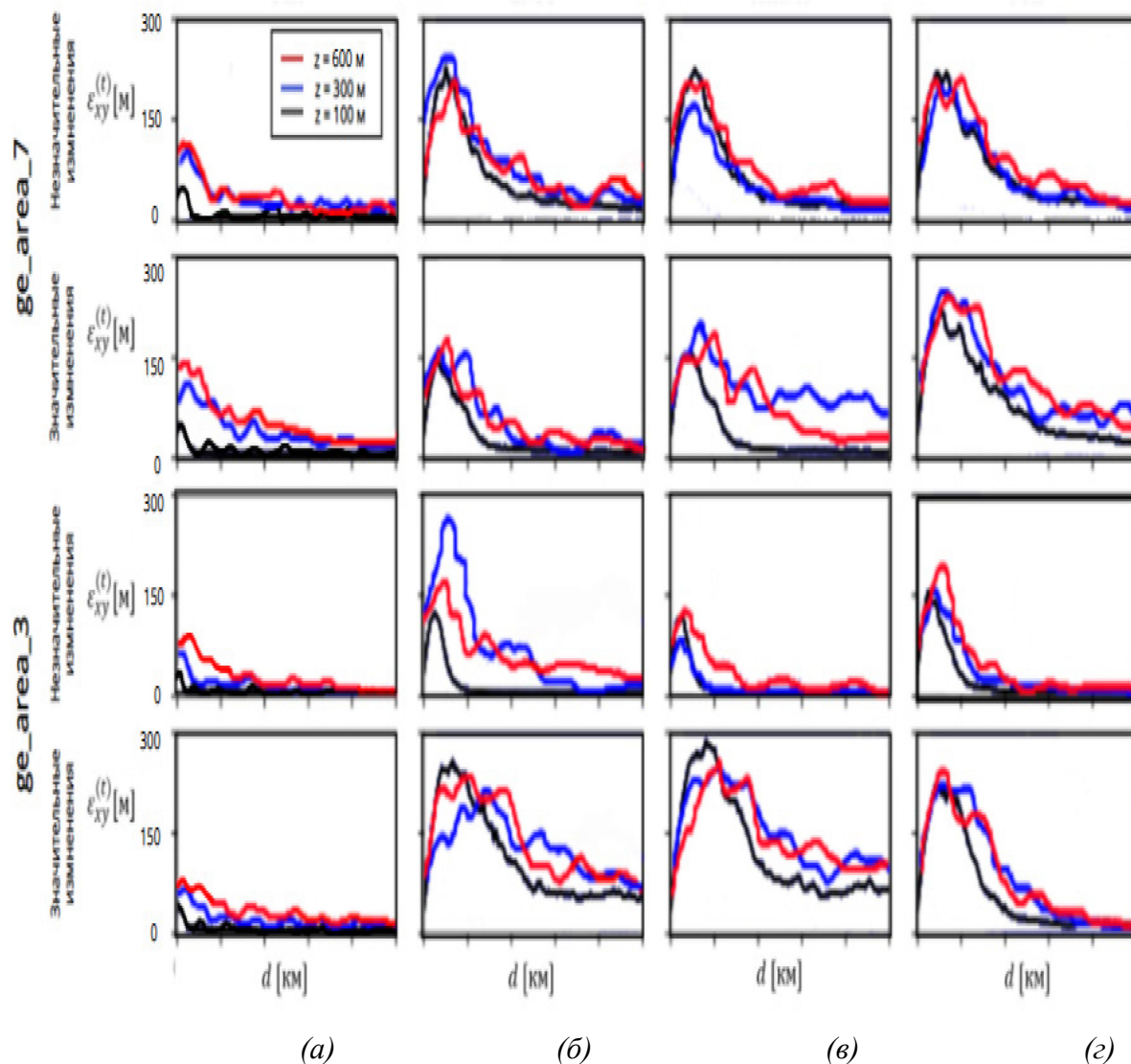


Рис. 7 – График поведения ошибок определения координат $\varepsilon_{xy}^{(t)}$ в экспериментах при моделировании полета на различных типах местности различных алгоритмов определения подобия изображений

Однако, несмотря на этот недостаток, алгоритм позиционирования на основе SNN обеспечивает более высокую скорость сходимости частиц к истинному положению БПЛА, чем другие распространенные методы, и обладает наименьшей ошибкой определения координат.

В отличие от трех других методов определения подобия, SNN обладает наибольшей инвариантностью к сезонным изменениям подстилающей поверхности. При полете над местностями с незначительными и значительными сезонными изменениями ошибка определения координат остается примерно на том же уровне для всех экспериментов, чего нельзя сказать, например, про алгоритма SIFT, погрешность позиционирования которого значительно увеличивается при значительных сезонных изменениях местности. Однако, стоит отметить, что из всех методов сопоставления изображений SIFT обладает наибольшей инвариантностью к изменениям высоты полета.

Таблица 1 – Значения средних ошибок определения координат $\bar{\epsilon}_{xy}$ и угла курса $\bar{\epsilon}_\theta$ в каждом эксперименте

№	Наименование местности в базе данных	Изменения местности	Высота полета (z), м	Длина маршрута (d), км	Средняя ошибка оценки координат ($\bar{\epsilon}_{xy}$), м	Средняя ошибка оценки угла курса ($\bar{\epsilon}_\theta$), °
1	ge_area_7	Незначительные	100	4.76	16.4	3
2			300		24.5	4
3			600		30.5	8
4		Значительные	100		17.1	4
5			300		28.2	8
6			600		31.3	10
7	ge_area_3	Незначительные	100	5.91	15.8	3
8			300		20.5	6
9			600		25.2	10
10		Значительные	100		16.3	2
11			300		19.8	7
12			600		25.3	10

Для всех представленных алгоритмов определения подобия характерно, что значение ошибки определения координат на преимущественно неурбанистической (лесной) местности выше, чем на преимущественно урбанистической (городской) местности. Это может быть

связано идентичностью текстур лесной местности и геометрическим искажением высоких деревьев, из-за которых изображения, соответствующие как истинным, так и ложным частицам кажутся для алгоритма близкими к истинному положению БПЛА. Вследствие чего повышается стандартное отклонение координат «сильных» частиц, что приводит к повышению смещения алгоритма позиционирования.

Выводы

В работе предложен инвариантный к сезонным изменениям алгоритм позиционирования БПЛА относительно эталонных снимков подстилающей

поверхности. Алгоритм использует только спутниковые снимки, сделанные в различное время года.

Во время тестирования алгоритма было произведено сравнение качества позиционирования БПЛА при использовании обученной модели сиамской нейронной сети с другими известными методами сопоставления изображений. Результаты продемонстрировали значительное улучшение времени сходимости и уменьшение ошибки позиционирования, а также доказали наличие свойства инвариантности к сезонным изменениям у построенного алгоритма. Было исследовано влияние типа местности и высоты полета БПЛА на ошибку позиционирования построенного алгоритма. Эксперименты показали, что значительное изменение высоты полета относительно той, на которой проводилась съемка образцов для обучающего набора данных, вносит дополнительные ошибки в алгоритм и увеличивает время его сходимости, а полет над лесной местностью может нарушить устойчивость меры подобия, определяемой моделью.

Дальнейшие исследования в данной области могут быть направлены на улучшение предложенного алгоритма путем внесения в него инвариантности к значительным изменениям высоты полета.

Также необходимо разработать и реализовать взаимодействие предложенного алгоритма с ИНС, для выполнения комплексной задачи позиционирования.

Список литературы

1. Hoffer E., Ailon N. Deep Metrics Learning Using Triplet Network // arxiv.org pdf/1412.6622.pdf– 2015.
2. Luigi D.S., Mattoccia S., Tombari F. ZNCC-based template matching using bounded partial correlation // Pattern Recognition Letters 26, pp. 2129-2134 – 2005.
3. Kinnari J., Verdoja F., Kyrki V. GNSS-denied geolocalization of UAVs by visual matching of onboard camera images with orthophotos. arXiv:2103.14381 v.1 [cs.RO] 26 Mar 2021.
4. Studholme C., Hill D.L.G., Hawkes D.J. An overlap invariant entropy measure of 3d medical image alignment // Pattern Recognition 32 (1), pp. 71–86. External Links: ISSN 0031-3203. – 1999.
5. Буслаев А., Паринов А., Калинин А.А., «Albumentations: fast and flexible image augmentations», arXiv: 1809.06839v1 [cs.CV] - 2018.
6. Scott D.W., Multivariate Density Estimation. John Wiley & Sons, Ltd – 1992.

2.3.1.

^{1,2}А.М. Смолев, ^{1,2}Т.И. Михеева д-р техн. наук, ¹К.А. Молодыко

¹Самарский университет им. акад. С.П. Королева,
институт авиационной и ракетно-космической техники,
кафедра организации и управления перевозками на транспорте,

²Научно-производственный центр «Интеллектуальные транспортные системы»,
Самара, volga04j@gmail.com, mikheevati@gmail.com, k.molodyko@yandex.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ КАПСУЛЫ НА ТРОСЕ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ITSGIS

В работе приводятся результаты моделирования движения капсулы на тросе во время разворачивания космической тросовой системы (КТС) с использованием специализированного инструмента, применяющего численный метод Рунге-Кутты для решения описывающей КТС задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Производится исследование зависимости угла нутации капсулы при варьировании параметров КТС. Также описываются способы применения данного инструмента в других областях.

Ключевые слова: *тросовая система, метод Рунге-Кутты, угол нутации, испытания, ITSGIS.*

Космическая тросовая система (КТС) – это набор космических объектов (как правило, двух), соединённых тонким тросом, которая производит орбитальный полет. На сегодняшний день разворачивание тросовых систем является одной из самых перспективных областей космической техники. По сравнению со стандартными космическими аппаратами с одним тяжелым телом, использование КТС дает несколько преимуществ. Во-первых, это генерация силы тяжести, использование которой может улучшить условия на орбите. Во-вторых, это возможность энергоэффективной транспортировки грузов [1]. Реализация модели КТС будет применена при моделировании изменения теоретической интенсивности дорожного движения в течение суток в интеллектуальной транспортной геоинформационной системе «ITSGIS» [2].

Рассмотрим задачу моделирования движения малогабаритной капсулы относительно своего центра масс при разворачивании КТС. В процессе разворачивания КТС капсула совершает движение относительно направления троса. По орбите вокруг Земли движется базовый космический аппарат (КА) большой массы, с которого происходит разворачивание КТС. Выпуск троса контролируется управляющим механизмом, который работает в соответствии с измерениями длины и скорости троса. Длина и скорость троса изменяются по заданной программе. Предполагается, что масса базового КА много больше массы остальных частей системы (капсулы и троса). Капсула имеет массу m . Конечная длина троса L_{end} . Высота круговой орбиты h . Системы координат для базового КА и для троса отображены на рисунке 1. Требуется найти изменение со временем следующих параметров:

- длины развернутой части троса L ;
- скорости выпуска троса V ;
- угла между тросом и радиус-вектором КА в плоскости орбиты θ
- угловой скорости изменения, соответствующей θ ;
- угла между тросом и плоскостью орбиты β ;
- угловой скорости, соответствующей β ;
- угла между тросом и продольной осью капсулы (угла нутации) α .

Чтобы смоделировать движение капсулы малого размера в соответствии с описанием системы, необходимо найти решение системы общих дифференциальных уравнений,

которые задают зависимости приведенных параметров от времени. В систему входят шесть уравнений [3]:

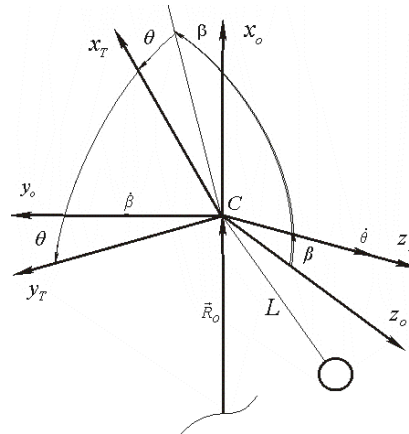


Рис. 1 – Системы координат

$$\ddot{L} - L\dot{\theta}^2 - 2\dot{\theta}\Omega L \cos \beta - \dot{\beta}^2 L \cos^2 \theta + L\Omega^2 \cos^2 \theta \sin^2 \beta - ; \quad (1)$$

$$- L\Omega \dot{\beta} \sin \beta \sin 2\theta - 3L\Omega^2 \cos^2 \theta \cos^2 \beta = -\frac{T}{m}$$

$$\dot{L} = V; \quad (2)$$

$$L^2 \ddot{\theta} + 2L\dot{L}(\dot{\theta} + \Omega \cos \beta) - L^2 \Omega^2 \sin \theta \cos \theta \sin^2 \beta + L^2 \dot{\beta}^2 \sin \theta \cos \theta - \quad (3)$$

$$- 2L^2 \Omega \dot{\beta} \cos^2 \theta \sin \beta + 3L^2 \Omega^2 \sin \theta \cos \theta \cos^2 \beta = 0$$

$$\dot{\theta} = \omega_{\theta}; \quad (4)$$

$$L^2 \cos^2 \theta \ddot{\beta} + 2L\dot{L}\dot{\beta} \cos^2 \theta + L\dot{L}\Omega \sin 2\theta \sin \beta - L^2 \dot{\theta} \dot{\beta} \sin 2\theta + ; \quad (5)$$

$$+ 2L^2 \Omega \dot{\theta} \cos^2 \theta \sin \beta + 2L^2 \Omega^2 \cos^2 \theta \sin 2\beta = 0$$

$$\dot{\beta} = \omega_{\beta}. \quad (6)$$

T – сила натяжения троса, которая определяется по формуле

$$T = m\Omega^2 \left[a(L - L_{end}) + b \frac{V}{\Omega} + 3L_{end} \right]; \quad (7)$$

Ω – угловая скорость движения базового КА по круговой орбите;

a, b – параметры закона управления выпуском троса.

Решение данной системы в ITSGIS можно найти с помощью численного метода. В данном случае для нахождения решения был применен метод Рунге-Кутты четвертого порядка точности [4].

Изменение угла нутации спускаемой капсулы α с течением времени было найдено с помощью аналитического решения [5]. При расчете предполагалось, что капсула является идеальной симметричной сферой, у которой момент инерции одинаков относительно любой оси.

Метод Рунге-Кутты для решения уравнений (1–6) реализован в специализированной программной системе. Эта система позволяет производить моделирование развертывания КТС, обладающей произвольными характеристиками, по заданным параметрам управления. В приложении задаются изменяемые характеристики тросовой системы. Разработанная система позволяет просматривать зависимость выходных параметров КТС от времени, а также производить серии испытаний и сохранять информацию в формате, удобном для копирования в электронные таблицы. Система отображает ошибку, если произошло одно из следующих событий: система расходится, т.е. конечные значения равны NaN или Infinity; трос не развернут на заданную длину, т.е. параметр «Конечная длина троса» не равен фактическому значению длины в момент окончания выпуска троса.

Пример вычисляемой зависимости приведен на рис. 2, а пример создания ряда испытаний – на рис. 3.

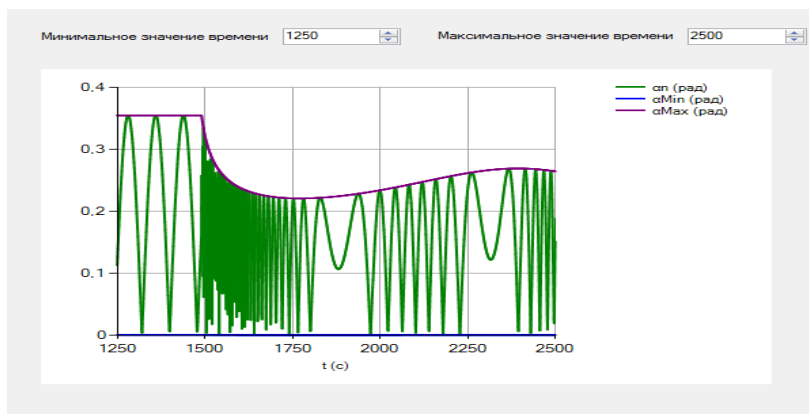


Рис. 2 – Зависимость угла нутации от времени

Реализация метода Рунге-Кутты может быть использована и для решения других задач, связанных с моделированием изменения систем с течением времени. Для нахождения оптимальных параметров развертывания КТС с помощью разработанной программной системы был проведен ряд исследований тросовой системы.

Рис. 3 – Форма задания серии испытаний

Важной характеристикой движения капсулы относительно троса является так называемый угол нутации – угол между продольной осью капсулы и направлением троса. При увеличении этого угла возможно ослабление троса (его провисание), что может привести к потере управляемости в системе и, как следствие, к аварийным ситуациям. Испытания модели КТС были произведены при следующих значениях угловых скоростей относительно осей y и z : $\omega_y \in [-0,1; 0,1] \frac{\text{рад}}{\text{с}}$; $\omega_z \in [-0,1; 0,1] \text{ рад/с}$ с шагом $\Delta\omega_y, \Delta\omega_z = 0,005 \text{ рад/с}$.

В результате было определено, что угол нутации не превышает 90° , если при одной из угловых скоростей, равной нулю, другая составляет менее $0,0625 \text{ рад/с}$. В случае, если угловые скорости изменяются относительно обеих осей, граница ограничения по угловым скоростям близка к кругу радиусом $0,0625$ с центром в точке $(0; 0)$. То есть, обобщенное ограничение на угловые скорости имеет вид:

$$\omega_y^2 + \omega_z^2 \leq \left(\frac{1}{16}\right)^2. \quad (8)$$

Проверка условия $\alpha < 90^\circ$ также производилась в случае вариации массы малой капсулы m . Было установлено, что величина угла нутации увеличивается с повышением массы капсулы. При правдоподобных значениях массы ($m < 100 \text{ кг}$) величина угла не превышает допустимую. А максимальное значение угла нутации, равное 90° , достигается при массе капсулы 550 кг .

Список литературы

1. Иванов В.А., Купреев С.А., Либерзон М.Р. Космические тросовые системы. Некоторые аспекты практического использования // М.: СИП РИА, 2005. 98 с.
2. Михеева Т.И., Головнин О.К., Сидоров А.В. Автоматизированная система интеллектуальной поддержки принятия решений в распределенных средах // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2014. Т. 18. № 5 (66).–С. 131-138.
3. Заболотнов Ю.М. Управление разворачиванием орбитальной тросовой системы в вертикальное положение с малым грузом // Прикладная математика и механика, РАН, 2015, т.79, №1, С.37-47.
4. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы // М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – С. 367.
5. Заболотнов Ю.М., Наумов О.Н. Движение спускаемой капсулы относительно центра масс при разворачивании орбитальной тросовой системы // Космические исследования. – М. :, Российская академия наук, 2012. Т. 50, №2. – С. 177-187.

2.3.1.

А.Ю. Унгер

МИРЭА – Российский технологический университет,
институт информационных технологий,
кафедра вычислительной техники,
Москва, unger@mirea.ru

**ФОРМАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ОПТИМИЗАЦИИ
С БЕСКОНЕЧНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ РЕШЕНИЙ**

В работе рассматривается применение контекстно-свободных грамматик к алгоритмам эволюционного поиска. Показано, как с помощью генетического оператора и подходящей грамматики можно решить задачу оптимизации, имеющую бесконечное пространство решений. Аналитическим путем получено выражение для оценки верхней границы скорости сходимости алгоритма $(1+1)$ в контексте решения задачи OneMax. Получены результаты моделирования процессов эволюции трёх эквивалентных грамматик по предложенному алгоритму. Показано, что результаты, полученные теоретическим путем, полностью совпадают с результатами эксперимента.

Ключевые слова: *контекстно-свободная грамматика, эволюционный алгоритм, функция приспособленности, генетический оператор.*

Введение. В работе [1] описывается проблема поиска оптимального решения на примере задачи OneMax для строк, состоящих из нулей и единиц конечной длины. Для этого в работе рассматриваются три эквивалентные грамматики, определяющие один и тот же конечный язык. В настоящей работе задача OneMax обобщается на случай бесконечной битовой строки.

Напомним, что задача OneMax [2] является классическим примером задач эволюционного поиска, в которой требуется за конечное число поколений найти строку, состоящую из максимального количества единиц. Решение задачи тривиально – это строка, состоящая только из единиц. Проблема заключается в том, чтобы получить это решение за возможно меньшее количество итераций.

Приспособленность решения. Определим функцию приспособленности аналогично тому, как это сделано в работах [2,3]:

$$f(s) = |s|_1 \quad (1)$$

Однако, в данном случае длина бинарной строки не ограничена. Очевидно, данная задача не имеет глобально оптимального решения.

Определим контекстно-свободную (КС) грамматику следующим образом:

$$E \rightarrow 0E \mid 1E \mid \varepsilon \quad (2)$$

Здесь ε – пустая строка. Данная грамматика определяет рекурсивно-бесконечный язык L . Дерево вывода для некоторой произвольной строки имеет вид, как на рис. 1.

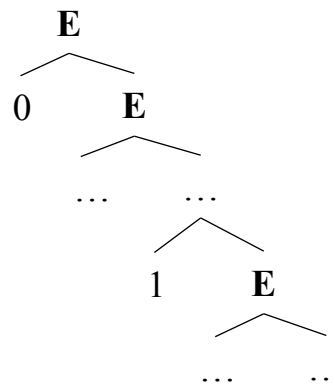


Рис. 1 – Дерево разбора строки по грамматике E

Грамматика E имеет три равновероятные альтернативы. Таким образом, последовательно применяя правила вывода (2), строка длины n может быть сгенерирована с вероятностью $(1/3)(2/3)^n$. С другой стороны, конкретная специфическая строка может получиться с вероятностью $(1/2^n)(2/3)^n$. Получающееся при этом качество грамматики, по определению:

$$q_f(E) = \sum_{s \in L} p(s) |s|_1 = \frac{1}{3} \sum_{i=0}^{+\infty} \left(\frac{2}{3}\right)^i \left(\frac{1}{2}\right)^i = 1. \quad (3)$$

Данное выражение позволяет нам оценить по верхней границе ожидаемое качество грамматики, получающейся в результате применения эволюционного алгоритма (1+1) [4]. Для этого рассмотрим дерево разбора (рис. 1). Можно видеть, что для любой строки длины n дерево включает $n + 1$ узел E , из которых один имеет единственного потомка, обозначенного ε . Таким образом, в среднем дерево имеет $n/2$ листьев, содержащих «1», и $n/2$ узлов, содержащих «0». Мутация будет положительной тогда и только тогда, когда в качестве левого потомка будет выбран узел, содержащий единицу, следовательно, вероятность успешной мутации такова:

$$\sum_{i=0}^{+\infty} \frac{i}{2i+1} \left(\frac{2}{3}\right)^i \left(\frac{1}{3}\right) \geq \frac{1}{3} \sum_{i=0}^{+\infty} \frac{i}{2i+1} \left(\frac{2}{3}\right)^i = \frac{1}{2} - \frac{\log_e 3}{4}. \quad (4)$$

Первая успешная мутация продуцирует грамматику, в которой средняя приспособленность строки длины n равна $(2/3)n$, поэтому после h успешных мутаций средняя приспособленность среди строк длины n станет равной $(h + 1/h + 2)n$. Ожидаемое качество грамматики при этом будет:

$$q_f(E) = \sum_{i=0}^{+\infty} \frac{1}{h+3} \left(\frac{h+2}{h+3}\right)^i \left(\frac{h+2}{h+3}\right)^i i = \frac{h+2}{(h+3)^2} \sum_{i=0}^{+\infty} \left(\frac{h+2}{h+3}\right)^i i. \quad (5)$$

К данному ряду можно применить следующую формулу

$$\sum_{k=1}^{+\infty} kx^k = x(x-1)^{-2},$$

справедливую для случая, когда $|x| < 1$, что имеет место для выражения (5). Таким образом, можно получить следующий результат:

$$\frac{h+2}{(h+3)^2} \frac{h+2}{h+3} \left(\frac{h+2}{h+3} - 1\right)^{-2} = \frac{(h+2)^2}{h+3}. \quad (6)$$

Согласно (6) качество грамматики улучшается практически линейно с количеством успешных мутаций. Поскольку вероятность успешной мутации, согласно (4) не меньше, чем $1/2 - \log_e 3/4$, то каждая успешная мутация происходит после постоянного количества итераций.

Сделаем важный промежуточный вывод. Начиная с грамматики (2), порождающей бинарные строки бесконечной длины, и применяя эволюционный алгоритм (1+1) качество грамматики приближается к своей верхней границе со скоростью $O(t)$, где t – количество итераций.

Результаты моделирования. Для проверки результатов, полученных аналитически, необходимо провести серию экспериментов с помощью компьютерного моделирования. Моделирование заключается в том, что качество грамматики оценивается по результату порождения 1000 бинарных строк, имеющих равномерное распределение, для каждой из которых вычисляется средняя приспособленность.

Исходными для моделирования данными являются язык $L = \{0,1\}^n$ и функция приспособленности f , которая выражается количеством единиц в строке-кандидате. В результате моделирования было произведено 100 прогонов алгоритма (1+1) по $l = 100$ итераций в каждом прогоне. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

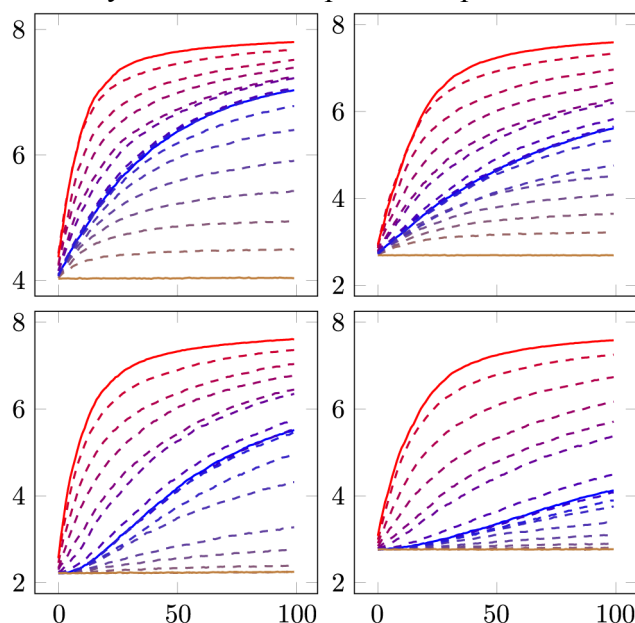


Рис. 2 – Эволюции грамматик, усредненные по 100 итерациям

Здесь в качестве исходных выбраны три *КС*-грамматики, задающие язык, состоящий из бинарных строк конечной длины:

$$A_1 \rightarrow 0A_2|1A_2, \dots, A_{n-1} \rightarrow 0A_n|1A_n, A_n \rightarrow 0|1 \quad (7)$$

$$B_1 \rightarrow B_2B_2, \dots, B_m \rightarrow B_{m+1}B_{m+1}, B_{m+1} \rightarrow 0|1 \quad (8)$$

$$C \rightarrow 0^n|0^{n-1}1| \dots |1^{n-1}0|1^n \quad (9)$$

В [2] было показано, что каждая из этих грамматик задает один и тот же язык, однако эволюционирует с разной скоростью. Так, например, грамматика (7) эволюционирует со скоростью $O(l)$, грамматика (8) – со скоростью $O(nl \log n)$, а для грамматики (9) аналогичное качество можно получить только после $O(l2^{n-1})$ итераций.

На графиках (рис. 2) сплошной красной линией обозначена граница для грамматики (7), сплошной синей линией – граница для грамматики (8), сплошной бежевой линией – граница для грамматики (9). Пунктирными линиями обозначены результаты моделирования. Линии, расположенные ниже сплошной синей, относятся к грамматике (8), линии расположенные выше сплошной синей, относятся к грамматике (7). Линии, относящиеся к грамматике (9) на графиках не обозначены, поскольку в результате 100 прогонов по 100 итераций качество грамматики практически не изменяется.

Результаты моделирования качественно и количественно совпадают с результатами, полученными аналитическим путем. Видно, что грамматика (7) эволюционирует быстрее других, а грамматика (9) практически не эволюционирует, поскольку вероятность успешной мутации экспоненциально уменьшается с увеличением длины строки.

Заключение. Основной результат работы заключается в доказательстве того, что с помощью подходящего эволюционного алгоритма можно приспособить *КС*-грамматику для решения широкого круга задач оптимизации. В частности, с помощью простого алгоритма (1+1) можно модифицировать грамматику так, чтобы она за ожидаемое количество итераций была способна генерировать близкие к оптуму решения.

Приведенные в статье результаты могут быть обобщены на случай не только бинарных строк, но любых строк, для которых определена функция приспособленности. Примером обобщения задачи *OneMax* может служить расстояние Хэмминга, вычисляемое для некоторой целевой строки. В случае задачи *OneMax* целевой строкой, очевидно, является строка 1^n .

Список литературы

1. *Malan K.M.* A Survey of Advances in Landscape Analysis for Optimization // *Algorithms*. 2021. V.14. pp.1-16.
2. *Унгер А.Ю.* Поиск оптимального решения по методу (1+1) в контексте формальной грамматики // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2022. №12. с. 182-184.
3. *Bartoli A., Castelli M.* Weighted hierarchical grammatical evolution // *IEEE Transactions on Cybernetics*. 2020. V.50, n.2. pp.476–488.
4. *Wilson D., Kaur D.* Search, neutral evolution, and mapping in evolutionary computing: A case study of grammatical evolution // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2009. V.13, n.3. pp.566-590.

2.3.1.

Х.А. Шамасна, А.В. Семашко

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
учебно-научный институт радиоэлектроники и информационных технологий,
кафедра «Электроника и сети ЭВМ»,
Нижний Новгород, t26032017@gmail.com

**ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ
ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ УМНЫМИ ФЕРМАМИ**

Современное сельское хозяйство сталкивается со сложной управленческой задачей, которая предъявляет жесткие требования к системам информационного управления для фермерских хозяйств. Предложена архитектура для интеллектуальной системы управления фермой. Промышленный интернет вещей (IIoT) позволяет собирать данные с нескольких ферм. Внедрение предписывающей аналитики значительно повысит эффективность животноводства.

Ключевые слова: промышленный интернет вещей, IIoT, мониторинг, большие данные, управление умной фермой, интернет вещей, IoT, ИВ, искусственный интеллект.

Появление "больших данных", характеризуемых объемом, разнообразием и скоростью поступления (3V), вызвано технологиями, такими как облачные вычисления, мобильные устройства, сенсорные сети и интернет вещей (ИВ, IIoT). Использование больших данных позволяет создавать точные прогнозы и принимать основанные решения [1].

Цифровизация, сервисы ИВ и информационно-управляющие системы могут внедряться в отрасли сельского хозяйства, скажем, такие как птицеводство, с целью улучшить автоматизацию процессов управления технологическими параметрами содержания птицы на протяжении всего технологического цикла. Это помогает соблюдать технологические параметры и улучшить качество продукции. При этом Организационно-экономическая деятельность на птицефермах включает в себя широкий спектр задач, таких как поддержание здоровья птиц, управление их питанием и микроклиматом, включая автоматическое регулирование температуры и влажности, контроль за загрязнением воздуха, а также обеспечение безопасности с помощью видеонаблюдения, соблюдение контрольно-пропускных мероприятий и проведение мероприятий по охране и противопожарной защите и т.д. Благодаря цифровизации и поддержанию квазиоптимальных условий, рентабельность "умных ферм" может быть повышена примерно на 60% или даже более.

Наиболее популярные цифровые инструменты для фермерства включают системы управления фермерскими хозяйствами, которые автоматизируют различные производственные процессы, включая управление ресурсами, и *системы поддержки принятия решений* (СППР), которые позволяют формировать управленческие решения на основе глубокого анализа данных.

Крупные хозяйства приступают к внедрению комплексных платформ управления процессами на базе (IoT) – интеллектуальных сетей датчиков, видеокамер, беспилотных аппаратов и других устройств, (ИИ), облачных технологий и робототехники. В частности, платформа ThingWorx, разработанная на базе технологий ИВ и ИИ, которая включает в себя средства и технологии, позволяющие предприятиям быстро разрабатывать и развертывать мощные приложения для промышленного Интернета вещей и среды дополненной реальности [2]. Улучшение эффективности в фермах и птицефабриках может быть достигнуто за счет внедрения современных систем контроля и автоматизации, которые позволяют создать так называемую "умную ферму"[3]. Качество комбикорма играет важную роль, так как более 60% прибыльности зависит от него [4]. Использование дозирующих

устройств с высокой точностью улучшает соответствие состава рецептуры. Это позволяет обнаруживать связи между показателями качества работы ферм и птицефабрик и особенностями рациона кормления, и другими параметрами, а именно, Параметры среды обитания, такие как состав воздуха, температура, влажность и т.д. непосредственно влияют на прирост живой массы и увеличение яйценоскости кур. Значения этих параметров, состава кормов и др., используемые в различных хозяйствах, могут отличаться. Соединение различных ферм или птицефабрик в единую сеть, собирание данных о используемых параметрах и достигаемых результатах, позволяет с помощью методов описательной аналитики создать модели влияния. Используя эти модели, предиктивная аналитика может формировать рекомендации по управлению режимами функционирования для множества ферм и птицефабрик, входящих в эту сеть (IIoT).

Оптимизация мониторинга может быть достигнута путем внедрения дополнительных систем видеонализа и бесконтактного дистанционного контроля состояния и здоровья животных. Постоянный мониторинг и сбор данных в базу данных позволяют выполнять аналитическую обработку данных, а также улучшать эффективность и оптимизировать режимы функционирования. Кроме того, система мониторинга позволяет контролировать состояние оборудования и улучшать его надежность.

На текущий момент различные технологические объекты управления (ТОУ), в том числе в сельскохозяйственной сфере, управляются с помощью собственных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). Концепция, в которой обычно рассматривается три иерархических уровня. На верхнем уровне осуществляется управление процессами, такие как ручное управление режимами, расчет экономических показателей, ведение журналов и формирование отчетов, а также диагностика. На среднем уровне, реализованном на программируемых логических контроллерах (ПЛК), происходит автоматическое управление и регулирование, такие как запуск и останов оборудования, аварийный отключение и защита. На нижнем уровне собираются данные о параметрах процесса и состоянии оборудования с помощью датчиков и осуществляется управление через исполнительные устройства.

Например, в составе АСУ ТП современной птицефермы основные подсистемы можно разделить на три иерархических уровня. На верхнем уровне осуществляется управление процессами, таких как расчет экономических показателей, ручное управление режимами, формирование отчетов, и ведение журналов, а также диагностика. На среднем уровне, реализованном на ПЛК, происходит автоматическое управление и регулирование, такие как запуск и останов оборудования, аварийный отключение и защита. На нижнем уровне собираются данные о параметрах процесса и состоянии оборудования с помощью датчиков и осуществляется управление через исполнительные устройства.

Например, в системе АСУ ТП современной птицефермы можно выделить основные подсистемы [3]:

- подсистема управления внутренним и внешним освещением обеспечивает автоматическое включение, выключение и поддержание требуемого уровня освещенности птичника;
- подсистема управления поением птиц выполняет автоматическое манипулирование лебедками поения;
- подсистема управления хранением и подачей корма отслеживает заполнение внешнего бункера, контролирует хранение корма и управляет загрузочным люком;
- подсистема управления микроклиматом обеспечивает автоматическое поддержание параметров температуры, влажности и чистоты (контроль загрязнения) воздуха;
- подсистема видео аналитики позволяет контролировать возникновение нештатных ситуаций, способствуя значительному снижению риска аварий.

Применение технологий IIoT позволяет перейти от независимого управления отдельными ТОУ к управлению совокупностью ТОУ. Обработка статистического ансамбля реализаций, формируемых от совокупности типовых объектов управления позволяет значительно

снизить уровень неопределенности и получить потенциальный выигрыш по точности управления.

По этой причине, рекомендуется использовать технологии ПОТ для объединения множества территориально распределенных ТОУ в одну систему, что позволит централизованно обрабатывать данные мониторинга и вполне повысить качество управления (Рисунок 1). Вместе с тем, реализация сетевого управления сопряжена со следующими факторами: ограниченная пропускная способность каналов связи; задержки и возможные потери информационных пакетов; несократимая вероятность искажения управляющих воздействий, в том числе в связи с угрозами кибербезопасности.



Рис. 1 – Архитектура многоуровневой сетевой системы управления

Вследствие этого предлагается компромиссный подход, позволяющий преодолеть ряд указанных ограничений и сдерживающих факторов на основе централизации части функций верхнего уровня АСУ ТП для достижения экстремальных значений принятого критерия качества посредством поддержки принятия диспетчерских решений на начальном этапе развертывания системы. Затем по мере накопления знаний и валидации реализуемых алгоритмов может быть выполнен переход от режима рекомендательной системы к режиму с высокой степенью автоматизации применения команд управления режимами на уровне локальных АСУ ТП.

Разработка правил принятия решений в квазистатистическом приближении может быть сформулирована как задача оптимизации, где решение представлено значениями установок, максимизирующих обобщенные показатели эффективности птицефабрики ТОУ. Однако наличие неопределенности стохастического характера, вызванной рядом возмущений и неконтролируемых факторов, отсутствие точных ТОУ моделей, проявление нелинейностей и низкий уровень согласия мнений экспертов значительно повышают сложность решаемой задачи. Всё сказанное приводит к целесообразности применения на верхнем уровне предложенной архитектуры (Рисунок 1) интеллектуальной информационно-управляющей системы (ИИУС), которая может быть построена с применением технологий интеллектуального анализа данных на основе решений, предложенных в [5, 6].

Для обработки исторических данных о функционировании системы и создания моделей ТОУ наиболее проработанным подходом является применение параметрических и непараметрических методов идентификации, а также методов структурной идентификации. Однако использование традиционных методов может быть проблематичным, поскольку возникают трудности при реализации идентификационного синтеза. В частности, возникают проблемы, когда управление и оценивание процесса оказываются нестационарными с зависимыми значениями, и поэтому достоверность оценок ограничивает выбор стратегий управления. Кроме того, построение классических идентификационных моделей может быть сложным для широкого класса объектов. Альтернативой могут служить методы адаптации, использующие индуктивные знания, получаемые в результате анализа данных [7].

Представление данных мониторинга (Рисунок 2), поступающих в ИИУС основано на реализации концепции многомерности и иерархичности [8]. Для визуализации данных

мониторинга в сложных распределенных системах могут быть использованы такие измерения, как «время» и «пространство»

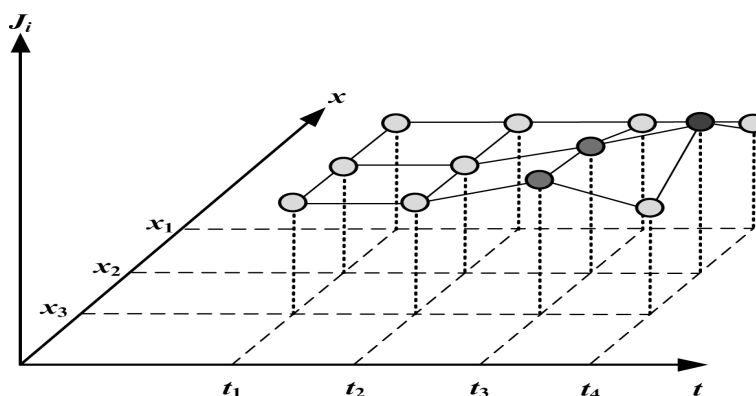


Рис. 2 – Структура данных мониторинга

Измерение «время» (ретроспектива, текущий момент, прогноз) включает иерархические уровни представления состояния ТОО за сутки с детализацией по часам и минутам; за месяц с детализацией по дням; за несколько лет с детализацией по месяцам.

Измерение «пространство» понимается в обобщенном смысле и включает иерархические уровни, соответствующие отдельным ТОО, их подсистемам и элементам.

Качество функционирования распределенных ТОО характеризуется, как правило, несколькими показателями $J_i, i = \overline{1, q}$. Если при управлении режимами ТОО эти показатели используются в качестве частных целевых функций, то задача приобретает многокритериальный характер. Наиболее простой способ сведения многокритериальной задачи к однокритериальной представляет свертка частных целевых функций, называемая также свертка критериев. При этом обоснование выбора вида свертки, среди которых наиболее популярными являются аддитивная и мультипликативная свертка, представляет собой отдельную задачу.

Основными условиями окружающей среды в птицефабрике являются контроль гигротермических параметров (температуры и относительной влажности) и загрязняющих газов (NH_3 , CO_2). Система управления микроклиматом предназначена для обеспечения автоматического поддержания параметров (температура, влажность, загазованность, и т.д.), возможность программирования посуточных параметров микроклимата на полный цикл выращивания птицы. Автоматический воздухообмен с учетом температуры наружного воздуха и концентрации вредных газов внутри помещения, возможность программирования параметров воздухообмена, плавное управление вентиляторами, контроль параметров микроклимата посредством множества датчиков.

Существует так называемая «термонеутральная зона, ТЗ». Это такой диапазон температур окружающей среды, в пределах которого птица чувствует себя комфортно (не испытывает ни жару, ни холод и не тратит свою энергию на терморегуляцию тела), зона определяется относительной влажностью воздуха, при разной влажности воздуха птица по-разному ощущает одну и ту же температуру [9].

Технологии управления, температура и влажность, ТЗ изменяется с возрастом как стандарт между двух значений ($T_{\max}$, $T_{\min}$), следовательно с возрастом изменяется и значение относительной влажности ($H_{\max}$, $H_{\min}$). Результаты исследования и анализ данных мониторинга трех объектов (птичников, а, b, c) в реальном времени представлены на Рисунке 3.

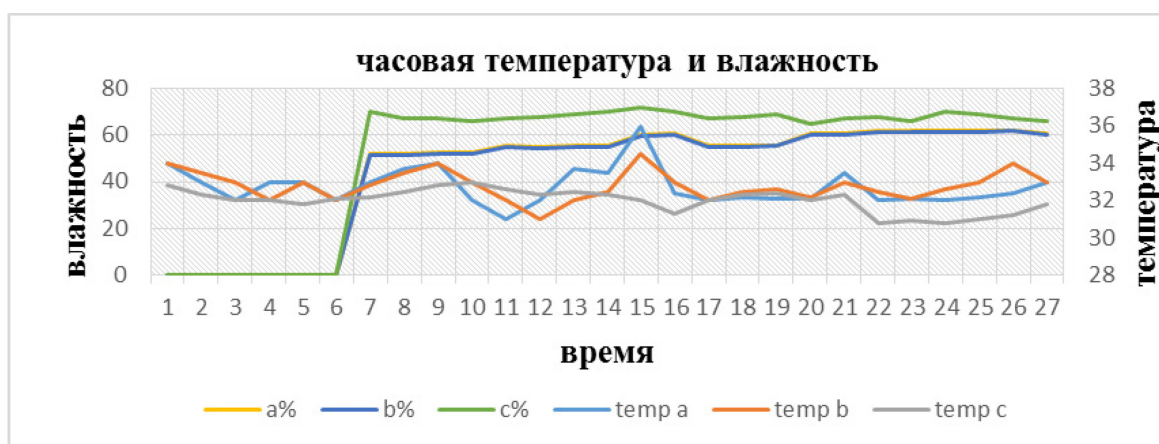


Рис. 3 – Данные мониторинга трех объектов (птичников а, б, с.)

При анализе данных количество значений подходящих ТЗ выделяться с помощью:

$$\sum T_k, T_{max} \geq t_{1,2,3,n} \geq T_{min}, \quad (1)$$

где T_k – температура в ТЗ, T_{max} , T_{min} – граница температур ТЗ, $t_{1,2,3,n}$ – значение температуры при мониторинге.

$$\sum h_k, h_{max} \geq h_{1,2,3,n} \geq h_{min}, \quad (2)$$

где h_k – относительная влажность в условиях ТЗ, h_{min} , h_{max} – граница ТЗ влажности при температуре комфорта, $h_{1,2,3,n}$ – значение влажности при мониторинге.

Из выражения (1) можно рассчитать процент эффективности при температуре,

$$P_{vt} = \frac{T_k}{t_n} * 100\%, \quad (3)$$

из выражение (2) можно рассчитать процент эффективности при влажности

$$P_{vh} = \frac{h_k}{h_n} * 100\%, \quad (4)$$

Из формул (3) и (4) получаем общий процент эффективности работы объекта $P = \frac{P_{vt} + P_{vh}}{2}$

Результаты мониторинга данных приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты мониторинга данных

	Птичника А	Птичника В	Птичника С
T_k	171	169	374
T_{Nk}	380	381	174
H_k	64	169	426
H_{Nk}	482	376	119
P_{vh}	11.64%	30.73%	77.45%
P_{vt}	31.09%	30.73%	68.00%
P	21.36%	30.73%	72.73%
погибших	673	705	669
Вес, г	1090	1100	1120

Визуализация данных из таблицы 1 представлена на рисунке 4.

Исследование показывает, что птичник С имеет лучший процент эффективности, хотя все объекты с одинаковым режимом работы и управляемыми параметрами.

Ожидается, что предложенная архитектура, основанная на согласованной обработке данных мониторинга от множества ТОУ и на введении дополнительного уровня интеллектуального управления позволит реализовать концепцию умной фермы и может быть востребована при проведении модернизации средних и крупных фермерских хозяйств и особенно агрохолдингов.

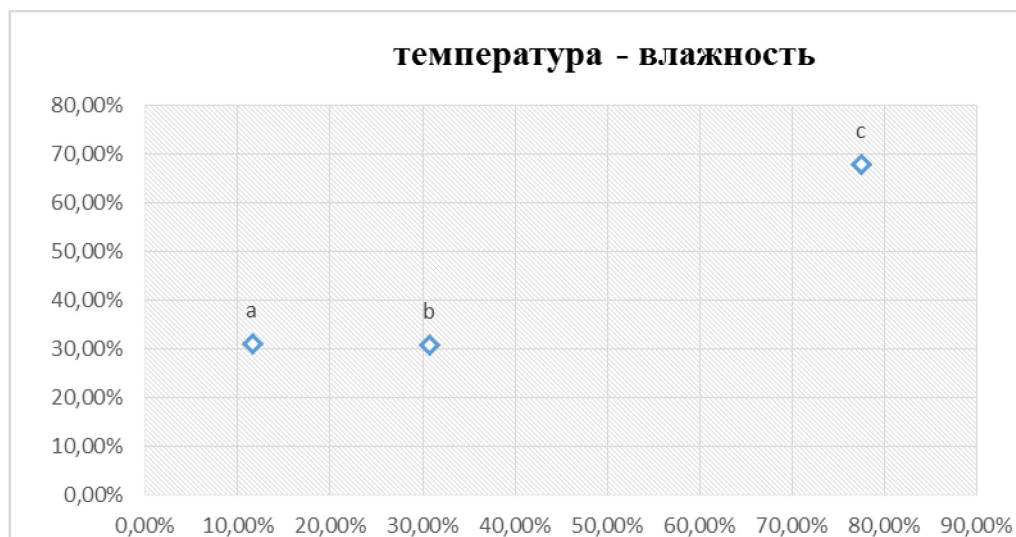


Рис. 4 – Сравнение данных мониторинга температура – влажность (птичников а, b, c).

Список литературы

1. Шамасна Х.А., Андре Н.Г. Роль аналитики больших данных в промышленном интернете вещей // Информационные системы и технологии (ИСТ-2020): Сборник материалов XXVI Междунар. науч.-техн. конф. – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2020, С. 228-232.
2. Модернизация Сельскохозяйственное образование, [Электронный ресурс] Сборник научных трудов по материалам VI Международной научно-практической конференции (16-17 декабря 2020 г., г. Томск). перспективы развития инновационных и цифровых решений в апк .д. Федоров, О.В. Слинко стр 11-13
3. Третьяков С.А., Шержуков Е.Л. Умная птицеферма: взгляд в ближайшее будущее // Автоматизация в промышленности. 2009. № 1. С. 41 – 44.
4. Диспетчеризация в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] URL:<https://smekni.com/a/121476/dispetcharizatsiya-v-selskom-khozyaystve/>
5. Милов В.Р., Суслов Б.А., Крюков О.В. Интеллектуализация поддержки управленческих решений в газовой отрасли // Автоматизация в промышленности. 2009. № 12. С. 16-20.
6. Баранов В.Г., Милов В.Р., Суслов Б.А. Способы аналитической обработки информации для системы поддержки принятия решений // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т. 8. № 2. С. 12-15.
7. Новикова Д.А. – м.: ленад, Теория управления (дополнительные главы): Учебное пособие / Под ред. 2019. – 552 с.
8. Милов В.Р., Цыс В.М., Егоров Ю.С., Алексеев В.В., Севрюков А.А. Способ организации доступа и визуализации данных мониторинга распределенных технических объектов // Информационно-измерительные и управляющие системы. № 7. 2013. С. 59-66.
9. Температура в птичнике [Электронный ресурс] URL: <https://sagrada.biz/press-centr/stati/temperatura-v-ptichnike/>

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ — 2.3.3.****2.3.3.**

**А.А. Баевский, И.Н. Шканов канд. техн. наук, Г.И. Белявский канд. техн. наук,
В.Д. Швецов канд. техн. наук, М.С. Трофимова канд. техн. наук**

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева,
Нижний Новгород, baevsky1990@gmail.com

**СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ
РЕМОНТОВ И ПОСТАВОК ЗАПЧАСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ
КОНДИТЕРСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Оптимизация управления – важнейшая проблема современного предприятия, в том числе на кондитерской фабрике, то есть в пищевой промышленности. Предлагаемая система позволяет автоматизировать ремонт и поставку запчастей для оборудования, что упростит обслуживание оборудования и уменьшит простои и сбои в производстве.

Ключевые слова: *ТОиР, поставки, планирование, информационные технологии.*

Проблема наиболее качественного управления промышленным предприятием, в том числе такой, как кондитерская фабрика, является одной из важнейших в условиях российской экономики при учете современной ситуации. Решение задачи определения производственных ресурсов необходимо в целях получения максимальной совокупной прибыли. [1]

Важным принципом является использование проверенных математических методов, приспособленных для решения данной задачи, и информационных технологий, позволяющих автоматизировать процесс принятия наилучшего решения в подходящие сроки. Это позволит предприятию лучше конкурировать на рынке, повысит его стабильность и привлекательность в глазах потребителей и поставщиков, придаст статус надежного партнера. [2] А это, в свою очередь, приведет к увеличению денежных потоков, циркулирующих на предприятии, что также ведет к увеличению прибыли предприятия, а это, как было сказано выше – одна из основных целей предприятия.

При этом необходимо предусмотреть возможность интегрирования такой вспомогательной системы в работу с общей информационной системой компании, загружая из нее необходимые исходные данные и возвращая требующиеся управляющие воздействия, являющиеся следствием нахождения наилучшего в данной ситуации решения. Поэтому возникает задача управления, связанная с выбором наилучших вариантов производства с учетом имеющихся в наличии ресурсов. Это особенно важно в рамках условий российской экономики с наличием крупных промышленных предприятий, построенных в свое время без требуемого учета реальных рыночных потребностей на внутренних и зарубежных рынках. Эти предприятия обладают значительным потенциалом, как технологическим, так и научным и другим, который, чаще всего, мало используется или же используется крайне неэффективно.

Одной из важнейших задач в создании таких систем является планирование ремонтов и поставок запасных частей, исходя из технического состояния оборудования предприятия. В связи с этим целью работы является создание такой автоматизированной системы на кондитерском предприятии. Это позволит повысить надежность предприятия, как внутреннюю, так и внешнюю, в планах выполнения обязательств перед партнерами и заказчиками, а также наладить более тесные взаимоотношения с поставщиками как продукции, так и комплектующих для оборудования, а также расходных материалов для него и других необходимых материалов.

Такая автоматизированная система должна обеспечивать планирование ремонтов и поставок расходных материалов, запасных частей, необходимых для ремонта, сырья и энергоносителей, необходимых для работы производства, в соответствии с номенклатурным списком, согласованным в расширенном техническом задании, прописанным и согласованным, в свою очередь, с предприятием, для которого данная система разрабатывалась. [3]

При разработке данной системы проводились следующие мероприятия: тщательное техническое обследование и паспортизация в электронном виде узлов и деталей оборудования по номенклатурному списку, составление электронных карт деталей согласно приведенной форме (Таблица 1). Это позволило сформировать структуру системы и уточнить необходимые позиции оборудования, оценить мощности, необходимые для создания системы, в том числе мощность сервера, пропускную возможность составных частей системы и необходимые объёмы дискового пространства.

Исходя из этого, состав АСУ включает следующее: центр обработки данных, оборудование каналов передачи информации в данный центр, а также оборудование для хранения и отображения полученных данных.

Таблица 1 – Пример электронной карты деталей

Наименование	Значение
Цех	<i>Вафельный цех</i>
Комплекс	<i>Линия по выпечке мягких вафель SOW-100G</i>
Станок	<i>Транспортерная лента</i>
Деталь	<i>Вал ленты транспортерной ленты</i>
Извещение	<i>О замене элемента конструкции</i>
Место заказа	<i>Предприятие-поставщик</i>
Замена	
• Причина	<i>Физический износ детали</i>
• Дата	<i>12.01.22</i>

Система функционирует круглосуточно, постоянно записывая данные об оборудовании. Надежность функционирования АСУ зависит от надежности применяемых средств техники и связи, из которой она состоит.

Данная АСУ – это автоматизированная двухуровневая система с единым централизованным управлением и распределенной функцией внесения изменений, состоящая из:

- сервера (системы управления базами данных на основе MSSQL 2018);
- клиентского приложения, с разделением уровней прав доступа (разные права для пользователей и администратора, так же возможно разделение прав для разных уровней пользователей – разные уровни отчетности для руководства и для обычных сотрудников). [4]

АСУ объекта включает две составляющие: техническое и программное обеспечение. Система имеет возможность наращивания мощностей для расширения списка решаемых задач и объема и интенсивности циркулирующей в ней информации при поэтапном планомерном ее развитии. В состав технического обеспечения АСУ входят:

- оборудование для информационного взаимодействия между клиентскими местами и сервером, а также для обмена данными между АСУ и внешними информационными системами;
- средства вычислительной техники необходимой мощности.

При этом, сервер в процессе своего функционирования обеспечивает:

- сбор информации о состоянии объектов и результатах измерений со счетчиков и вычислителей, а также проверку её достоверности и хранение;
- ведение нормативно-справочной информации и журналов событий;
- формирование и предоставление доступа к информации и отчетности по требованию пользователя, если на это у него хватает прав доступа;
- достаточную безопасность данных и программного обеспечения;

- конфигурирование и параметрирование технических средств и программного обеспечения, а также диагностику работы всей системы;
- предоставление пользователям и эксплуатационному персоналу регламентированного доступа ко всем требуемым данным, просмотр которых позволяет их уровень допуска.

Сервер содержит защиту от несанкционированного доступа в аппаратной и в программно-информационной части. Он обеспечивает параметрирование при необходимости с разрешения администратора системы для полноценной работы системы. [5]

Передача данных в системе возможна на скоростях свыше 100 Мбит/с благодаря современному оборудованию и использованию проводных интерфейсов, что повышает скорость и надежность каналов передачи. Конфигурация сети и конструктивные особенности производства позволяет это сделать. Беспроводное соединение снижает безопасность сети. А также снижает скорость передачи данных, несмотря на все достижения в этой области. Либо создание сети встанет совершенно невыгодной. При этом возрастает мобильность сети и возможности подключения новых пользователей, но в рамках разработки было решено, что преимущества не критичны по сравнению с недостатками, поэтому беспроводные интерфейсы не используются.

В состав программного обеспечения входят следующие необходимые в обязательном порядке программные средства: для учета оборудования, контроля достоверности изменений, ведения журналов происходящих событий, регламентации доступа пользователей к информации, формирование архивов информации, предоставления информации, изменения данных, контроля полноценного функционирования АСУ и ее компонентов.

ПО АСУ позволяет выполнить широкую и тонкую настройку интерфейса, а также даёт возможность одномоментной работы с нескольких мест, что позволяет распределить обязанности сотрудников и нагрузку на систему.

В результате разработки была создана система автоматизированной системы планирования ремонтов и поставок запасных частей по данным технического состояния оборудования кондитерского предприятия, позволяющая повысить стабильность работы производства и избежать простоев оборудования и срывов контрактов. Ремонт и замена комплектующих – это важная составляющая жизнедеятельности предприятия, а также один из ключевых этапов жизненного цикла как предприятия в целом, так и его оборудования. поэтому созданная система является одной из ключевых в работе предприятия.

Список литературы

1. *Рысев Д.В.* Автоматизированные системы управления и связь: учеб. пособие / Д. В. Рысев, В. С. Сердюк, С. Ф. Храпский. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013 – 132 с.
2. *Манцеров С.А., Панов А.Ю., Шканов И.Н.* Создание автоматизированной системы планирования ремонтов и поставок запасных частей по данным технического состояния оборудования предприятия// Сборник материалов X Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки» / НГТУ - Н.Новгород - 2011 – с.103.
3. *Панов А.Ю., Манцеров С.А., Кузнецов С.В., Смирнов Д.А.* Создание единого информационного пространства жизненного цикла продукции машиностроительного кластера на основе принципов CALS-технологий // А-Club Инновационное проектирование / ЛИТЕРА – Н.Новгород – 2011 – №4 – с.88-95.
4. *Манцеров С.А.* Создание баз данных объектов машиностроения на основе формул функциональной систематики // Вестник ВГТУ / ВГТУ – Воронеж – 2007 – №11 – с.171 – 176.
5. *Манцеров С.А.* Структурная систематика единого информационного пространства машиностроительного кластера / С.А.Манцеров, А.Ю. Панов // Вестник ВГТУ / ВГТУ – Воронеж – 2008 – №1 – с.37 – 42.

2.3.3.

К.Г. Горгоц канд. техн. наук

Югорский государственный университет,
 Политехническая школа,
 Ханты-Мансийск, gorgotz_konst@mail.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО ШИРИНЕ ЗУБЧАТЫХ ВЕНЦОВ В ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ТИПА 2К-Н ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

В работе представлены результаты теоретического исследования влияния перекосов зубчатых колёс планетарных передач типа 2К-Н бортовых редукторов транспортно-технологических машин, возникающих под действием радиальной силы со стороны ходовой части, на переменный характер коэффициентов, учитывающих неравномерность распределения нагрузки по ширине зубчатых венцов.

Ключевые слова: *водило, планетарная передача, распределение нагрузки по ширине зубчатых венцов, сателлиты, солнечная шестерня, эпициклическая шестерня.*

В современных быстроходных транспортно-технологических машинах на выходе из трансмиссий устанавливаются бортовые (конечные) редукторы, представляющие собой планетарные передачи типа 2К-Н. Неравномерное распределение нагрузок по ширине венцов в зацеплениях сателлитов с солнечной и эпициклической шестернями возникает при перекосах зубчатых колес в результате отклонений размеров деталей от номинальных значений, а также их упругих деформаций (картера, крышки картера, водила, подшипников и других).

Схема перекосов и смещений зубчатых колес планетарной передачи типа 2К-Н при нагружении водила радиальной силой (P_h) и крутящим моментом (T) представлена и подробно рассмотрена в работе [1], там же приведен вывод формулы расчёта величины угла перекоса водила γ_h относительно первоначального положения

$$\gamma_h = \left(\frac{P_h}{b} \left(\frac{a+b}{\lambda_1} + \frac{a}{\lambda_2} \right) + \Delta_{\pi 1} + \Delta_{\pi 2} + \Delta_{01} + \Delta_{02} \right) / b, \quad (1)$$

где a - расстояние между точкой приложения радиальной силы и серединой опоры водила в картере, м; b - расстояние между серединами опор водила в картере и крышке картера, м; λ_1 - суммарная радиальная жесткость картера и расположенного в нем подшипника водила, Н/м; λ_2 - суммарная радиальная жесткость крышки картера и расположенного в ней подшипника водила, Н/м; $\Delta_{\pi 1}, \Delta_{\pi 2}$ - радиальные зазоры в подшипниках, установленных соответственно в картере и крышке картера, м; Δ_{01}, Δ_{02} - радиальные зазоры между обоймами подшипников и сопрягаемыми деталями, м.

Угол перекоса зубьев эпициклической шестерни γ_b , возникающий в результате радиальной деформации картера, может быть представлен в виде

$$\gamma_b = \arctg(\Delta_3 / d), \quad (2)$$

где d - длина цилиндрической части картера, м; Δ_3 - радиальное перемещение серединной плоскости эпициклической шестерни, м

$$\Delta_3 = P_3 / \lambda_3, \quad (3)$$

где P_3 - поперечная сила, нагружающая цилиндрическую часть картера, Н; λ_3 - радиальная жесткость цилиндрической части картера, Н/м. Величина силы P_3

определяется из уравнения моментов сил, действующих относительно привалочной плоскости картера,

$$P_3 = P_h(a+b)/d. \quad (4)$$

Подставив (3) и (4) в (2), получаем $\gamma_b = \arctg(P_h(a+b)/d^2\lambda_3)$.

Ввиду малых значений угла γ_b , приводим к виду

$$\gamma_b = P_h(a+b)/d^2\lambda_3. \quad (5)$$

Величины углов перекоса сопряженных зубьев эпициклической шестерни относительно зубьев сателлитов в общей нормальной плоскости γ_{Hb-g} и общей касательной плоскости $\gamma_{\tau b-g}$ (здесь и далее индекс Н обозначает общую нормальную плоскость, индекс t обозначает общую касательную плоскость) представляют собой алгебраические суммы углов перекоса сопряженных зубьев, обусловленных следующими факторами (рис.1):

- углами перекоса зубьев эпициклической шестерни γ_{bH} , при ее перекосе на угол $\gamma_{b\tau}$ от радиальной деформации картера;
- углами перекоса зубьев эпициклической шестерни γ_{TbH} , $\gamma_{Tb\tau}$ при ее перекосе на угол γ_{Tb} в результате отклонений размеров деталей от номинальных значений;
- углами перекоса зубьев сателлитов γ_{ghH} , $\gamma_{gh\tau}$ при их перекосе с водилом на угол γ_{gh} от перемещений осей его опор в картере и крышке картера;
- углом перекоса зубьев сателлитов $\gamma_{g\Delta H}$ от взаимного смещения щек водила на угол $\gamma_{g\Delta}$;
- углом перекоса зубьев сателлитов γ_{gH} при их перекосе на угол γ_g от выборки зазоров в подшипниках;
- углами перекоса зубьев сателлитов γ_{TgH} , $\gamma_{Tg\tau}$ при их перекосе в водиле на угол γ_{Tg} в результате отклонений размеров деталей от номинальных значений;
- углами перекоса зубьев сателлитов γ_{ThH} , $\gamma_{Th\tau}$ при их перекосе с водилом на угол γ_{Th} в результате отклонений размеров деталей от номинальных значений.

Углы перекоса сопряженных зубьев эпициклической шестерни относительно зубьев сателлитов в общей нормальной и общей касательной плоскостях определяются:

$$\gamma_{Hb-g} = \gamma_{bH} + \gamma_{TbH} + \gamma_{ghH} + \gamma_{g\Delta H} + \gamma_{gH} + \gamma_{TgH} + \gamma_{ThH}, \quad (6)$$

$$\gamma_{\tau b-g} = \gamma_{b\tau} + \gamma_{Tb\tau} + \gamma_{gh\tau} + \gamma_{Tg\tau} + \gamma_{Th\tau}. \quad (7)$$

В планетарных передачах величины углов в общей нормальной γ_H и общей касательной плоскостях γ_τ изменяются по гармоническому закону [2]

$$\gamma_H = \gamma_\Sigma \cdot \sin(\varphi + \alpha_{t\omega}), \quad \gamma_\tau = \gamma_\Sigma \cdot \cos(\varphi + \alpha_{t\omega}),$$

где φ - угловое положение сателлита по отношению к направлению действия радиальной силы, град., $\alpha_{t\omega}$ - угол зацепления, град., поэтому углы γ_{ghH} , $\gamma_{gh\tau}$, γ_{thH} , $\gamma_{th\tau}$, γ_{bH} , $\gamma_{b\tau}$, γ_{TbH} , $\gamma_{Tb\tau}$ могут быть представлены в следующем виде:

$$\begin{aligned} \gamma_{ghH} &= \gamma_{gh} \sin(\varphi + \alpha_{t\omega}), & \gamma_{gh\tau} &= \gamma_{gh} \cos(\varphi + \alpha_{t\omega}), \\ \gamma_{ThH} &= \gamma_{Th} \sin(\varphi + \alpha_{t\omega}), & \gamma_{Th\tau} &= \gamma_{Th} \cos(\varphi + \alpha_{t\omega}), \\ \gamma_{bH} &= \gamma_b \sin(\varphi + \alpha_{t\omega}), & \gamma_{b\tau} &= \gamma_b \cos(\varphi + \alpha_{t\omega}), \\ \gamma_{TbH} &= \gamma_{Tb} \sin(\varphi + \alpha_{t\omega}), & \gamma_{Tb\tau} &= \gamma_{Tb} \cos(\varphi + \alpha_{t\omega}). \end{aligned} \quad (8)$$

Углы перекосов сателлитов $\gamma_{g\Delta H}$, γ_{gH} , γ_{TgH} , $\gamma_{Tg\tau}$ возникают в плоскости касательной к основной окружности и проходящей через начальную контактную точку поверхности зубьев. Положение этой плоскости является постоянным по отношению к зубьям и не зависит от углового положения водила φ , в связи с этим на основании работы [2], принимается

$$\gamma_{g\Delta H} = \gamma_{g\Delta} = \Delta_g a_\omega / L_\Pi r_\Pi, \quad \gamma_{gH} = \gamma_g, \quad \gamma_{TgH} = const, \quad \gamma_{Tg\tau} = const,$$

где Δ_g - взаимное смещение щек водила при скручивании; a_ω - межосевое расстояние; L_Π - расстояние между серединными плоскостями щек водила; r_Π - радиус, проходящий через центр тяжести перемычек водила.

Суммарный угол перекося зубьев эпициклической шестерни относительно зубьев сателлитов $\gamma_{\Sigma b-g}$ определяется в соответствии с рекомендациями [3]

$$\gamma_{\Sigma b-g} = (\gamma_{Fb}^2 + \gamma_{Fg}^2 + \gamma_{Hb-g}^2 \cos^2 \alpha_{t\omega} + \gamma_{\tau b-g}^2 \sin^2 \alpha_{t\omega})^{0.5}, \quad (9)$$

где γ_{Fb} , γ_{Fg} - углы отклонения зубьев соответственно эпициклической шестерни и сателлитов от заданного направления.

Подставив выражения (1), (5)-(9) в формулу для определения коэффициента, учитывающего распределение нагрузки по ширине венцов в зацеплениях не плавающей эпициклической шестерни с j-м сателлитом $K_{H\beta b-gj}$ [2], для случая нагружения водила радиальной силой и проведя преобразования, получаем следующую формулу

$$K_{H\beta b-gj} = 1 + 0.19b_\omega^2 d_\omega C_{\Sigma t} \left\{ \gamma_{Fb}^2 + \gamma_{Fg}^2 + \left[\left(\left(\frac{P_h}{b} \left(\frac{a+b}{\lambda_1} + \frac{a}{\lambda_2} \right) + \Delta_{I1} + \Delta_{I2} + \Delta_{O1} + \Delta_{O2} \right) / b - \frac{P_h(a+b)}{d^2 \lambda_3} + \gamma_{Tb} + \gamma_{Th} \right) \sin(\varphi_j + \alpha_{t\omega}) + \frac{\Delta_g a_\omega}{r_I L_I} + \gamma_g + \gamma_{TgH} \right]^2 \cos^2 \alpha_{t\omega} + \left[\left(\left(\frac{P_h}{b} \left(\frac{a+b}{\lambda_1} + \frac{a}{\lambda_2} \right) + \Delta_{I1} + \Delta_{I2} + \Delta_{O1} + \Delta_{O2} \right) / b - \frac{P_h(a+b)}{d^2 \lambda_3} + \gamma_{Tb} + \gamma_{Th} \right) \cos(\varphi_j + \alpha_{t\omega}) + \gamma_{Tg\tau} \right]^2 \sin^2 \alpha_{t\omega} \right\}^{0.5} /$$

$$/ 2000T_j + K_k (b_\omega / d_\omega)^2,$$

где T_j - нагрузка, передаваемая j-м сателлитом, Н·м; φ_j - угловое положение j-го сателлита, град.; b_ω - рабочая ширина зуба, мм.; d_ω - начальный диаметр зубчатого венца, мм.; $C_{\Sigma t}$ - суммарная удельная жесткость сопряженных зубьев, Н/мм²; K_k - коэффициент, учитывающий распределение удельных нагрузок по ширине зубчатого венца.

Плавающие эпициклические шестерни имеют возможность самоцентрироваться относительно зубьев сателлитов, поэтому принимается

$$\gamma_b + \gamma_{tb} + \gamma_{th} + \gamma_{gh} = 0.$$

Тогда формула для определения значений коэффициента, учитывающего распределение нагрузки по ширине венцов в зацеплениях плавающей эпициклической шестерни с j-м сателлитом при нагружении водила радиальной силой, может примет следующий вид:

$$K_{H\beta b-gj} = 1 + 0.19b_\omega^2 d_\omega C_{\Sigma t} \left[\gamma_{Fb}^2 + \gamma_{Fg}^2 + \left(\frac{\Delta_g a_\omega}{r_I L_I} + \gamma_g + \gamma_{TgH} + \gamma_{bPH} \right)^2 \cos^2 \alpha_{t\omega} + (\gamma_{Tg\tau} + \gamma_{bP\tau})^2 \sin^2 \alpha_{t\omega} \right]^{0.5} / 2000T_j + K_k (b_\omega / d_\omega)^2,$$

где γ_{bIH} - угол перекося эпициклической шестерни относительно продольной оси при выравнивании нагрузки между сателлитами, град.

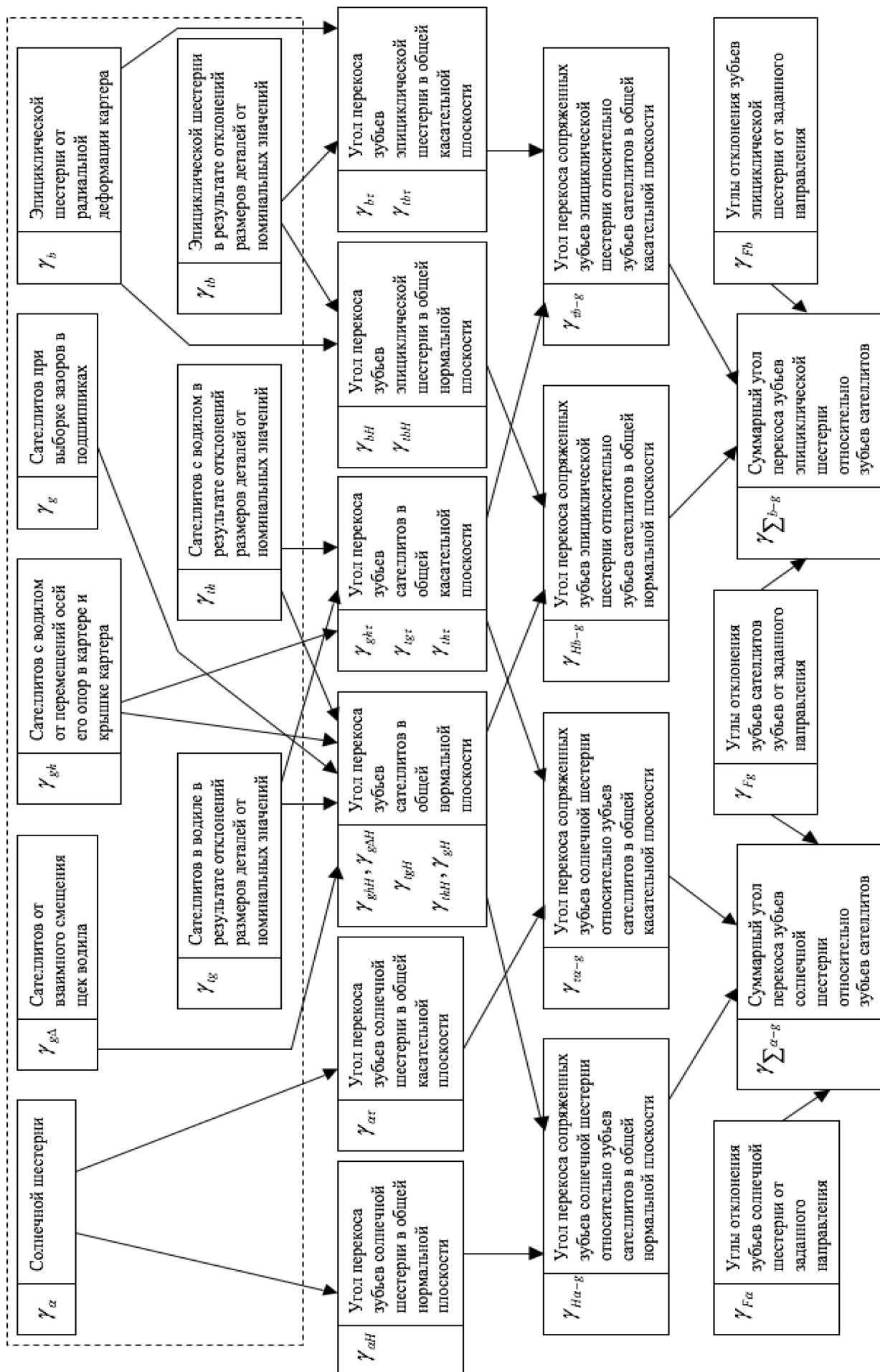


Рис. 1 – Схема формирования углов суммарного перекаса зубьев колес в планетарной

Формула для расчета значений коэффициента, учитывающего распределение нагрузки по ширине венцов в зацеплениях плавающей солнечной шестерни с j-м сателлитом $K_{H\beta b-gj}^0$ в случае нагружения водила радиальной силой, приводится к виду

$$K_{H\beta b-gj}^0 = 1 + 0.19 b_{\omega}^2 d_{\omega} C_{\Sigma t} \left[\gamma_{Fa}^2 + \gamma_{Fg}^2 + \left(\frac{\Delta_{a-g}}{2a_a \sin \alpha_{t\omega}} + \frac{\Delta_g a_{\omega}}{r_{\bar{l}} L_{\bar{l}}} + \gamma_g + \gamma_{TgH} \right)^2 \cos^2 \alpha_{t\omega} + \right. \\ \left. + \left(\frac{\Delta_{a-g}}{2a_a \sin \alpha_{t\omega}} + \gamma_{Tg\tau} \right)^2 \sin^2 \alpha_{t\omega} \right]^{0.5} / 2000 T_j + K_k (b_{\omega} / d_{\omega})^2,$$

где a_a - расстояние между срединными плоскостями зубчатого венца и шлицев плавающей солнечной шестерни, мм.; γ_{Fa} - угол отклонения зубьев солнечной шестерни от заданного направления; Δ_{a-g} - боковой зазор в зацеплениях солнечной шестерни с сателлитами.

Таким образом, установлено:

- распределение нагрузки по ширине венцов в зацеплениях центральных зубчатых колёс (в планетарной передаче типа 2К-Н) с сателлитами зависит от взаимных перекосов, обусловленных отклонениями размеров деталей от номинальных значений, деформацией взаимного смещения щек водила и нагружающей его радиальной силой, также на распределение нагрузки оказывает влияние угловое положение сателлитов по отношению к направлению действия радиальной силы.

Список литературы

1. Горгоц К.Г. Влияние радиальной силы на зазоры в зацеплениях зубчатых колёс планетарных передач типа 2К-Н бортовых редукторов транспортно-технологических машин. Научно-технический вестник Поволжья. Казань, №5, 2014г. – 392 с. (стр.165-169).
2. Планетарные передачи. Справочник. Под ред. В.Н. Кудрявцева и Ю.Н. Кирдяшева. – Л.: Машиностроение, 1977. – 536 с.
3. Часовников Л.Д. Передачи зацеплением. Зубчатые и Червячные. – М.: Машгиз, 1969. – 487 с.

2.3.3.

Г.М. Сабирзянова, Т.В. Сидорова, Р.М. Хисамутдинов д-р техн. наук

Набережночелнинский институт Казанский (Приволжский) федеральный университет,
автомобильное отделение,
кафедра конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств,
Набережные Челны, guzel.safina.1996@mail.ru

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СБОРКИ АВТОМОБИЛЯ ПУТЕМ
ПРОВЕДЕНИЯ ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ
ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

В статье рассматривается актуальность внедрения технологий виртуальной реальности на ранних этапах разработки конструкторской документации изделий автомобиля. Рассмотрены основные аспекты и преимущества применения виртуальной реальности при проектировании сборочных единиц. Выявлены основные этапы процесса моделирования сборочных процессов с применением технологии виртуальной реальности. На основании проведенного в данной работе анализа можно сделать вывод, что внедрение технологий виртуальной реальности в промышленное производство позволяет ускорить выпуск новой продукции, а также повысить качество уже выпускаемых изделий, и при этом снизить объем финансовых издержек и ошибок проектирования.

Ключевые слова: виртуальная реальность, визуализация, моделирование, сборка, технологический процесс.

Введение

Современные условия развития науки и техники приводят к необходимости внедрения цифровых технологий на всех этапах жизненного цикла продукта. Одним из значимых инструментов цифровых технологий является виртуальная реальность. В настоящее время технология виртуальной реальности нашла свое активное применение и в сферах промышленности. Ввиду сложности производственных процессов и динамично меняющейся внешней среды применение данного инструмента позволяет повысить эффективность решения различных технических задач.

Главной задачей внедрения технологии виртуальной реальности при моделировании сборочных процессов на раннем этапе разработки конструкторской документации является достижение более эффективного погружения технолога в воссозданное или несуществующее в реальном мире пространство производства и более детального исследования объектов технологических процессов сборки. Результатом моделирования производства является возможность оптимизации технологических процессов сборки, что в итоге существенно влияет на эффективность производства, обеспечение соответствующих условий труда, снижение себестоимости изделия за счет эффективных решений, прогнозирования событий в виртуальной среде.

**Преимущества применения технологии виртуальной реальности при моделировании
сборочных процессов**

В автомобильной промышленности технология используется для проведения предварительной сборки узлов и агрегатов автомобиля, а также позволяет оценить трудоемкость и эргономику при выполнении операций. [1] Применение технологий виртуальной реальности и интерактивной трехмерной визуализации результатов моделирования является актуальным для повышения эффективности решения различных задач. [2,3]

Использование технологии виртуальной реальности на раннем этапе разработки конструкторской документации изделий позволяют выполнить:

- ✓ анализ эффективности сборочного процесса в условиях виртуального производства;
- ✓ оптимизацию последовательности выполнения сборочных операций;
- ✓ анализ технологичности сборочных изделий;

- ✓ выявление «узких» мест при выполнении сборочных операций;
- ✓ решение проблем и оценка решений по сборочным процессам;
- ✓ анализ эргономики в реальном времени.

Применение виртуальной реальности также позволяет производствам предсказывать риски нештатных ситуаций, связанных со сборочной линией. Предиктивная аналитика при моделировании виртуальной производственной среды позволяет вовремя выявлять потенциальные угрозы и устранять их. [4]

Принцип работы технологии виртуальной реальности

Виртуальная реальность представляет собой подобие окружающего человека реального мира, воссозданного с помощью компьютерных технологий и представленного в цифровом формате. Искусственно создаваемые эффекты проецируются на сознание человека и позволяют пользователю испытать ощущения, приближенные к реальным. [5] Эффект погружения позволяет человеку почувствовать себя частью исследуемой среды. Этот эффект является отличительной особенностью виртуальной реальности от обычных систем трехмерной графики, доступных на персональных компьютерах. [1] Человек может активно контактировать с этой информационной средой, но она действительно виртуальная, так как существует только при условии действия включенного компьютера. [6]

Виртуализация производства – это установление взаимно однозначного соответствия между физическим и информационным пространством, средствами компьютерного моделирования физических объектов и операций.

Фактически это принципиально новая разновидность человеко-машинного интерфейса, наибольшая эффективность которого достигается при использовании трехмерной информации. На долю визуального восприятия окружающего мира человеком приходится около 80% от общего количества информации. Для решения задач такого типа наиболее удобны системы, обеспечивающие «эффект погружения пользователя» и максимально реалистичное трехмерное изображение в масштабе 1:1. [7] Это позволяет проводить моделирование от первого лица, взаимодействуя с изделиями в натуральную величину, с полным погружением в 3D-обстановку.

Этапы проведения моделирования сборочных процессов с применением технологии виртуальной реальности

При моделировании сборочных процессов с применением системы виртуальной реальности выделены следующие этапы (рисунок 1).

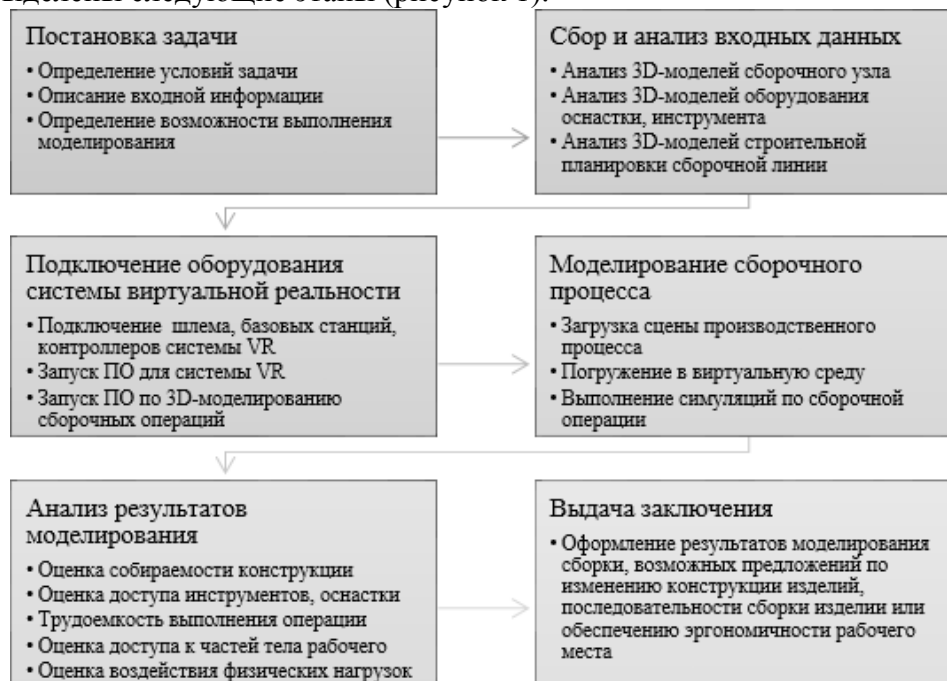


Рис. 1 – Этапы моделирования сборочных процессов с применением технологии виртуальной реальности

Для погружения в виртуальную реальность используются специальные аппаратные средства (шлемы и очки). Исходными данными для выполнения моделирования сборочных процессов являются 3D-модели сборочных узлов, оснастки, оборудования, строительной планировки, созданные в различных САПР. В качестве платформы, на которой разрабатывается контент в виртуальной реальности, используется программное обеспечение Tecnomatix Process Simulate. Данный программный комплекс также предназначен для создания цифрового двойника технологических процессов, их проверки и оптимизации с помощью трёхмерной симуляции. [8] Для подключения виртуальной среды требуется установка дополнительного программного обеспечения «Steam VR».

После подготовительных работ относительно запуска программных обеспечений калибруется оборудование виртуальной реальности, проводится интеграция сцены виртуальной среды. Пример сцены виртуальной среды при выполнении моделирования сборочных операций с использованием технологии виртуальной реальности в программном обеспечении Tecnomatix приведен на рисунке 2.

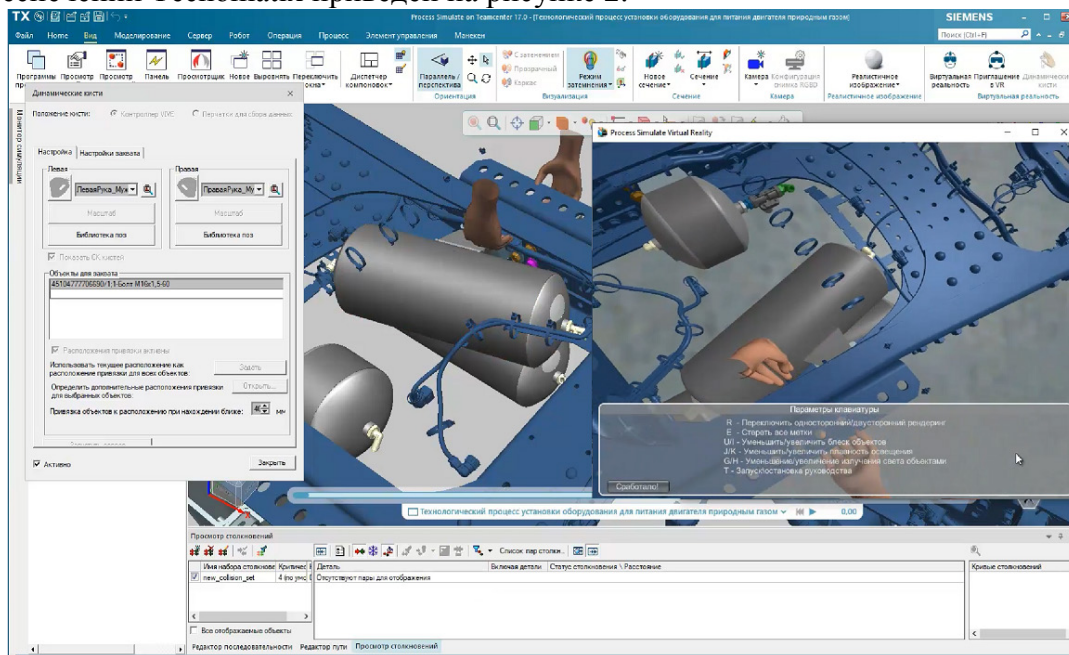


Рис. 2 – Пример сцены применения виртуальной реальности в программном обеспечении Tecnomatix

Применение моделирования сборки и технологии виртуальной реальности является возможностью виртуально создать сборочную линию на самом раннем этапе процесса проектирования, что в свою очередь, позволяет оценить производственные процессы, требования по эргономике и технике безопасности. [9] В настоящее время технологии виртуальной реальности интенсивно развиваются и находят все большее применение в разных сферах промышленности, в частности для решения технических задач при сборке изделия. Применение виртуальной реальности технологами позволяет создать эффект виртуального присутствия наблюдателя в производственной среде, включать в описываемую среду динамические события, происходящие во времени, осуществлять взаимодействие с объектами в данной среде.

Заключение

1. Определены этапы моделирования сборочных процессов с применением технологии виртуальной реальности.
2. Моделирование процесса сборки с использованием технологии виртуальной реальности позволяют быстро и эффективно решать сложные и актуальные вопросы современной технологии машиностроения на стадиях проектирования нового изделия.
3. Использование предиктивного анализа на раннем этапе проектирования изделия позволяет снизить количество ошибок, повысить качество готового изделия за счет более качественной проработки эргономики, ремонтных и эксплуатационных характеристик.

Список литературы

1. Князева Г.В. Виртуальная реальность и профессиональные технологии визуализации // Вестник Волжского университета им. ВН Татищева. – 2010. – №. 15.
2. Подкосова Я.Г. Использование технологий виртуальной реальности для трехмерной визуализации результатов моделирования и для миварных обучающих систем / Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2011. – № 1-1(39). – С. 226-232.
3. Steffan R. Integration of virtual reality based assembly simulation into CAD/CAM environments/ IECON '98. Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – 2002.
4. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. Цифровой завод: методы дискретно-событийного моделирования и оптимизации производственных характеристик // Бизнес-информатика. 2021. Т. 15. № 2. С. 7–20.
5. Иванов А. Как изменят нашу жизнь технологии виртуальной реальности [Электронный ресурс] // Iot.ru: Новости интернета вещей. URL: <https://iot.ru/gadzhety/kak-izmenyat-nashu-zhizn-ustroystva-virtualnoy-realnosti>
6. Тимченко В.С. Перспективы перехода от имитационного моделирования к виртуальной реальности в процессе повышения квалификации специалистов / Вестник Тульского государственного университета. – 2016. – № 1(15). – С. 167-169. .
7. Хасанова Г.Ф. Виртуальная реальность в инженерном образовании химического профиля / Казанский педагогический журнал. – 2019. – № 1(132). – С. 43-49.
8. Сафина Г.М. Моделирование технологических процессов сборки с учетом физиологических возможностей рабочего / Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 10-10(78). – С. 80-84.
9. Schenk Combining M. Virtual Reality and Assembly Simulation for Production Planning and Worker Qualification// Fraunhofer Institute for Factory Operation and Automation Sandtorstr. 22, D-39106 Magdeburg, Germany/ – 2005.

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

2.3.5.

Т.Н. Титова

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

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ НЕУРАВНОВЕШЕННОГО ГИРОСКОПА В КАРДАНОВОМ ПОДВЕСЕ

Рассмотрен вопрос об устойчивости движения неуравновешенного гироскопа с гибким валом в кардановом подвесе, состоящим из внутренней и внешней рамок. Оси рамок и ротора в нормальном положении взаимно перпендикулярны и пересекаются в точке, которая является неподвижной точкой подвеса. Трение в подшипниках ротора и рамок отсутствует. Рассматривается система уравнений движения рамок гироскопа и ротора в первом приближении. Рассмотрен случай, когда характеристическое уравнение, соответствующее уравнениям движения в первом приближении, не имеет собственных значений с ненулевой вещественной частью. Получен критерий устойчивости.

Ключевые слова: гироскоп, карданов подвес, устойчивость, характеристическое уравнение, собственное значение, гамильтонова матрица.

Рассмотрим движение неуравновешенного гироскопа с гибким валом в кардановом подвесе. Карданов подвес состоит из внутренней и внешней рамок. Оси рамок и ротора в нормальном положении взаимно перпендикулярны и пересекаются в одной точке, являющейся неподвижной точкой подвеса. Предположим, что отсутствует трение в подшипниках ротора и рамок. Пусть главные оси инерции рамок и ротора гироскопа совпадают и направлены вдоль осей вращения в нормальном положении.

Рассмотрим каноническую систему дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial H}{\partial y}, \quad \frac{dy}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial x}$$

с квадратичным гамильтонианом:

$$H(x, y) = \frac{1}{2} x^T A x + x^T B y + \frac{1}{2} y^T C y,$$

где x, y – n -мерные векторы-столбцы сопряженных канонических переменных, A, B, C – квадратные действительные матрицы порядка n , A и C – симметрические матрицы. Введем соответствующую этой системе гамильтонову матрицу порядка $2n$:

$$V = \begin{pmatrix} B^T & C \\ -A & -B \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Рассмотрим некоторые свойства гамильтоновых матриц. Множество собственных значений матрицы V состоит [1-4] из пар противоположных чисел $\pm\lambda_1, \pm\lambda_2, \dots, \pm\lambda_k$. Ненулевые противоположные собственные значения имеют одинаковую кратность и образуют жордановы клетки одного порядка. Нулевое собственное значение имеет четную кратность. Собственные значения гамильтоновой матрицы V найдем, решив характеристическое уравнение:

$$\det(V - \lambda E_{2n}) = 0$$

где E_{2n} – единичная матрица порядка $2n$.

В работе [3] были доказаны следующие свойства гамильтоновых матриц.

Свойство 1. Рассмотрим гамильтонову матрицу V вида () с невырожденной подматрицей C . Тогда следующие λ -матрицы эквивалентны:

$$V - \lambda E_{2n} \sim \begin{pmatrix} E_n & O_n \\ O_n & Q(\lambda) \end{pmatrix},$$

$$Q(\lambda) = \lambda^2 C^{-1} + \lambda(BC^{-1} - C^{-1}B^T) + A - BC^{-1}B^T,$$

E_n, O_n – единичная и нулевая матрицы порядка n .

Свойство 2. Характеристическое уравнение гамильтоновой матрицы (1) с невырожденной подматрицей C имеет вид:

$$\det(\lambda^2 C^{-1} + \lambda(BC^{-1} - C^{-1}B^T) + A - BC^{-1}B^T) = 0$$

Свойство 3. Определитель гамильтоновой матрицы (1) с невырожденной подматрицей C имеет вид:

$$\det V = (-1)^{n+1} \det C(A - BC^{-1}B^T)$$

Свойство 4. Пусть гамильтонова матрица (1) имеет невырожденную подматрицу C . Тогда число m жордановых клеток, соответствующих собственному значению λ_0 матрицы V , равно $\text{def} Q(\lambda_0)$.

Теперь рассмотрим движение гироскопа. Пусть повороты рамок характеризуются углами α и β . Чтобы учесть повороты ротора вокруг поперечных осей, введем углы α_1 и β_1 . Пусть $A = A_2 + A_3$ – суммарный момент инерции рамок относительно внешней оси подвеса; c – коэффициент жесткости вала; c_1 и c_2 – коэффициенты возможных связей рамок; A_1, B_1, C_1 – главные моменты инерции ротора; A_2, B_2, C_2 – главные моменты инерции для внутренней рамки; A_3, B_3, C_3 – главные моменты инерции для внешней рамки. Тогда уравнения движения рамок гироскопа в первом приближении запишутся в виде [5-9]:

$$\begin{cases} A \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + c_1 \alpha + c(\alpha - \alpha_1) = 0 \\ B_2 \frac{d^2 \beta}{dt^2} + c_2 \beta + c(\beta - \beta_1) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Однородная часть соответствующих уравнений для ротора имеет вид [5-9]:

$$\begin{cases} A_1 \frac{d^2 \alpha_1}{dt^2} + H \frac{d\beta_1}{dt} + c(\alpha_1 - \alpha) = 0 \\ A_1 \frac{d^2 \beta_1}{dt^2} - H \frac{d\alpha_1}{dt} + c(\beta_1 - \beta) = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где H – кинетический момент.

Системы уравнений (2) и (3) можно записать в следующем матричном виде:

$$G \frac{d^2 \omega}{dt^2} + P \frac{d\omega}{dt} - D\omega = 0,$$

где

$$\omega = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \alpha_1 \\ \beta_1 \end{pmatrix}; \quad G = \begin{pmatrix} A & 0 & 0 & 0 \\ 0 & B_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A_1 \end{pmatrix};$$

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H \\ 0 & 0 & -H & 0 \end{pmatrix}; D = \begin{pmatrix} -(c+c_1) & 0 & c & 0 \\ 0 & -(c+c_2) & 0 & c \\ c & 0 & -c & 0 \\ 0 & c & 0 & -c \end{pmatrix}.$$

Введем λ -матрицу $Q(\lambda) = \lambda^2 G + \lambda P - D$. Для матричного уравнения составим характеристическое уравнение:

$$\det Q(\lambda) = \begin{vmatrix} A\lambda^2 + c + c_1 & 0 & -c & 0 \\ 0 & B_2\lambda^2 + c + c_2 & 0 & -c \\ -c & 0 & A_1\lambda^2 + c & H\lambda \\ 0 & -c & -H\lambda & A_1\lambda^2 + c \end{vmatrix} = 0. \quad (4)$$

Рассмотрим вопрос об устойчивости решения полученной однородной линейной системы дифференциальных уравнений при условии, что характеристическое уравнение не имеет корней с отличной от нуля вещественной частью.

Рассмотрим следующий минор третьего порядка матрицы $Q(\lambda)$:

$$\begin{vmatrix} 0 & -c & 0 \\ B_2\lambda^2 + c + c_2 & 0 & -c \\ 0 & A_1\lambda^2 + c & H\lambda \end{vmatrix} = cH\lambda(B_2\lambda^2 + c + c_2)$$

Он отличен от нуля, если корень характеристического уравнения удовлетворяет соотношениям:

$$\lambda^2 \neq -\frac{c+c_2}{B_2}; \lambda \neq 0.$$

Если же $\lambda^2 = -\frac{c+c_2}{B_2}$, то минор, стоящий на пересечении первой, второй, четвертой строк и последних трех столбцов, отличен от нуля:

$$\begin{vmatrix} 0 & -c & 0 \\ B_2\lambda^2 + c + c_2 & 0 & -c \\ -c & -H\lambda & A_1\lambda^2 + c \end{vmatrix} = -c^3 \neq 0.$$

Следовательно, ранг матрицы $Q(\lambda_0)$ равен 3, где λ_0 – произвольный ненулевой корень характеристического уравнения. Число жордановых клеток [3], соответствующих корню λ_0 , равно $\text{def } Q(\lambda_0) = 1$. Таким образом, всякий ненулевой кратный корень характеристического уравнения образует жорданову клетку выше первого порядка. В этом случае получим неустойчивое движение.

Рассмотрим теперь

$$\det Q(0) = \det(-D) = \begin{vmatrix} c+c_1 & 0 & -c & 0 \\ 0 & c+c_2 & 0 & -c \\ -c & 0 & c & 0 \\ 0 & -c & 0 & c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} c_1 & 0 & -c & 0 \\ 0 & c_2 & 0 & -c \\ 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c \end{vmatrix} = c_1 c_2 c^2.$$

Нулевой корень характеристического уравнения мы получим только при $c_1 = 0$ или $c_2 = 0$. В этом случае $\text{rg } Q(0) = 2$ при $c_1 = c_2 = 0$; $\text{rg } Q(0) = 3$ при $c_1 \neq 0$ или $c_2 \neq 0$. Следовательно, нулевому корню (который всегда является двукратным [3]) соответствуют две жордановы клетки при $c_1 = c_2 = 0$ и одна жорданова клетка при $c_1 \neq 0$ или $c_2 \neq 0$. В последнем случае движение является неустойчивым.

Итак, можно сделать следующий вывод. Рассмотрим уравнения движения рамок гироскопа (2) и движения ротора (3). Пусть характеристическое уравнение полученной системы не имеет собственных значений с ненулевой вещественной частью, c_1 и c_2 – коэффициенты возможных связей рамок. Движение будет устойчиво тогда и только тогда, когда характеристическое уравнение (4) не имеет кратных ненулевых корней или нулевых корней при $c_1 \neq 0$ или $c_2 \neq 0$.

Список литературы

1. 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.
2. Laub A.J., Meyer K. Canonical Forms for Symplectic and Hamiltonian Matrices // Celestial Mechanics. - 1974. - V. 9, № 2. - P. 213-223.
3. Титова Т.Н. Свойства гамильтоновых матриц // Естественные и технические науки. - 2015. - № 6(84). - С. 65 – 66.
4. Брюно А.Д., Петров А.Г. О вычислении гамильтоновой нормальной формы // Доклады Академии Наук. - 2006. - Т. 410, № 4. - С. 474 – 478.
5. Магнус К. Гироскоп. Теория и применение. М.: Мир, 1974. – 526 с.
6. Ройтенберг Я. Н. Гироскопы. М.: Наука, 1975. – 592 с.
7. Новиков Л.З., Шаталов М.Ю. Механика динамически настраиваемых гироскопов. М.: Наука, 1985. – 246 с.
8. Климов Д.М., Харламов С.А. Динамика гироскопа в кардановом подвесе. М.: Наука, 1978. – 220 с.
9. Меркурьев И.В., Подалков В.В. Динамика микромеханического и волнового твердотельного гироскопов. М.: Физматлит, 2009. – 228 с.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ — 2.3.6.**

2.3.6.

М.А. Рыбин, С.А. Шарипов

МИРЭА – Российский технологический университет,
институт радиоэлектроники и информатики,
кафедра инженерной экологии техносферы,
Москва, 5162436@rambler.ru

**УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РИСКАМИ
В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

В статье рассмотрены особенности обеспечения кибербезопасности телекоммуникационных систем. Обоснована необходимость обеспечения как информационной, так и функциональной безопасности систем. Приведены методы повышения информационной безопасности.

Ключевые слова: *безопасность, телекоммуникационная сеть, методы обеспечения безопасности, риски, управление.*

В настоящее время повышаются требования к защищенности как самих телекоммуникационных систем, так и к системам управления в целом [1, 2].

Выбор методов обеспечения защиты в информационно-коммуникационных системах (ИКС) зависит от конкретного уровня и сферы применения самих систем [3,4]. В зависимости от разных уровней угроз ставится задача, относительно разных уровней защиты, среди которых можно выделить [5]: физический; программно-технический; управленческий; - технологический; уровень пользователя; сетевой.

На физическом уровне осуществляется организация и физическая защита используемых информационных ресурсов и информационной техники (ИТ) в целом, а также управленческих технологий.

На программно-техническом уровне осуществляется идентификация и проверка подлинности пользователей, управление доступом, протоколирование и аудит, криптография, экранирование, обеспечение высокой доступности.

На уровне управления осуществляется управление, координация и контроль организационных, технологических и технических мероприятий на всех уровнях со стороны единой системы обеспечения информационной безопасности.

На технологическом уровне осуществляется реализация политики информационной безопасности благодаря применению комплекса современных автоматизированных информационных технологий.

На уровне пользователя реализация политики информационной безопасности (ИБ) направлена на уменьшение рефлексивного воздействия на объекты ИБ, предотвращение информационного воздействия со стороны внешней социальной среды.

На сетевом уровне эта политика реализуется в формате координации действий компонентов системы управления, которые связаны между собой одной целью.

Что касается сферы ИБ в ИКС, то в ней обычно выделяют следующие факторы: управление доступом; аутентификация; сохранность информации; конфиденциальность данных; безопасность связи; целостность данных; доступность; секретность.

Управление доступом обеспечивает защиту от несанкционированного использования сетевых ресурсов и гарантирует, что только авторизованный пользователь или устройство может получить доступ к сетевому элементу, сохраняемой информации, информационных потоков, сервисов и приложений.

Аутентификация определяется как проверка регистрационной информации (включая подтверждение прав и полномочий) при входе в защищенную систему.

Сохранность информации обеспечивает средства для предотвращения со стороны индивидуума или объекта преднамеренных или непреднамеренных действий с изменением информации. Гарантируется наличие данных, может быть предоставлено третьей стороне и которые могут использоваться как доказательства того, что какое-то событие или действие имело место.

Под конфиденциальностью понимается невозможность несанкционированного получения доступа к защищаемой информации с помощью каких-то способов защиты данных (шифрования, списков доступа, прав доступа к файлам и др.).

Безопасность связи поддерживается только для авторизованных конечных систем, и она определена как возможность обеспечения доступа «точка-точка».

Доступность гарантирует отсутствие какого-либо ограничения на санкционированный доступ к элементам сети, что сохраняется, потокам данных, к услугам и приложениям через события, которые влияют на сеть. Варианты восстановления после аварий включены в эту категорию.

Под секретностью понимается защита частной информации и действий авторизованного пользователя, которые могут быть доступными несанкционированному.

Эти факторы не ограничиваются сетями, а распространяются и на приложения и информацию конечного пользователя. Их применяют для поставщиков услуг или предприятий, предлагающих услуги безопасности своим потребителям.

Совокупность всех возможных последствий угроз U_{kn} телекоммуникационной системы $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ можно оценить как

$$U_{kn} = \sum_{k=1}^K \sum_n^N S_{kn},$$

где N – количество видов угроз при возможном нанесении ущерба; K – возможное количество уязвимых точек в системе для воздействия.

Атаки могут быть осуществлены на [6]:

- информационные ресурсы системы;
- программное обеспечение элементов системы;
- технические средства (серверы, интерфейсы, рабочие станции и т.п.), в том числе и из-за скрытых дефектов оборудования [6].

Для того, чтобы произошла кибератака и был нанесен ущерб, необходимо, чтобы конкретная угроза при взаимодействии источника данной угрозы с конкретной уязвимостью конкретного элемента данной телекоммуникационной системы произошла в обход системы защиты информации.

Для оценки возможности нанесения ущерба телекоммуникационной сети за счет реализации возможных угроз через потенциальные уязвимости служит понятие риска.

Для количественной оценки риска используется следующая формула

$$R = P_{уг} U,$$

где R – риск при угрозе; $P_{уг}$ – вероятность успешной реализации атаки; U – величина нанесенного ущерба.

Вероятность реализации угрозы состоит из вероятности появления источника угрозы и его готовности реализовать успешную атаку, а также включает вероятности наличия у инфокоммуникационной системы подходящей уязвимости и ее доступность для угрозы [8-9]:

$$P_{уг} = P_{ат} \cdot P_{уяз},$$

где $P_{ат}$ – вероятность осуществления угрозы; $P_{уяз}$ – вероятность наличия в системе элемента, уязвимого для осуществляемой атаки.

При анализе защиты от внешних атак системы от нескольких угроз одновременно оценка уровня защищенности системы можно оценить по формуле [7]:

$$Z = \frac{N}{\sum_{i=1}^N (P_{угi} \cdot U_i \cdot P_{пзи})},$$

где Z – защищенность телекоммуникационной системы от воздействия конкретной угрозы; N – количество угроз; $P_{пзи}$ – вероятность преодоления i -той угрозы средствами

защиты телекоммуникационной системы в процессе противодействия угрозе; U_i – величина нанесенного ущерба в результате данной угрозы.

В работе [10] описаны четыре подхода к оценке эффективности, основанных на анализе рисков, защиты системы от кибератак:

- базовый метод, основанный на использовании моделей стандартных способов информационной безопасности;
- метод детального анализа рисков, предполагающий систематический анализ безопасностей, исходя из особенностей конкретной телекоммуникационной системы;
- экспертный метод, основанный на анализе рисков с привлечением знаний и опыта экспертов в данной области;
- комбинированный метод, представляющий собой комбинацию первых трех методов в различных сочетаниях.

Список литературы

1. Легкий Н.М. Тенденции развития технологий производства электроники / Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. 2018. № 14. С. 312-316.
2. Легкий Н.М. Особенности построения автоматизированных систем оперативного управления производством / Естественные и технические науки. 2016. № 4 (94). С. 110-111.
3. Лёгкий Н.М., Ермаков К.В. Оперативное управление производством на базе современных систем автоматизации / Наука и техника транспорта. 2014. № 3. С. 14-16.
4. Легкий Н.М. Обеспечение производственной эффективности при проектировании и производстве устройств радиочастотной идентификации: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / МИРЭА. Москва, 2011.
5. Легкий Н.М., Рыбин М.А. Защита информации в территориально распределенной системе / Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем» («Радиоинфоком-2022»), г. Москва, РТУ МИРЭА: сборник научных статей. – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2022, с. 684-689.
6. Легкий Н.М. Автоматизированная система контроля качества и диагностики неисправностей радиоэлектронной аппаратуры в процессе производства / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Москва, 2004
7. Буренин А.Н., Легков К.Е. К вопросу управления рисками при обеспечении безопасности инфокоммуникационных сетей специального назначения / Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2012. Т. 4. № 3. С. 17-19.
8. Буренин И.А., Легков К.Е. Модели управления рисками при обеспечении безопасности инфокоммуникационных сетей специального назначения / Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2012. Т. 4. № 4. С. 4-6.
9. Буй П.М. Оценка рисков кибербезопасности инфокоммуникационных систем железнодорожного транспорта / Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. 2020. № 2 (41). С. 20-23.
10. Анищенко В.В. Методы оценки эффективности защиты активов в объектах информационных технологий / В. В. Анищенко, А. М. Криштофик // Информатика. – 2004. – № 3. – С. 95–105.

2.3.6.

Е.В. Яковлева, В.Е. Медведев, Е.В. Лагунская, И.С. Драгунцова

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»,
Институт управления рисками и комплексной безопасности,
кафедра техносферной и информационной безопасности,
Оренбург, draguncova.irina@mail.ru

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ КОЛИЧЕСТВА ОТКАЗОВ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В статье изучается проблема оценки динамики количества отказов программного обеспечения для двухпараметрической экспоненциальной математической модели надёжности, предложенной авторами. Модель представлена дифференциальным уравнением с двумя параметрами относительно количества обнаруженных и исправленных в программе ошибок (отказов) к моменту оценки надёжности программы. Исследовалась проблема оценки динамики основных характеристик модели. Найдены аналитические зависимости от времени для основных показателей, изучалось поведение модели в зависимости от соотношения её параметров.

Ключевые слова: *математическая модель, надёжность и безопасность программного обеспечения, оценка динамики основных показателей модели.*

Введение. Основными показателями качества информационных систем (далее – ИС) являются надёжность, достоверность и безопасность. В этой работе рассмотрены математические аспекты такой составляющей части надёжности и безопасности ИС как надёжность программного обеспечения (далее – ПО) системы, его корректность. Проблема надёжности ИС, ПО особенно обострилась в связи с широким внедрением сложных систем массового обслуживания. Создание и использование ИС невозможно без специальных мер по обеспечению их надёжности. Отказы в работе ИС и ПО, некорректная работа, может привести к катастрофическим последствиям [1-3]. Уровень надёжности ПО снижается из-за наличия в нём ошибок. Ошибки в программе ведут к отказам не только в ПО, но и в работе ИС в целом. В соответствии с [3] надёжность ПО – это свойство этого обеспечения выполнять заданные функции, сохраняя свои характеристики в установленных пределах при определённых условиях эксплуатации, причём надёжность программ определяется безотказностью и восстанавливаемостью.

Цель работы – выявление закономерностей проявления ошибок (отказов) ПО в рамках предложенной авторами модели для прогнозирования его надёжности и обеспечения безопасности.

Материалы и методы. Проблема исследуется методом математического моделирования: в статье предложена и исследована двухпараметрическая экспоненциальная математическая модель надёжности ПО [3]. Модель основана на предположении об экспоненциальном законе изменения количества ошибок (отказов) в программе со временем и прогноз надёжности программы можно дать на основании данных, полученных в результате её тестирования [4-5].

Основные показатели этой модели [3]: 1) τ – суммарное время работы ПО от начала тестирования, включая устранение обнаруженных ошибок, до момента оценки надёжности; 2) M – количество ошибок в ПО перед началом тестирования; 3) $m(\tau)$ – количество обнаруженных и исправленных ошибок (отказов), а $m_0(\tau)$ – количество оставшихся в ПО ошибок от начального количества M к моменту времени τ

$$m_0(\tau) = M - m(\tau). \quad (1)$$

Предполагается, что случайная величина $m(\tau)$ в каждый момент времени имеет пуассоновское распределение, а длительность промежутка времени между двумя ошибками распределена по экспоненциальному закону; параметр этого распределения изменяется после устранения очередной ошибки. В предлагаемой модели принято следующее соотношение между интенсивностью исправления ошибок $m'(\tau)$ и интенсивностью их обнаружения (интенсивностью отказов) $\lambda(\tau)$:

$$m'(\tau) = \lambda(\tau). \quad (2)$$

Допускается, что в процессе работы программы и исправления ошибок могут появляться новые ошибки, а интенсивность отказов $\lambda(\tau)$ полагается непрерывной функцией и складывается из интенсивности двух противоположных процессов: интенсивности устранения ошибок, пропорциональной количеству оставшихся в программе ошибок $m_0(\tau)$ и интенсивности появления новых ошибок, пропорциональной текущему количеству $m(\tau)$ обнаруженных и исправленных ошибок к моменту τ :

$$\lambda(\tau) = \alpha m_0(\tau) + \beta m(\tau), \quad (3)$$

где $\alpha > 0$ – константа модели, зависящая от быстродействия компьютера и сложности программы, $\beta \geq 0$ – постоянная, характеризующая процесс появления новых ошибок.

Подставив в (2) вместо функции $\lambda(\tau)$ её выражение из (3) и заменив $m_0(\tau)$ его выражением из формулы (1) проблему оценки количества $m(\tau)$ отказов ПО к моменту времени τ сведём к следующей математической модели: найти непрерывное неотрицательное решение задачи с начальным условием для дифференциального уравнения

$$m'(\tau) = \alpha M - (\alpha - \beta)m(\tau), \quad m(0) = 0. \quad (4)$$

Отметим, что ранее нами рассматривалась модель надёжности ПО, основанная на дифференциальном уравнении

$$m'(\tau) = \alpha M - (\alpha + \beta)m(\tau), \quad m(0) = 0.$$

Разделив переменные в (4) и проинтегрировав по промежутку $s \in [0, \tau]$, после интегрирования и элементарных преобразований получим соотношение

$$-(1/(\alpha - \beta)) \ln |1 - ((\alpha - \beta)/\alpha M)m(\tau)| = \tau. \quad (5)$$

Потенцированием соотношение (5) приводим к виду

$$|1 - ((\alpha - \beta)/\alpha M)m(\tau)| = \exp(-(\alpha - \beta)\tau). \quad (6)$$

Результаты. Рассмотрим формулы и динамику основных характеристик модели в зависимости от соотношения параметров α и β .

1. Если в (6) $\alpha > \beta$, то начальное условие $m(0) = 0$ будет выполняться только для таких решений $m(\tau) \geq 0$ дифференциального уравнения (4), для которых при любом $\tau \geq 0$ справедливо неравенство $1 - ((\alpha - \beta)/\alpha M)m(\tau) > 0$. Если $\alpha < \beta$ в (6), то $1 - ((\alpha - \beta)/\alpha M)m(\tau) > 0$ при любом $m(\tau) \geq 0$. Поэтому далее будем рассматривать только неотрицательные решения уравнения (4), удовлетворяющие при любом $\tau \geq 0$ неравенству

$$1 - ((\alpha - \beta)/\alpha M)m(\tau) > 0. \quad (7)$$

2. Для решений $m(\tau)$ уравнения (4), удовлетворяющих условию (7), соотношение (6) примет вид

$$1 - ((\alpha - \beta)/\alpha M)m(\tau) = \exp(-(\alpha - \beta)\tau). \quad (8)$$

Из формулы (8) найдено решение задачи Коши (4), т. е. закон изменения количества обнаруженных и исправленных ошибок (отказов) ПО со временем τ

$$m(\tau) = (\alpha M / (\alpha - \beta)) (1 - \exp(-(\alpha - \beta)\tau)). \quad (9)$$

3. Из формулы (9) следует, что при $\alpha > \beta$ количество обнаруженных и исправленных ошибок $m(\tau)$ будет ограниченной возрастающей со временем τ функцией, асимптотически стремящейся к конечному предельному значению

$$\alpha M / (\alpha - \beta) = \lim_{\tau \rightarrow \infty} m(\tau),$$

причём $\alpha M / (\alpha - \beta) > M$. Это означает, что начиная с некоторого момента в ПО не будет оставаться ошибок, все ошибки в ПО будут устраняться. Количество ошибок в ПО будет ограничено в течение всего процесса и не превысит $\alpha M / (\alpha - \beta)$.

Количество $m_0(\tau)$ ошибок, остающихся к моменту τ от начального количества M в ПО, уменьшается с ростом τ до нуля и его текущее значение равно

$$m_0(\tau) = M (1 - (\alpha / (\alpha - \beta)) (1 - \exp(-(\alpha - \beta)\tau))).$$

4. При $\alpha < \beta$ формулу (9) целесообразно преобразовать к виду

$$m(\tau) = (\alpha M / (\beta - \alpha)) (\exp((\beta - \alpha)\tau) - 1). \quad (10)$$

Из формулы (10) видно, что функция $m(\tau)$ будет неограниченно возрастать с ростом τ , поэтому в ПО будет неограниченно расти количество отказов.

5. При $\alpha = \beta$ непосредственно из уравнения (4) находим

$$m(\tau) = \alpha M \tau.$$

В том случае количество отказов описывается линейной неограниченно растущей функцией.

Выводы. Для предложенной авторами двухпараметрической математической модели надёжности ПО выведены аналитические соотношения для основных характеристик модели. Произведена оценка динамики количества отказов в процессе работы ПО в разных режимах, в зависимости от соотношения параметров α и β модели. Установлено, что при $\alpha > \beta$ количество ошибок в ПО будет ограничено в течение всего процесса и не превысит $\alpha M / (\alpha - \beta)$. При $\alpha \leq \beta$ в ПО со временем будет неограниченно расти количество отказов.

Список литературы

1. Математическое моделирование отказоустойчивости информационных систем / А. И. Голева, Н. Р. Стороженко, В. И. Потапов, О. П. Шафеева // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2019. – Т. 17. – № 4. – С. 33-45. – DOI 10.25205/1818-7900-2019-17-4-5-33-45. – EDN POKCRJ.
2. Мальков М.В. О надёжности информационных систем / М. В. Мальков // Труды Кольского научного центра РАН. – 2012. – № 6(13). – С. 49-58. – EDN RPZIV.
3. Громов Ю.Ю. Надёжность информационных систем: учебное пособие / Ю.Ю. Громов, О.Г. Иванова, Н.Г. Мосягина, К.А. Набатов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 160 с.
4. Федоров Ю.И. Об одном методе априорных оценок параметров экспоненциальной математической модели надёжности программного обеспечения / Ю. И. Федоров, А. Г. Анников // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 10. – С. 133-136. – EDN IKVPGV.
5. Федоров Ю.И. Оценка некоторых неизвестных параметров надёжности программного обеспечения / Ю. И. Федоров // Интеллектуальные системы и информационные технологии - 2022: Труды международного научно-технического конгресса, Таганрог, 01–09 сентября 2022 года. Том 1. – Таганрог: Ступина С.А., 2022. – С. 379-382. – EDN QXEYCO.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

А.Ю. Барыкин, Р.М. Галиев,
Э.М. Мухаметдинов, Д.И. Нуретдинов, Р.Р. Басыров
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК
ДЕТАЛЕЙ РУЛЕВОГО ПРИВОДА**

Ключевые слова: грузовой автомобиль, рулевое управление, рулевой привод, гидравлический усилитель, рулевая колонка, сошка, зимняя эксплуатация, температура воздуха.

В статье приведены результаты исследования приводов рулевого управления грузовых автомобилей, эксплуатируемых в зимних условиях. Показана необходимость оценки изменения параметров привода и усилителя рулевого управления под действием внешних факторов. Разработана математическая модель, описывающая влияние окружающей среды на эксплуатационные нагрузки деталей рулевого привода.

А.В. Волков, М.В. Кудашкина, Т.А. Захvatова
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО
РЕЗОНАНСА В НАТРИЕВОЙ ЛАМПЕ ВЫСОКОГО
ДАВЛЕНИЯ**

Ключевые слова: акустический резонанс, натриевая лампа высокого давления, математическая модель.

Явление акустического резонанса представляет собой сложную проблему, которую сегодня не могут достоверно объяснить причину возникновения данного явления. Чтобы обнаружить его появление, обычно используют математическое моделирование, а также экспериментальные исследования, которые направлены на измерения некоторых параметров лампы. При возникновении акустического резонанса, как правило, изменяются некоторые физические параметры (температура, плотность электронов, локальное давление, излучение, электропроводность), а также электрические параметры лампы (падение напряжения, ток, внутреннее сопротивление лампы). В статье представлены результаты математического моделирования процесса возникновения акустического резонанса в натриевой лампе высокого давления для последующего предсказания появления данного явления на практике.

Т.Э. Носальская, Н.В. Пешков, В.А. Ильных, В.Ю. Линейцев
**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
РЕАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНИЧЕСКОГО ВАЛА
С УЧЁТОМ МОМЕНТА РАЗЛАДКИ**

Ключевые слова: математическая модель конической оправки, коническое соединение, закон распределения, отклонение формы, момент разладки, метод кумулятивных сумм.

В статье приводится оценка и прогноз отклонений формы деталей конических соединений используемых в узлах станков с ЧПУ.

Результаты замеров отклонений геометрической формы конических валов (оправок) показали, что реализации отклонений формы распределены по нормальному закону, с разными параметрами распределения. Это дает возможность создать математическую модель формы конической оправки, которая позволит определять ее непригодность в результате многократных сборок-разборок конического соединения узла станка в процессе его эксплуатации.

Е.Г. Царькова
**НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ
ВРЕДНОСНОЙ АКТИВНОСТИ В ВЕДОМСТВЕННЫХ
СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, модель сети с долгой краткосрочной памятью, информационная безопасность, система обнаружения вторжений.

В работе приводится подход к построению системы обнаружения аномалий в ведомственных сетях передачи

A.Yu. Barykin, R.M. Galiev,
E.M. Mukhametdinov, D.I. Nuretdinov, R.R. Basyrov
**INVESTIGATION OF OPERATIONAL LOADS
OF STEERING DRIVE PARTS**

Keywords: truck, steering, steering gear, hydraulic booster, steering column, bipod, winter operation, air temperature.

The article presents the results of a study of steering drives of trucks operated in winter conditions. The necessity of evaluating changes in the parameters of the drive and power steering under the influence of external factors is shown. A mathematical model describing the influence of the environment on the operational loads of steering drive parts has been developed.

A.V. Volkov, M.V. Kudashkina, T.A. Zakhvatova
**SIMULATION OF THE ACOUSTIC RESONANCE
PHENOMENON IN A HIGH PRESSURE SODIUM LAMP**

Keywords: acoustic resonance, high pressure sodium lamp, mathematical model.

The phenomenon of acoustic resonance is a complex problem, which cannot be reliably explained today as the cause of this phenomenon. To detect its occurrence, mathematical modeling is usually used, as well as experimental studies that are aimed at measuring certain parameters of the lamp.

When an acoustic resonance occurs, as a rule, some physical parameters change (temperature, electron density, local pressure, radiation, electrical conductivity), as well as the electrical parameters of the lamp (voltage drop, current, internal resistance of the lamp).

The article presents the results of mathematical modeling of the process of occurrence of acoustic resonance in a high-pressure sodium lamp for the subsequent prediction of the occurrence of this phenomenon in practice.

T.E. Nosalskaya, N.V. Peshkov, V.A. Il'inykh, V.Yu. Lineitzev
**ON DEVELOPING MATHEMATICAL MODEL FOR REAL
SURFACE OF SPINDLE WITH PROVISION FOR CHANGE
POINT**

Keywords: mathematical model of a conical mandrel, conical connection, distribution, shape deviation, disorder moment, cumulative sum method.

The article presents estimates and forecasts of deviations in the forms of prototype parts, bushing-shaft in relation to assembly units and assemblies of CNC machines.

The results of measuring geometric shape deviations of conical quantities (mandrels) show that the implementation of shape deviations is normal distributed with some parameters. This makes it possible to create a mathematical model of the conical mandrel shape, which makes it possible to determine its unsuitability as a result of reusable assemblies and disassemblies of the conical connection of nodes during its operation.

E.G. Tsarkova
**NEURAL NETWORK MODEL OF A MALICIOUS
ACTIVITY PREVENTION SYSTEM IN DEPARTMENTAL
DATA TRANSMISSION NETWORKS**

Keywords: artificial neural network, network model with long short-term memory, information security, intrusion detection system.

The paper presents an approach to the construction of an anomaly detection system in departmental data transmission

данных, построенной на основе искусственной нейронной сети. Рассмотрена архитектура сети с долгой краткосрочной памятью, описана технология предотвращения вторжений, предложен вариант адаптации нейросетевой системы выявления вредоносной активности к изменяющимся условиям.

networks based on an artificial neural network. The architecture of a network with a long short-term memory is considered, the intrusion prevention technology is described, and a variant of adapting a neural network system for detecting malicious activity to changing conditions is proposed.

С.В. Шилова, П.В. Кожевникова, А.А. Чувашов
ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ И
АГРЕГАТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО
РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАЗЦОВ
ОТРАБОТАННЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ
НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

S.V. Shilova, P.V. Kozhevnikova, A.A. Chuvashov
EVALUATION OF THE TECHNICAL CONDITION
OF COMPONENTS AND AGGREGATES OF VEHICLES
BASED ON THE RESULTS OF STUDIES OF SAMPLES
OF USED LUBRICANTS BY FUZZY MODELING
Keywords: diagnostics of vehicle units, fuzzy modeling,
lubricants.

Ключевые слова: диагностика агрегатов транспортных средств, нечеткое моделирование, смазочные материалы.

В работе освещена проблема выявления отклонений рабочих параметров агрегатов автотранспортных средств от норм заводов-изготовителей на ранних стадиях посредством периодической диагностики отработанных смазочных материалов. Рассмотрена технология диагностики отечественных авторов. Для повышения точности диагностики и прогнозирования остаточного ресурса смазочных материалов предложено использование математического аппарата, основанного на элементах теории нечеткого моделирования.

The paper highlights the problem of identifying deviations in the operating parameters of motor vehicle units from the standards of manufacturers at an early stage through periodic diagnostics of used lubricants. The diagnostic technology of domestic authors is considered. To improve the accuracy of diagnostics and prediction of the residual life of lubricants, the use of a mathematical apparatus based on elements of the theory of fuzzy modeling is proposed.

В.В. Андреев, В.О. Фурман, И.В. Демарев,
Н.С. Любавин, Н.С. Пугачев, С.А. Антонов
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ
ОБОБЩЕННОГО АНАЛИЗА

V.V. Andreev, V.O. Furman, I.V. Demarev,
N.S. Lubavin, N.S. Pugachev, S.A. Antonov
PREDICTION OF HYDRAULIC RESISTANCE
INDICATORS BASED ON GENERAL ANALYSIS
METHODOLOGY

Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, испытания, обобщение экспериментальных данных, верификация, прогнозирование.

Keywords: hydraulic resistance, testing, generalization of experimental data, verification, prediction.

В данной статье рассмотрены исследования по оценке гидравлических характеристик циркуляционных контуров, результаты которых используются для обоснования надежности и безопасности ядерных энергетических установок (ЯЭУ) стационарного и транспортного назначения. Представлены основные характеристики некоторых экспериментальных стендов. Высокая стоимость получения подобных экспериментальных данных заставляет разрабатывать методы прогнозирования показателей гидравлического сопротивления, в том числе, на основе обобщенного анализа. Показана возможность уточнения методов прогнозирования с использованием процедуры обобщения экспериментальных данных.

This article discusses studies on the evaluation of the hydraulic characteristics of circulation circuits, the results of which are used to justify the reliability and safety of nuclear power plants (NPPs) for stationary and transport purposes. The main characteristics of some experimental stands are presented. The high cost of obtaining such experimental data makes it necessary to develop methods for predicting hydraulic resistance indicators, including on the basis of a generalized analysis. The possibility of refining forecasting methods using the procedure of generalization of experimental data is shown.

М.С. Аносов, Е.С. Аносова,
М.С. Трофимова, А.А. Подувальцев
КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ
И РАЗРУШЕНИЯ СПЛАВА 04X24Ni13, ПОЛУЧЕННОГО ПО
ТЕХНОЛОГИИ ВААМ ПРИ ИСПЫТАНИИ НА УСТАЛОСТЬ

M.S. Anosov, E.S. Anosova,
M.S. Trofimova, A.A. Poduval'tsev
QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE PROCESS OF
DEFORMATION AND FRACTURE OF 04Cr24Ni13
ALLOY PRODUCED BY THE WAAM TECHNOLOGY
DURING FATIGUE TESTIN

Ключевые слова: сплав 04X24Ni13, ВААМ, усталость, неразрушающий контроль.

Keywords: alloy 04Cr24Ni13,

WAAM, fatigue, non-destructive testing.

В работе проведено исследование особенностей деформации и разрушения сплава 04X24Ni13, полученного по технологии аддитивной электродуговой наплавкой. Установлена долговечность и предел выносливости исследуемого материала в диапазоне малоциклового усталости. Получена зависимость фрактальной размерности изображения микроструктуры рабочей зоны образца от его наработки для оценки остаточного ресурса материала по результатам неразрушающего контроля.

In this work, a study was made of the features of deformation and fracture of the 04Cr24Ni13 alloy obtained using the technology of additive electric arc surfacing. The durability and endurance limit of the studied material in the range of low-cycle fatigue have been established. The dependence of the fractal dimension of the image of the microstructure of the working area of the sample on its operating time is obtained to estimate the residual resource of the material according to the results of non-destructive testing.

А.Г. Жорняк, Т.А. Морозова
ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ LAZARUS
ДЛЯ НАУЧНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.
ЧАСТЬ II. РАБОТА С БАЗАМИ ДАННЫХ
Ключевые слова: среда разработки Lazarus, базы данных,

A.G. Zhorniyak, T.A. Morozova
APPLICATION OF THE LAZARUS DEVELOPMENT
ENVIRONMENT FOR SCIENTIFIC AND ENGINEERING
RESEARCH. PART II. WORK WITH DATABASES
Keywords: Lazarus development environment, databases,

система управления базами данных, субд MSSQLServer, субд PostgreSQL, субд Oracle, субд MySQL, субд Firebird, библиотека ZEOSLib, язык запросов SQL.

Статья посвящена среде разработки Lazarus, используемой для создания программного обеспечения на языке Object Pascal. Рассматривается задача организации взаимодействия среды разработки Lazarus с базами данных в процессе создания программного обеспечения для научных и инженерных исследований. Также описана библиотека ZEOSLib, предназначенная для работы с базами данных, методика ее установки и пример использования в составе среды разработки Lazarus.

А.Г. Жорняк, Т.А. Морозова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ БИБЛИОТЕКИ ЯЗЫКА PYTHON В НАУЧНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧАХ.

ЧАСТЬ I. БИБЛИОТЕКИ CX_FREEZE И PYINSTALLER

Ключевые слова: язык программирования Python, программное обеспечение, исполняемый файл exe, менеджер пакетов PIP, командная строка, библиотека cx_Freeze, библиотека PyInstaller.

Статья посвящена языку программирования Python, применяемому в задачах разработки программного обеспечения для научных и инженерных вычислений. В статье рассмотрена проблема переносимости разработанного программного обеспечения на языке Python, а также приведены примеры использования специализированных библиотек cx_Freeze и PyInstaller для создания исполняемого файла в программном обеспечении на языке Python.

Р.Р. Имаев, Д.М. Афанасьев, Г.А. Гареева
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО

ДОКУМЕНТООБОРОТА СРЕДСТВАМИ 1С:ПРЕДПРИЯТИЕ

Ключевые слова: 1С, Документооборот, Лист согласования.

В данной статье рассмотрены этапы разработки расширения «Лист согласования» на базе конфигурации 1С:Документооборот 2.1. Стандартные электронные подписи (ЭЦП), используемые для согласования документов, перекрывают информацию, находящуюся в самих же документах. Поэтому было решено разработать компонент для формирования дополнительного листа согласования к основному документу и проставления в нем простых цифровых подписей.

Е.Н. Канинина, А.В. Пантелеев, Н.А. Балашов ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИВОЙ СИЛЫ СВЕТА СВЕТОДИОДОВ

Ключевые слова: воспроизводимость, кривая силы света, методика измерений, приемник излучения, сила света.

В статье рассматриваются результаты определения формы кривой силы света светодиодов в зависимости от используемых методик измерений. Проводится сравнительный анализ результатов определения кривых силы света светодиодов, полученных с помощью различных методик.

О.С. Логунова, Л.С. Масальский, Е.А. Ильина, Д.Я. Арефьева, Л.В. Артюхин, Е.А. Горлова ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАУЧНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВТОРОВ

Ключевые слова: публикационная активность, публикационные коллаборации, визуализация, разработка программного обеспечения.

В статье проанализированы теоретические и практические аспекты разработки приложения, осуществляющего визуализацию данных для наукометрического анализа. Рассмотрены различные формы представления данных о публикационной активности. Представлено разработанное программное обеспечение, реализующее визуализацию для качественной оценки публикационных коллабораций.

database management system, database management system MS SQL Server, database management system PostgreSQL, database management system Oracle, database management system MySQL, database management system Firebird, ZEOSLib library, SQL query language.

The article is devoted to the Lazarus development environment used to create software in the Object Pascal language. The task of organizing the interaction of the Lazarus development environment with databases in the process of creating software for scientific and engineering research is considered. It also describes the ZEOSLib library designed for working with databases, the method of its installation and an example of using it as part of the Lazarus development environment.

A. G. Zhornyak, T. A. Morozova

ADDITIONAL PYTHON LIBRARIES FOR SCIENTIFIC AND ENGINEERING TASKS. PART I. THE CX_FREEZE AND PYINSTALLER LIBRARIES

Keywords: Python programming language, software, executable exe file, PIP package manager, command line, cx_Freeze library, PyInstaller library.

The article is devoted to the Python programming language used in software development tasks for scientific and engineering computing. The article considers the problem of portability of the developed software in Python. Examples of using specialized libraries cx_Freeze and PyInstaller to create an executable file in Python software are considered.

R.R. Imaev, D.M. Afanasyev, G.A. Gareeva IMPROVEMENT OF INTERNAL DOCUMENT FLOW BY MEANS OF 1C:ENTERPRISE

Keywords: 1C, Document Management, Approval Sheet.

This article describes the stages of developing the "Approval Sheet" extension based on the 1C:Document Management 2.1 configuration. Standard electronic signatures (EDS) used for document approvals overlap the information contained in the documents themselves. Therefore it was decided to develop a component for generating an additional agreement sheet to the main document and affixing therein simple digital signatures.

E.N. Kaninina, A.V. Panteleev, N.A. Balashov INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF MEASUREMENT METHODS ON THE RESULTS OF DETERMINING THE SHAPE OF THE LIGHT INTENSITY CURVE OF LEDS

Keywords: reproducibility, light intensity curve, measurement technique, radiation receiver, light intensity.

The article discusses the results of determining the shape of the light intensity curve of LEDs, depending on the measurement techniques used. A comparative analysis of the results of determining the light intensity curves of LEDs obtained using various techniques is carried out.

O.S. Logunova, L.S. Masalsky, E.A. Ilina, D.Y. Arefeva, L.V. Artyukhin, E.A. Gorlova DATA VISUALIZATION FOR ASSESSMENT OF SCIENTIFIC INTERACTIONS BETWEEN AUTHORS

Keywords: publication activity, publication collaboration, visualization, software development.

The paper is concerned with theoretical and practical aspects of developing an application for visualizing data in scientometrics analysis. Various forms of presentation of publication activity data are considered. The article presents the software that enables visualization for qualitative evaluation of publication collaboration.

А.Ю. Перов, И.Е. Серебрянская
ФОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ключевые слова: тепловые изображения, температурный портрет, беспилотные летательные аппараты.

В статье описывается получение математической модели построения температурного изображения беспилотных летательных аппаратов. Приведены практические рекомендации о формировании полигональной модели цели и результаты моделирования распределения температур по поверхности беспилотных летательных аппаратов.

А.С. Полянина
ПОЛНЫЙ ЦИКЛ ПОХОДКИ В ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ПЛОСКОГО ДВУНОГО РОБОТА

Ключевые слова: двуногий робот, цикл походки, сагиттальная плоскость, динамическая модель.

В работе рассматривается схема устройства плоского двуногого робота и возможность получения циклической походки при условии, что лодыжки робота не приводятся в движение. При ходьбе походка состоит из последовательных фаз с одной опорой и мгновенных фаз с двойной опорой ног, которые моделируются уравнениями пассивного взаимодействия с поверхностью.

Д.А. Привалов, А.М. Самойлов, К.Г. Галстян,
Н.Г. Катков, Н.П. Тарасова, В.В. Андреев
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ
ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ДЛЯ СУДОВЫХ ЯЭУ

Ключевые слова: судовые ЯЭУ, гидродинамика теплоносителя, активная зона, внешнее воздействие.

В работе представлены качественная характеристика и сравнение результатов экспериментов по изучению теплогидравлических процессов в оборудовании судовых ядерных установок типа КЛТ-40 и РИТМ-200, а также возможные направления дальнейших экспериментальных исследований гидродинамических и теплообменных процессов в судовых ЯЭУ.

А.В. Рысистов, Н.А. Максимов
АЛГОРИТМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БПЛА
НА РАЗНОСЕЗОННЫХ СНИМКАХ МЕСТНОСТИ
ЧАСТЬ I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ
И АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ЕЕ РЕШЕНИЮ

Ключевые слова: БПЛА, позиционирование, метод Монте-Карло, фильтр частиц, компьютерное зрение, сиамская нейронная сеть, подобие изображений, сезонные изменения.

В работе рассматривается принцип построения инвариантного к сезонным изменениям подстилающей поверхности алгоритма позиционирования БПЛА на основе визуальной информации, поступающей с камеры, закрепленной на борту БПЛА.

А.В. Рысистов, Н.А. Максимов
АЛГОРИТМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БПЛА
НА РАЗНОСЕЗОННЫХ СНИМКАХ МЕСТНОСТИ
ЧАСТЬ II. СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗНОСЕЗОННЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ С РАЗРАБОТАННЫМИ
АЛГОРИТМАМИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Ключевые слова: БПЛА, позиционирование, фильтр частиц, компьютерное зрение, сиамская нейронная сеть, подобие изображений, сезонные изменения.

Предлагается метод вычисления подобия разносезонных изображений местности. Полученная мера подобия используется в основе алгоритма фильтра частиц для оценки положения БПЛА.

Оценивается эффективность полученного метода сопоставления изображений в рамках системы позиционирования БПЛА и результаты сравнения разработанного метода сопоставления изображений с существующими.

A.Y. Perov, I.E. Serebrianskaya
FORMATION OF THERMAL IMAGES
OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

Keywords: thermal images, temperature portrait, unmanned aerial vehicles.

The article describes obtaining a mathematical model for constructing a temperature image of unmanned aerial vehicles. Practical recommendations on the formation of a polygonal target model and the results of modeling the temperature distribution over the surface of unmanned aerial vehicles are given.

A.S. Polyagina
COMPLETE GAIT CYCLE IN DYNAMIC MODEL
FOR A PLANAR BIPED ROBOT

Keywords: biped robot, gait cycle, sagittal plane, dynamic model.

The paper considers the scheme of a plane biped robot and the possibility of obtaining cyclic gait, provided that the robot's ankles do not move. When walking, the gait consists of successive phases with a single support and instantaneous phases with a double support of the legs, which are modeled by the equations of passive interaction with the surface.

D.A. Privalov, A.M. Samoilov, K.G. Galstyan,
N.G. Katkov, N.P. Tarasova, V.V. Andreev
ANALYSIS OF THE CURRENT STATE
OF THERMOHYDRAULIC RESEARCH FOR MARINE
NUCLEAR POWER PLANTS

Keywords: marine nuclear power plants, coolant hydrodynamics, active zone, external impact.

The paper presents qualitative characteristics and comparison of the results of experiments on the study of thermohydraulic processes in the facilities of shipboard nuclear installations such as KLT-40 and RITM-200, as well as possible directions for further experimental studies of hydrodynamic and heat exchange processes in shipboard nuclear power plants.

A.V. Rysistov, N.A. Maksimov
UAV POSITIONING ALGORITHM ON MULTI-
SEASONAL IMAGES OF THE TERRAIN PART I.
STATEMENT OF THE POSITIONING PROBLEM AND
ANALYSIS OF APPROACHES TO ITS SOLUTION

Keywords: UAV, positioning,

Monte Carlo method, particle filter, computer vision, Siamese neural network, image similarity, seasonal changes. The paper considers the principle of constructing a UAV positioning algorithm invariant to seasonal changes in the underlying surface based on visual information coming from a camera mounted on board the UAV.

A.V. Rysistov, N.A. Maksimov
UAV POSITIONING ALGORITHM ON MULTI- SEASON
IMAGES OF THE AREA PART II. COMPARISON OF
MULTI-SEASON IMAGES AND EXPERIMENTS WITH
THE DEVELOPED POSITIONING ALGORITHMS

Keywords: UAV, positioning, particle filter, computer vision, Siamese neural network, image similarity, seasonal changes. A method for calculating the similarity of multi-season images of the terrain is proposed. The resulting similarity measure is used as the basis of the particle filter algorithm to estimate the position of the UAV. The effectiveness of the obtained image matching method within the framework of the UAV positioning system and the results of comparing the developed image matching method with existing ones are evaluated.

А.М. Смолев, Т.И. Михеева, К.А. Молодыко
МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ КАПСУЛЫ НА
ТРОСЕ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ITSIGIS

Ключевые слова: тросовая система,
метод Рунге-Кутты, угол нутации, испытания, ITSIGIS.

В работе приводятся результаты моделирования движения капсулы на тросе во время развертывания космической тросовой системы (КТС) с использованием специализированного инструмента, применяющего численный метод Рунге-Кутты для решения описывающей КТС задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Производится исследование зависимости угла нутации капсулы при варьировании параметров КТС. Также описываются способы применения данного инструмента в других областях.

А.Ю. Унгер
ФОРМАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ОПТИМИЗАЦИИ
С БЕСКОНЕЧНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ РЕШЕНИЙ

Ключевые слова: контекстно-свободная грамматика,
эволюционный алгоритм, функция приспособленности,
генетический оператор.

В работе рассматривается применение контекстно-свободных грамматик к алгоритмам эволюционного поиска. Показано, как с помощью генетического оператора и подходящей грамматики можно решить задачу оптимизации, имеющую бесконечное пространство решений. Аналитическим путем получено выражение для оценки верхней границы скорости сходимости алгоритма (1+1) в контексте решения задачи OneMax. Получены результаты моделирования процессов эволюции трёх эквивалентных грамматик по предложенному алгоритму. Показано, что результаты, полученные теоретическим путем, полностью совпадают с результатами эксперимента.

Х.А. Шамасна, А.В. Семашко
ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА
ВЕЩЕЙ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ
УМНЫМИ ФЕРМАМИ

Ключевые слова: промышленный интернет вещей, IIOT,
мониторинг, большие данные, управление умной фермой,
интернет вещей, IoT, ИВ, искусственный интеллект.

Современное сельское хозяйство сталкивается со сложной управленческой задачей, которая предъявляет жесткие требования к системам информационного управления для фермерских хозяйств. Предложена архитектура для интеллектуальной системы управления фермой. Промышленный интернет вещей (IIOT) позволяет собирать данные с нескольких ферм. Внедрение предписывающей аналитики значительно повысит эффективность животноводства.

А.А. Баевский, И.Н. Шканов,
Г.И. Белявский, В.Д. Швецов, М.С. Трофимова
СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ И ПОСТАВОК ЗАПЧАСТЕЙ
ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ КОНДИТЕРСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ключевые слова: ТООР, поставки,
планирование, информационные технологии.

Оптимизация управления – важнейшая проблема современного предприятия, в том числе на кондитерской фабрике, то есть в пищевой промышленности. Предлагаемая система позволяет автоматизировать ремонт и поставку запчастей для оборудования, что упростит обслуживание оборудования и уменьшит простой и сбой в производстве.

A.M. Smolev, T.I. Mikheeva, K.A. Molodyko
MODELING AND ANALYSIS OF THE CAPSULE
ANGULAR MOTION BY THE GEOINFORMATION
SYSTEM ITSIGIS

Keywords: tether system,

Runge-Kutta method, nutation angle, tests, ITSIGIS.

This paper reports the results of modeling the motion a tethered capsule performs during the deployment of a space tether system (STS). Modeling is carried out using a specialized software tool solving a Cauchy problem for the system of ordinary differential equations with a fourth-order Runge-Kutta method. The nutation angle of the capsule is investigated by varying the STS parameters. Possibilities for the software tool application in other fields are also described.

A.Y. Unger
FORMAL APPROACH TO THE OPTIMIZATION
PROBLEM WITH INFINITE SOLUTION SPACE

Keywords: context-free grammar, evolutionary algorithm,
fitness function, genetic operator.

The paper considers the application of context-free grammars to evolutionary search algorithms. It is shown how, using a genetic operator and a suitable grammar, one can solve an optimization problem that has an infinite solution space. An expression for estimating the upper bound on the rate of convergence of the (1+1) algorithm in the context of solving the OneMax problem is obtained analytically. The results of modeling the processes of evolution of three equivalent grammars according to the proposed algorithm are obtained. It is shown that the results obtained theoretically are in complete agreement with the experimental results.

H.A. Shamasna, A.V. Semashko
AN ARCHITECTURE OF SMART FARM MULTILAYER
NETWORKED MANAGEMENT SYSTEM

Keywords: industrial Internet of Things IIOT,
monitoring, big data, smart farm management. Internet
of Things IOT, , Artificial intelligence AI.

Modern agriculture faces a complex management task that imposes strict requirements on information management systems for farms. An architecture for an intelligent company management system is proposed. The Industrial Internet of Things (IIOT) allows you to collect data from multiple farms. The introduction of prescriptive analytics will significantly increase the efficiency of animal husbandry.

A.A. Baevsky, I.N. Shkanov,
G.I. Belyavsky, V.D. Shvetsov, M.S. Trofimova
AUTOMATED SYSTEM FOR PLANNING REPAIRS
AND SUPPLIES OF SPARE PARTS OF EQUIPMENT
OF THE CONFECTIONERY INDUSTRY

Keywords: MRO, supplies, planning, software.

Optimization of management is the most important problem of a modern enterprise, including at a confectionery factory, that is, in the food industry. The proposed system makes it possible to automate repairs and deliveries of spare parts for equipment, which will simplify equipment maintenance and reduce downtime and production failures.

К.Г. Горгоц

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО ШИРИНЕ ЗУБЧАТЫХ ВЕНЦОВ В ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ТИПА 2К-Н ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Ключевые слова: водило, планетарная передача, распределение нагрузки по ширине зубчатых венцов, сателлиты, солнечная шестерня, эпициклическая шестерня.

В работе представлены результаты теоретического исследования влияния перекосов зубчатых колёс планетарных передач типа 2К-Н бортовых редукторов транспортно-технологических машин, возникающих под действием радиальной силы со стороны ходовой части, на переменный характер коэффициентов, учитывающих неравномерность распределения нагрузки по ширине зубчатых венцов.

**Г.М. Сабирзянова, Т.В. Сидорова, Р.М. Хисамутдинов
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СБОРКИ АВТОМОБИЛЯ ПУТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

Ключевые слова: виртуальная реальность, визуализация, моделирование, сборка, технологический процесс.

В статье рассматривается актуальность внедрения технологий виртуальной реальности на ранних этапах разработки конструкторской документации изделий автомобиля. Рассмотрены основные аспекты и преимущества применения виртуальной реальности при проектировании сборочных единиц. Выявлены основные этапы процесса моделирования сборочных процессов с применением технологии виртуальной реальности. На основании проведенного в данной работе анализа можно сделать вывод, что внедрение технологий виртуальной реальности в промышленное производство позволяет ускорить выпуск новой продукции, а также повысить качество уже выпускаемых изделий, и при этом снизить объем финансовых издержек и ошибок проектирования.

Т.Н. Титова

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ НЕУРАВНОВЕШЕННОГО ГИРОСКОПА В КАРДАНОВОМ ПОДВЕСЕ

Ключевые слова: гироскоп, карданов подвес, устойчивость, характеристическое уравнение, собственное значение, гамильтонова матрица.

Рассмотрен вопрос об устойчивости движения неуравновешенного гироскопа с гибким валом в кардановом подвесе, состоящим из внутренней и внешней рамок. Оси рамок и ротора в нормальном положении взаимно перпендикулярны и пересекаются в точке, которая является неподвижной точкой подвеса. Трение в подшипниках ротора и рамок отсутствует. Рассматривается система уравнений движения рамок гироскопа и ротора в первом приближении. Рассмотрен случай, когда характеристическое уравнение, соответствующее уравнениям движения в первом приближении, не имеет собственных значений с ненулевой вещественной частью. Получен критерий устойчивости.

М.А. Рыбин, С.А. Шарипов

УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РИСКАМИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Ключевые слова: безопасность, телекоммуникационная сеть, методы обеспечения безопасности, риски, управление.

В статье рассмотрены особенности обеспечения кибербезопасности телекоммуникационных систем. Обоснована необходимость обеспечения как информационной, так и функциональной безопасности систем. Приведены методы повышения информационной безопасности.

K.G. Gorgots

THEORETICAL INVESTIGATION OF THE LOAD DISTRIBUTION ALONG THE WIDTH OF THE GEAR RINGS IN THE PLANETARY GEAR TYPE 2K-N TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINE

Keywords: driver, planetary gear, load distribution over the width of the gear rings, satellites, solar gear, epicyclic gear.

The paper presents the results of a theoretical study of the effect of misalignments of gears of planetary gears of type 2K-N on-board gearboxes of transport and technological machines arising under the action of radial force from the undercarriage on the variable nature of coefficients that take into account the uneven distribution of load along the width of the gear rims.

**G.M. Sabirzyanova, T.B. Sidorova, R.M. Hisamutdinov
IMPROVING THE EFFICIENCY OF AUTOMOBILE ASSEMBLY BY PREDICTIVE ANALYSIS USING VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY**

Keywords: virtual reality, visualization, modeling, assembling, technological process.

This article considers the relevance of the introduction of virtual reality technologies at the early stages of product design. The article presents the main aspects and advantages of using virtual reality in assembly design. The main stages of the process of modeling assembly processes using virtual reality technology are revealed. Based on the analysis, it can be concluded, that the introduction of virtual reality into industry makes it possible to accelerate the release of new products and improve the quality of existing products, at the same time, reduce financial costs and design errors.

T.N. Titova

ON STABILITY OF MOTION OF AN UNBALANCED GYROSCOPE IN GIMBAL SUSPENSION

Keywords: gyroscope, gimbal suspension, stability, characteristic equation, eigenvalue, Hamiltonian matrix

In this paper we consider the stability of motion of an unbalanced gyroscope with a flexible shaft in gimbal suspension. It consists of inner and outer frames. In the normal position the axis of the frames and the rotor are mutually perpendicular and intersect at a point which is a fixed point of suspension. Friction in the bearings of the rotor and the frames is missing. We consider the system of equations of motion of the gyroscope rotor and frames in the first approximation. We consider the case with zero real part of eigenvalues of characteristic equation corresponding to the motion equations in first approximation. We obtain stability criterion.

M.A. Rybin, S.A. Sharipov

INFORMATION RISK MANAGEMENT IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Keywords: security, telecommunications network, security methods, risks.

The features of ensuring the cybersecurity of telecommunication systems are given. The necessity of ensuring both informational and functional security of systems is substantiated. Methods for improving security are considered.

Е.В. Яковлева, В.Е. Медведев,
Е.В. Лагунская, И.С. Драгунцова
ОЦЕНКА ДИНАМИКИ КОЛИЧЕСТВА ОТКАЗОВ
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

*Ключевые слова: математическая модель,
надёжность и безопасность программного обеспечения,
оценка динамики основных показателей модели.*

В статье изучается проблема оценки динамики количества отказов программного обеспечения для двухпараметрической экспоненциальной математической модели надёжности, предложенной авторами. Модель представлена дифференциальным уравнением с двумя параметрами относительно количества обнаруженных и исправленных в программе ошибок (отказов) к моменту оценки надёжности программы. Исследовалась проблема оценки динамики основных характеристик модели. Найдены аналитические зависимости от времени для основных показателей, изучалось поведение модели в зависимости от соотношения её параметров.

E.V. Yakovleva, V.E. Medvedev,
E.V. Lagunskaya, I.S. Draguntsova
EVALUATION OF THE DYNAMICS
OF THE NUMBER OF SOFTWARE FAILURES

*Keywords: mathematical model, reliability
and safety of software, assessment of the dynamics
of the main indicators of the model.*

The article studies the problem of estimating the dynamics of the number of software failures for a two-parameter exponential mathematical model of reliability proposed by the authors. The model is represented by a differential equation with two parameters relative to the number of errors (failures) detected and corrected in the program by the time the reliability of the program is evaluated. The problem of estimating the dynamics of the main characteristics of the model was investigated. Analytical dependences on time for the main indicators were found, the behavior of the model was studied depending on the ratio of its parameters.

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

№2 2023

Направления:

- 1.2.2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**
- 2.3.1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**
- 2.3.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)**
- 2.3.5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**
- 2.3.5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**
- 2.3.6. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

www.ntvprrt.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732
Подписано в печать 27.02.2023 Формат А4. Печать цифровая.
Дата выхода в свет 27.02.2023
10,2 усл.печ.л. 12,6 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 4610.

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»