

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№11 2022

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
2022**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №11 2022г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2022. – 190 с.

ISSN 2079-5920

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

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

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

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № E12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

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

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

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

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Рашин Сайнс, 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

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

<i>А.В. Галеев, П.В. Пичужкин</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ОТРАБОТКЕ ДВИГАТЕЛЕЙ НА КРИОГЕННЫХ КОМПОНЕНТАХ ТОПЛИВА С БОЛЬШОЙ СТЕПЕНЬЮ РАСШИРЕНИЯ СОПЛА	9
<i>Е.В. Гусев</i> РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С УЧЕТОМ ПОСТЕПЕННЫХ И ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗОВ	13
<i>А.А. Дубанов, А.Э. Севээн, В.С. Балагуров, Н.С. Жамцаев</i> МОДЕЛЬ ПРЕСЛЕДОВАНИЯ ОДИНОЧНОЙ ЦЕЛИ МЕТОДОМ ПОГОНИ ГРУППОЙ ОБЪЕКТОВ	16
<i>Ф.М. Кадыров, А.В. Костерин</i> СРАВНЕНИЕ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ КОНСОЛИДАЦИИ НА ОСНОВАНИИ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИПОТЕЗЫ К. ТЕРЦАГИ И УРАВНЕНИЙ СОВМЕСТИМОСТИ ДЕФОРМАЦИЙ	20
<i>Т.Р. Нагорная, К.М. Расулов</i> АЛГОРИТМ ЯВНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПУАНКАРЕ ДЛЯ ОБОБЩЕННЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА В КРУГОВЫХ ОБЛАСТЯХ	24
<i>Н.В. Петров</i> ЧИСЛЕННОЕ ПОСТРОЕНИЕ К-ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА СТРАТЕГИЙ ПОИСКА НА ПЛОСКОСТИ	28
<i>А.В. Христофорова, А.В. Черненко, В.С. Попов</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОУПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ СЭНДВИЧ ДИСКА НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ	32
<i>Р.М. Хусаинов, Д.Д. Сафин, С.М. Петров, Ф.Ф. Насыбуллин, Т.В. Сидорова</i> ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТАНКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ	36

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

<i>В.В. Афанасьев, Р.Р. Раупов</i> ФОРМИРОВАТЕЛИ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМОЙ МНОГОЛЕПЕСТКОВОЙ СИСТЕМЫ SPROTTA С ДИНАМИЧЕСКИМ ХАОСОМ	39
<i>А.С. Бондарчук, В.Г. Зарубский, А.А. Башарин</i> МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ОСОБОЙ ВАЖНОСТИ	42
<i>Т.И. Воронина, С.Ю. Шмигирилов</i> СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ РАСПОРЯДИТЕЛЬНЫХ И ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ДОКУМЕНТОВ	47
<i>А.Г. Жорняк, Т.А. Морозова, В.П. Наумченко</i> РАЗРАБОТКА ВИЗУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА В ПРОГРАММАХ ДЛЯ НАУЧНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ RUTHON. ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ВИЗУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА	51
<i>Н.С. Захаров, В.В. Попцов, Н.О. Сапоженков</i> КОРРЕКТИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ СЕДЕЛЬНЫХ ТЯГАЧЕЙ	55

<i>Н.С. Захаров, В.В. Попцов, Н.О. Сапоженков</i> РАСЧЁТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ ФАКТИЧЕСКИХ ОТКАЗОВ	58
<i>Н.И. Зонов, Д.В. Моисеев</i> ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АСТРОНАВИГАЦИИ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА. ЧАСТЬ I. УВЕЛИЧЕНИЕ ОБЪЁМА ВЫБОРКИ ИЗМЕРЕНИЙ И КОЛИЧЕСТВА ЗВЁЗД – ОРИЕНТИРОВ	62
<i>Н.И. Зонов, Д.В. Моисеев</i> ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АСТРОНАВИГАЦИИ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА. ЧАСТЬ II. ЛУНА – ОРИЕНТИР И КОМБИНИРОВАНИЕ АСТРОИЗМЕРЕНИЙ	69
<i>Р.Е. Копейкин, А.С. Долгавин, М.А. Тимощенко, А.Е. Олейник</i> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ СЕРВЕРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ	76
<i>Р.Е. Копейкин, Е.А. Свистунов, Е.Ю. Русякова</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МАНИПУЛЯТОРАХ С АДАПТИВНЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	81
<i>М.А. Масюк, М.Г. Доррер, Е.М. Гриценко</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ PROCESS MINING И RM4Py	86
<i>В.В. Попцов, Н.О. Сапоженков</i> РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АВТОМОБИЛЕЙ	91
<i>А.М. Самойлов, А.А. Блохин, А.А. Сатаев, В.В. Андреев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ОДНОТРУБНОЙ МОДЕЛИ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ	95
<i>А.А. Сатаев, А.М. Самойлов, А.А. Блохин, В.В. Андреев</i> МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ЗАДАЧЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ	99
<i>А.Ю. Унгер</i> ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛЬНЫХ ГРАММАТИК ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПОИСКА	102

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

<i>Г.А. Алексеев, В.Н. Кудашов, Е.Г. Селина</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННОГО РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА УДАЛЕНИЕМ ПОКРЫТИЙ	105
<i>Д.В. Байков, И.С. Юшков</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБКАТКИ И ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОГАБАРИТНЫХ ТРАКТОРОВ	109
<i>Д.В. Байков, И.С. Юшков</i> ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ЭЛЕКТРОВОЗА	113
<i>Д.А. Башмаков, З.Г. Сайфутдинов, В.И. Ильин, С.К. Савицкий</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ РАБОЧЕГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДКИ АВТОМОБИЛЯ	117
<i>И.А. Ильченко, В.Ф. Пегашкин, Г.А. Осипенкова</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРЕДМЕТ ТРУДА	121
<i>А.Р. Куделько, А.И. Пугачева</i> ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ КОМПОНЕНТОВ ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ	124
<i>И.В. Плохов, О.А. Егоров</i> СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АСУ ТП ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	128

Д.А. Пудов, Д.А. Груздков, А.А. Рачишкин РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ПОТОКА И ФОРМИРОВАНИЯ ПАКЕТОВ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ДАТЧИКОВ МАШИНЫ ТРЕНИЯ	132
А.В. Ретина ВИБРАЦИОННОЕ ГОРЕНИЕ В АКУСТИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ СИСТЕМАХ	136
Л.А. Симонова, Д.Н. Демьянов, А.А. Капитонов ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ	140

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

С.С. Емельянова, Н.Н. Иващенко, Е.А. Киселева ИСПРАВЛЕНИЕ ПРОБЛЕМ В ОС ROCKS CLUSTERS ПРИ ВНЕДРЕНИИ ФС LUSTRE	143
Н.Н. Иващенко, С.С. Емельянова ИССЛЕДОВАНИЕ TERRAFORM КАК СРЕДСТВО ИАС. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННОГО ПО ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОБЛАЧНЫХ ИНФРАСТРУКТУР	146
М.В. Стрихарь УСЛОВИЕ РАВЕНСТВА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СУММ ДИАГОНАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ПИРАМИДЫ ПАСКАЛЯ	150

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

З.Ш. Абдураманов, З.С. Сейдаметова, Г.С. Сейдаметов ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ХАКАТОНА	154
М.В. Александрова, О.К. Головин, А.В. Иващенко, А.В. Кривошеев, П.В. Ситников, О.Л. Сурнин ТЕХНОЛОГИИ ТЕКСТОПОНИМАНИЯ И ТЕКСТОГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ ЮРИДИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	158
Г.А. Гареева, М.Р. Хамидуллин, М.В. Южаков, Р.Р. Нуриев, Р.Ф. Фархутдинов СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОРА ПУТЁМ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ	163
В.Н. Дюпин МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ АССОЦИАТИВНЫЙ СЛОЙ ВИРТУАЛЬНОГО АДАПТАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА	167
Ю.А. Чурсин, Р.А. Нурмухаметов ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ	171

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

И.Б. Елтунова, А.С. Нестеров СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ СЕТЕВЫХ ВТОРЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	175
---	-----

АННОТАЦИИ	179
------------------	-----

THE RELEASE MAINTENANCE**1.2.2. — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES**

<i>A.V. Galeev, P.V. Pichuzhkin</i> MATHEMATICAL MODELING OF OPERATING CONDITIONS DURING ENGINE TESTING ON CRYOGENIC FUEL COMPONENTS WITH A HIGH DEGREE OF NOZZLE EXPANSION	9
<i>E.V. Gusev</i> DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE RELIABILITY OF AIRCRAFT SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT GRADUAL AND SUDDEN FAILURES	13
<i>A.A. Dubanov, A.E. Seveen, V.S. Balagurov, N.S. Zhamtsaev</i> THE MODEL OF PURSUIT OF A SINGLE TARGET BY THE METHOD OF CHASING A GROUP OF OBJECTS	16
<i>F.M. Kadyrov, A.V. Kosterin</i> COMPARISON OF THE SOLUTIONS OF THE PROBLEM OF CONSOLIDATION BASED ON MODELS USING THE HYPOTHESIS OF K. TERZAGHI AND THE EQUATIONS OF COMPATIBILITY OF DEFORMATIONS	20
<i>T.R. Nagornaya, K.M. Rasulov</i> A SOLUTION ALGORITHM OF THE POINCARÉ BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR THE SECOND-ORDER GENERALIZED HARMONIC FUNCTIONS IN CIRCULAR DOMAINS	24
<i>N.V. Petrov</i> NUMERICAL CONSTRUCTION OF K-COVERAGE FOR ONE CLASS STRATEGIES ON THE PLANE	28
<i>A.V. Christoforova, A.V. Chernenko, V.S. Popov</i> MATHEMATICAL MODELING OF HYDROELASTIC OSCILLATIONS OF A SANDWICH DISK RESTING AN ELASTIC FOUNDATION	32
<i>R.M. Khusainov, D.D. Safin, S.M. Petrov, F.F. Nasybullin, T.V. Sidorova</i> IDENTIFICATION AND APPLICATION OF THE DIGITAL MODEL OF THE DYNAMIC SYSTEM OF THE MACHINE TOOL TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE MACHINING PROCESS	36

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

<i>V.V. Afanasiev, R.R. Raupov</i> GENERATORS OF PSEUDO-RANDOM SIGNALS ON THE BASIS OF CONTROLLED MULTI-SCROLL SPOTTA SYSTEM WITH DYNAMIC CHAOS	39
<i>A.S. Bondarchuk, V.G. Zarubskiy, A.A. Basharin</i> METHODOLOGY FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING OF THE SECURITY SYSTEM OF OBJECTS OF SPECIAL IMPORTANCE	42
<i>T.I. Voronina, S.Y. Shmigirilov</i> SYSTEMATIZATION AND VISUALIZATION OF DATA OF ADMINISTRATIVE AND ORGANIZATIONAL DOCUMENTS	47
<i>A.G. Zhornyak, T.A. Morozova, V.P. Naumchenko</i> DEVELOPMENT OF A VISUAL USER INTERFACE IN PROGRAMS FOR SCIENTIFIC AND ENGINEERING COMPUTING IN THE PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE. PART I. FUNDAMENTALS OF VISUAL USER INTERFACE DEVELOPMENT	51
<i>N.S. Zakharov, V.V. Poptsov, N.O. Sapozhenkov</i> SERVICE FREQUENCY CORRECTION OF heavy trucks BRAKING SYSTEM	55
<i>N.S. Zakharov, V.V. Poptsov, N.O. Sapozhenkov</i> COMPUTATIONAL STUDY OF VEHICLES RELIABILITY BASED ON ACTUAL FAILURES	58
<i>N.I. Zonov, D.V. Moiseev</i> INCREASING OF GEOSTATIONARY SATELLITES ASTRONAVIGATION ACCURACY. PART I. INCREASE IN THE SAMPLE SIZE OF MEASUREMENTS AND THE NUMBER OF LANDMARK STARS	62

<i>N.I. Zonov, D.V. Moiseev</i> INCREASING OF GEOSTATIONARY SATELLITES ASTRONAVIGATION ACCURACY. PART II. MOON AS A LANDMARK AND ASTROMEASUREMENTS COMBINING	69
<i>R.E. Kopeykin, A.S. Dolgavin, M.A. Timoshchenko, A.E. Oleynik</i> THE APPLICATION OF QUEUING THEORY TO THE LOAD BALANCING PROBLEM OF DATA STORAGE AND PROCESSING SERVERS	76
<i>R.E. Kopeykin, E.A. Svistunov, E.Yu. Ruslyakova</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF IMAGE SEGMENTATION METHODS FOR USE IN MANIPULATORS WITH ADAPTIVE SOFTWARE CONTROL	81
<i>M.A. Masyuk, M.G. Dorrer, E.M. Gritsenko</i> DESIGN OF A TOOL FOR INTELLIGENT ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF AN EDUCATIONAL ORGANIZATION BASED ON PM4PY	86
<i>V.V. Poptsov, N.O. Sapozhenkov</i> DEVELOPMENT OF COMPLEX INDICATORS FOR ASSESSING THE COST OF CARS LIFE CYCLE	91
<i>A.M. Samoylov, A.A. Blokhin, A.A. Sataev, V.V. Andreev</i> INVESTIGATION OF HYDRODYNAMIC INSTABILITY IN A SINGLE-TUBE MODEL WITH NATURAL COOLANT CIRCULATION	95
<i>A.A. Sataev, A.M. Samoylov, A.A. Blokhin, V.V. Andreev</i> METHODOLOGY OF THE SYSTEM APPROACH TO THE PROBLEM OF STUDYING THERMAL HYDRAULIC PROCESSES UNDER THE IMPACT OF EXTERNAL DYNAMIC FORCES	99
<i>A.Y. Unger</i> APPLICATION OF FORMAL GRAMMAR FOR SOLVING PROBLEMS OF EVOLUTIONARY SEARCH	102

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

<i>G.A. Alekseev, V.N. Kudashov, E.G. Selina</i> ENSURING THE QUALITY OF THE AUTOMATED PROCESS OF FORMING A PRECISION REGULAR MICRORELIEF BY REMOVING COATINGS	105
<i>D.V. Baykov, I.S. Yushkov</i> AUTOMATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF RUN-IN AND TESTING OF ENGINES OF SMALL-SCALE TRACTORS	109
<i>D.V. Baykov, I.S. Yushkov</i> SIMULATION OF EMERGENCY MODES OF OPERATION OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF ELECTRIC DRIVE OF ELECTRIC LOCOMOTIVE	113
<i>D.A. Bashmakov, Z.G. Sayfutdinov, V.I. Ilyin, S.K. Savitsky</i> IMPROVING THE EFFICIENCY OF MONITORING THE WORKING CONDITION CAR ELECTRICAL WIRING	117
<i>I.A. Ilchenko, V.F. Pegashkin, G.A. Osipenkova</i> METHODOLOGY FOR DETERMINING THE TECHNOLOGICAL PROFILE OF PRODUCTION BASED ON THE CLASSIFICATION OF TECHNOLOGIES ACCORDING TO THE RESULTS OF THE IMPACT ON THE SUBJECT OF LABOR	121
<i>A.R. Kudelko, A.I. Pugacheva</i> THE TECHNOLOGY OF FORMING THE STRUCTURE OF THE COMPONENTS OF THE ENTERPRISE INNOVATION SYSTEM	124
<i>I.V. Plokhov, O.A. Egorov</i> CREATION OF THE EXPERT SYSTEM FOR THE ANALYSIS OF THE FUNCTIONING OF THE APCS OF A THERMAL POWER PLANT	128
<i>D.A. Pudov, D.A. Gruzdkov, A.A. Rachishkin</i> DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR PROCESSING THE FLOW AND FORMATION OF DATA PACKETS RECEIVED FROM THE SENSORS OF THE FRICTION MACHINE.	132
<i>A.V. Repina</i> VIBRATIONAL GORENJE IN ACOUSTICALLY COUPLED SYSTEMS	136
<i>L.A. Simonova, D.N. Demyanov, A.A. Kapitonov</i> ESTIMATION OF THE CYLINDER-PISTON GROUP RESIDUAL LIFE OF A DIESEL ENGINE BASED ON FUZZY LOGIC	140

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

<i>S.S. Emelyanova, N.N. Ivaschenko, E.A. Kiseleva</i> FIXING PROBLEMS IN ROCKS CLUSTERS OS WHEN INTRODUCING FS LUSTRE	143
<i>N.N. Ivaschenko, S.S. Emelyanova</i> TERRAFORM STUDY AS A MEANS OF IAC. USE OF THIS SOFTWARE TO CREATE CLOUD INFRASTRUCTURES	146
<i>M.V. Strikhar</i> EQUALITY CONDITION FOR THE SEQUENCE OF PASCAL'S PYRAMID DIAGONAL SECTIONS SUMS	150

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

<i>Z.S. Abduramanov, Z.S. Seidametova, G.S. Seydametov</i> TOOLS FOR ORGANIZING AND CONDUCTING A TECHNOLOGICAL HACKATON	154
<i>M.V. Aleksandrova, O.K. Golovnin, A.V. Ivaschenko, A.V. Krivosheev, P.V. Sitnikov, O.L. Surnin</i> TECHNOLOGIES OF TEXT UNDERSTANDING AND TEXT GENERATION FOR LEGAL TECH	158
<i>G.A. Gareeva, M.R. Khamidullin, M.V. Yuzhakov, R.R. Nuriev, R.F. Farkhutdinov</i> REDUCING GPU POWER CONSUMPTION BY VOLTAGE REGULATION	163
<i>V.N. Dyupin</i> MODEL OF VIRTUAL ADAPTATION SPACE	167
<i>Y.A. Chursin, R.A. Nurmukhametov</i> IMPROVING THE ACCURACY OF CREATING DIGITAL MODELS OF OBJECTS	171

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

<i>I.B. Eltunova, A.S. Nesterov</i> INTRUSION DETECTION SYSTEM BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS	175
--	-----

ABSTRACTS	179
------------------	-----

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

1.2.2.

А.В. Галеев канд. техн. наук, П.В. Пичужкин

Московский авиационный институт (научно-исследовательский университет),
ppb81@mail.ru, galant1992@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ОТРАБОТКЕ ДВИГАТЕЛЕЙ НА КРИОГЕННЫХ КОМПОНЕНТАХ ТОПЛИВА С БОЛЬШОЙ СТЕПЕНЬЮ РАСШИРЕНИЯ СОПЛА

В представленной статье рассмотрена система моделирования полета, на основе которой произведен высокоточный расчет для модельных и натурных испытаний. По результатам исследования была определена подтвержденная методика расчёта истечения продуктов сгорания с использованием газодинамических функций.

Ключевые слова: газодинамический тракт, сопло, давление, продукты сгорания, диффузор, моделирование полета.

В случае стендовой отработки двигателей, имеющих большую степень расширения сопла (f_a), используется система имитации высотных условий, представленная на рис. 1 и включающая в себя барокамеру 6 с газодинамическим трактом 2 - (а), - и барокамеру 6, газодинамический тракт 2, смеситель-конденсатор 7 и парожжекторную установку (ПЭУ) 5 - (б) [3, 4].

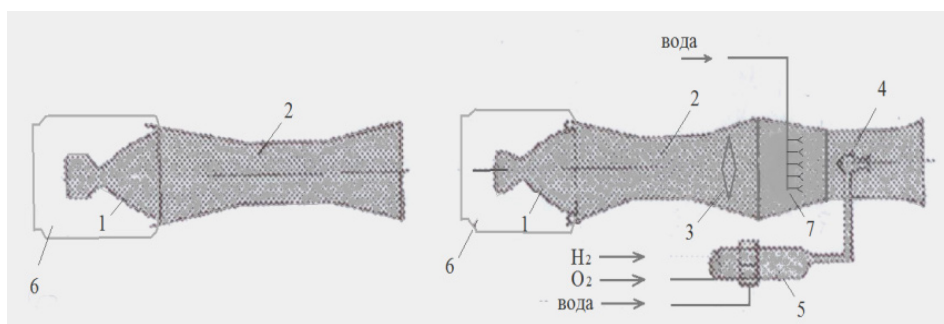


Рис. 1 – Системы моделирования полёта:

с камерой высокого давления и газодинамическим трактом (а);

с камерой высокого давления, газодинамическим трактом, конденсаторным смесителем и блоком эжекции пара (б); 1 – испытательный двигатель; 2 – диффузор; 3 – откидной клапан; 4 – эжекторный блок; 5 – парогенератор; 6 – вакуумная камера; 7 – смеситель-конденсатор

Для отработки двигателей с соплами данных диаметров необходимо использовать систему имитации лётных условий (рис. 1).

Момент, соответствующий началу работы газодинамического тракта при $p_{кзан}$, можно рассчитать, воспользовавшись уравнением неразрывности потока газа в тракте:

$$\dot{m}_\Gamma = m_i \frac{p_i^* q(\lambda_i) F_i}{\sqrt{T_i^*}} = m_6 \frac{p_6^* q(\lambda_6) F_6}{\sqrt{T_6^*}}, \quad (1)$$

где p_i^*, T_i^* – давление и температура газового потока в сечении, v – скорость газового потока, F_i – площадь i -го сечения ГДТ, λ_i, λ_i^l – приведённая скорость до и после прямого скачка уплотнения, $\dot{m}_\Gamma$ – расход массы газа, m_i – коэффициент свойств продуктов сгорания,

$a_{кр}$ – скорость газового потока в критическом сечении сопла, $q(\lambda_i)$ – газодинамическая функция, $\lambda = v / a_{кр}$ – приведённая скорость.

Изменение числа Маха потока в тракте показано на рис. 2. Цифрами показаны сечения тракта.

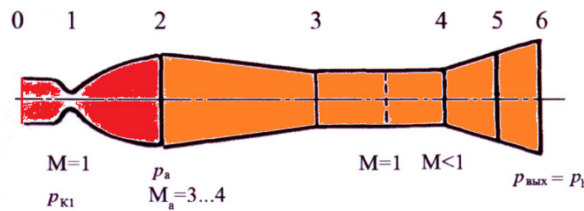


Рис. 2 – Газодинамический тракт с указанием изменения чисел Маха

На основе уравнения расхода газа в рассматриваемом участке тракта (1) с применением $q(\lambda_i)$ [1, 2] был составлен программный комплекс с моделированием истечения продуктов сгорания. Величины $q(\lambda)$ и m могут быть найдены в результате использования следующих выражений:

$$q(\lambda) = \left(\frac{n+1}{2} \right)^{\frac{1}{n-1}} \cdot \left(1 - \frac{n-1}{n+1} \lambda^2 \right)^{\frac{1}{n-1}};$$

$$m = \sqrt{n \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{n+1}{n-1}} \cdot \frac{1}{R}},$$

где g – ускорение свободного падения; R – газовая постоянная; n – показатель политропы.

Для идеального газа принимаем следующие равенства $p_6^* = p_i$; $T_6^* = T_i$; $m_6 = m_i$. Уравнение (1) примет вид:

$$q(\lambda_6) F_6 = q(\lambda_i) F_i. \quad (2)$$

Постоянное давление в сечении i :

$$p_i = p_6^* \cdot \pi(\lambda_i), \quad (3)$$

$$\pi(\lambda) = \left(1 - \frac{n-1}{n+1} \lambda^2 \right)^{\frac{n}{n-1}}$$

где

Расчёт потери давления в ГДТ производится по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{p_h}{p_0^*},$$

$$\sigma = \frac{p_h}{p_6^*} \frac{p_6^*}{p_0^*} = \sigma_{\text{вых}} \cdot \sigma_{\text{ПС}}, \quad (4)$$

где $\sigma_{\text{вых}}$ – потери давления на выходе из ГДТ, p_h – давление внешней среды, p_0^* – давление газового потока в камере, $\sigma_{\text{ПС}}$ – потери давления при прямом скачке уплотнения.

Таким образом, давление запуска можно рассчитать с помощью уравнения:

$$\left(p_0^* \right)_{\text{ЗАП}} = \frac{p_h}{\sigma_{\text{ЗАП}} \cdot \sigma_{\text{ВЫХ}}} \quad (5)$$

где $\sigma_{\text{ЗАП}} = \sigma_{\text{ПС}} \cdot \bar{\sigma}$; $\bar{\sigma}$ – коэффициент потери давления на моменте запуска.

С момента начала запуска газодинамический тракт может функционировать при меньших давлениях и при безотрывном течении газового потока.

Давление срыва работы тракта, определится выражением:

$$(p_0^*)_{\text{ср}} = \frac{P_h}{\beta_1 \cdot \sigma_{\text{П.С}} \cdot \sigma_{\text{ВблХ}}} \quad (6)$$

где β_1 - коэффициент, полученный экспериментальным путём. $\beta_1 = 1,1 \dots 1,158$.

После определения давления запуска ГДТ, можно определить его геометрические размеры. При этом значение, соответствующее расходу газа при запуске, будет вычисляться по формуле:

$$(\dot{m}_\Gamma)_{\text{зап}} = m_0 \frac{(p_0^*)_{\text{зап}} \cdot F_{\text{кр}}}{\sqrt{T_0^*}} \quad (7)$$

А полное давление на конце ГДТ:

$$p_6^* = p_a \cdot \sigma_{\text{ВблХ}}$$

Из выражения (1) будет найдена площадь ГДТ в конце расширяющейся части:

$$F_6 = \frac{(\dot{m}_\Gamma)_{\text{зап}} \sqrt{T_6^*}}{m_6 \cdot p_6} \quad (8)$$

В процессе проводимых в ЦИАМ исследований - для математического моделирования модельных и натурных испытаний - было подтверждено, что приведённый метод расчёта [3] является правильным и позволяет произвести вычисления с высокой точностью.

Модельный тракт «камера-диффузор» масштабом М 1:10, представленный на рис. 3. Натурный тракт диффузора с диаметром 660 мм, представленный на рис. 4.

Для диффузора, имеющего диаметр цилиндрической части 1040 мм, были получены следующие значения: расход пара - 130 кг/с, давление на входе в эжектор - 39 бар, температура - 700 - 800 К.

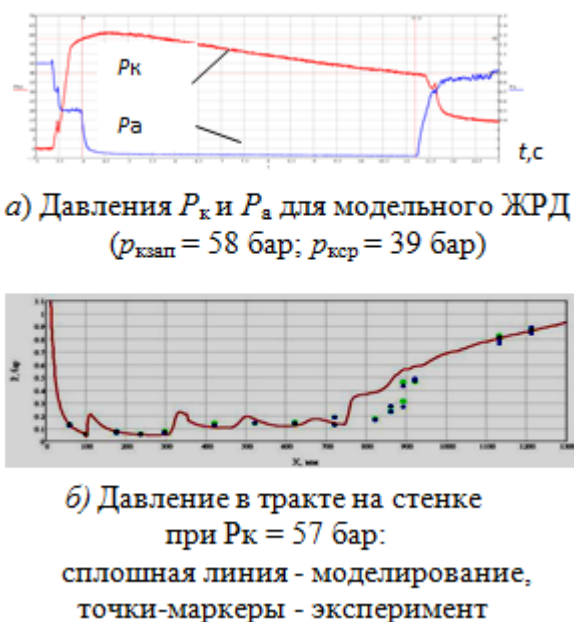


Рис. 3 – Течение продуктов сгорания для модельного тракта в М 1:10

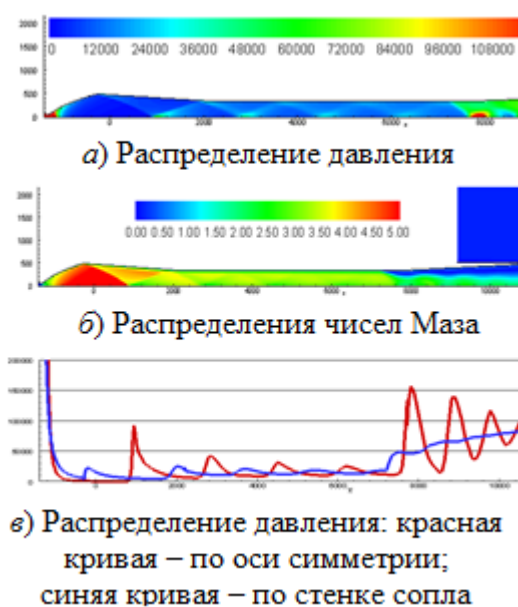


Рис. 4 – Течение продуктов сгорания для натурного тракта с горловиной 660 мм

В табл. 1 приведены результаты, полученные в ходе проведения расчётов, нацеленных на сравнение натурного и модельного трактов «сопло-диффузор».

Таблица 1 – Результаты расчётов давлений запуска и срыва тракта для натурального диффузора (горло диаметром 660 мм) и модельного диффузора (М 1:1).

№	Диффузор	$P_{\text{кзп}}, \text{бар}$			$P_{\text{ксп}}, \text{бар}$		
		Метод газодинамических функций	Метод ЦИАМ	$\Delta p, \%$	Метод газодинамических функций	Метод ЦИАМ	$\Delta p, \%$
1	Натурный диффузор (горло Ду=660мм)	53	57	7,4	38	40	5
2	Модельный диффузор (М 1:10)	54	58	7,5	38	40	5

Таким образом, по результатам расчётных исследований можно сделать вывод, что сравнительный анализ систем имитации высотных условий для испытаний ЖРД типа РД0146Д на стенде позволил определить проверенную и подтверждённую методику расчёта истечения данных продуктов сгорания с использованием газодинамических функций.

Список литературы

1. *Валюхов С.Г.* Высокооборотные лопастные оседиагональные насосы / С.Г. Валюхов, Ю.В. Демьяненко, В.И. Петров – Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета. 1996. – 264 с.
2. *Галеев А.В.* Разработка технологии испытаний криогенных ракетных двигателей с имитацией воздействующих факторов.: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.05 / Галеев Антон Валерьевич. – М., 2018. – 126с. – Библиогр.: с. 49-52.
3. *Горохов В.Д.* Разработка КБХА жидкостных ракетных двигателей и установок в период 2001 – 2011 гг. / В.Д. Горохов [и др.] // Космонавтика. 2012. № 1-2. С. 8 -23.

1.2.2.

Е.В. Гусев

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
Кафедра 610 «Управление эксплуатацией ракетно-космических систем»,
Москва, csg-gus@mail.ru

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С УЧЕТОМ ПОСТЕПЕННЫХ И ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗОВ

В работе рассмотрен вопрос, связанный с разработкой математической модели оценки надёжности восстанавливаемой аппаратуры и систем летательных аппаратов с учетом постепенных и внезапных отказов. Рассмотрена возможность решения поставленной задачи аналитическим методом оценки надёжности восстанавливаемой аппаратуры летательного аппарата.

Ключевые слова: *постепенные отказы, внезапные отказы, распределение времени восстановления, время восстановления, коэффициент готовности, работоспособное состояние, сложная техническая систем, техническое обслуживание.*

Задачей данной работы является разработка методики количественной оценки надёжности аппаратуры при произвольных законах распределения времени безотказной работы заменяемых элементов.

Рассмотрим функционирование аппаратуры, состоящей из N восстанавливаемых элементов. Моменты отказов элементов аппаратуры образуют случайный поток восстановлений (замен).

Обычно при оценке надёжности аппаратуры предполагается, что число восстановлений в течение рассматриваемого промежутка времени следует закону Пуассона. При этом вероятность $P_k(\tau, t)$ того, что в интервале времени от момента t до момента $t + \tau$ произойдёт ровно k восстановлений, равна

$$P_k(\tau, t) = \frac{1}{k!} (\varphi\tau)^k \exp(-\varphi\tau), \quad (1)$$

где $\varphi\tau = \Lambda_{cp}$ — среднее число восстановлений за время τ .

Предположение о справедливости использования распределения Пуассона к потоку восстановлений выполняется если: 1) распределение времени безотказной работы элементов подчиняется экспоненциальному закону; 2) законы распределения времени безотказной работы элементов произвольные, но число элементов в аппаратуре достаточно велико.

Так же законы распределения времени безотказной работы элементов могут сильно отличаться от экспоненциальных в следующих случаях: 1) у элементов, выходящих из строя из-за постепенного изнашивания или старения (элементы с постепенными отказами), плотность вероятности безотказной работы которых обычно имеет максимум при некотором t ; 2) у сложных элементов, состоящих из группы резервированных элементов, при условии, что их отказ (и последующая замена) наступает тогда, когда вышли из строя $m+1$ элементов. Следовательно, в подобных случаях нельзя использовать распределение Пуассона для нахождения числа восстановлений на заданном промежутке времени работы аппаратуры и оценки ее надёжности. Рассмотрим возможность решения этой задачи аналитическим методом.

Для анализа функционирования восстанавливаемой аппаратуры введём следующие характеристики: 1) интенсивность потока восстановлений (замен) $\Lambda(t)$ в момент t и среднее число восстановлений $n(\tau, t)$ на заданном промежутке времени τ ; 2) вероятность отсутствия отказов $P_0(\tau, t)$ в течение заданного промежутка времени $(t, t + \tau)$ длиной τ , который находится на «расстоянии» t от начала работы; 3) вероятность того, что на заданном интервале времени τ произойдет ровно k восстановлений $P_k(\tau, t)$.

Рассмотрим элементарный поток восстановлений, т. е. поток, связанный с работой отдельного восстанавливаемого элемента аппаратуры. Характеристики, относящиеся к этому потоку, будем обозначать индексом 1.

Воспользовавшись результатами работы [1], приведём выражения для оценки вероятности $P_{k,1}(\tau, t)$:

$$P_{0,1}(\tau, t) = 1 - \int_0^\tau \Lambda_1(t_0 + \tau - x) \varphi_0(x) dx; \quad k = 0; \quad (2)$$

$$P_{k,1}(\tau, t) = \int_0^\tau \Lambda_1(t_0 + \tau - x) [\varphi_{k-1}(x) - \varphi_k(x)] dx, \quad k \geq 1; \quad (3)$$

где функции $\varphi_k(\tau)$ ($k=0, 1, 2, \dots$) представляют собой вероятности получения ровно k восстановлений в промежутке времени τ при условии, что в начале этого промежутка элемент был новым. Поэтому $\varphi_0(\tau) = P(\tau)$, а остальные $\varphi_k(\tau)$ для $k \geq 1$ определяются следующими рекуррентными соотношениями:

$$\begin{cases} \varphi_{k,1}(\tau) = \int_0^\tau \varphi_{k-1}(\tau - x) f(x) dx, \\ f(x) = -\varphi'_0(x) = -P'(\tau). \end{cases} \quad (4)$$

Интенсивность восстановления $\Lambda_1(\tau)$ находится путём решения следующего интегрального уравнения:

$$\Lambda_1(\tau) = \int_0^\tau \Lambda_1(x) f(\tau - x) dx + f(\tau). \quad (5)$$

Для аппаратуры, состоящей из N восстанавливаемых элементов, работающих независимо, вероятности $P_{k,N}(\tau, t)$ рассчитываются путём последовательного определения соответствующих вероятностей для потоков восстановлений одного, двух и т. д. элементов, пока не будут рассмотрены все N элементов. Для потока восстановлений двух одинаковых элементов находим:

$$\begin{cases} P_{0,2} = P_{0,1} \times P_{0,1}, \\ P_{1,2} = P_{1,1} \times P_{0,1} + P_{0,1} \times P_{1,1}, \dots \\ P_{k,2} = P_{k,1} \times P_{0,1} + P_{k-1,1} \times P_{1,1} + \dots + P_{0,1} \times P_{k,1}. \end{cases} \quad (6)$$

Присоединяя третий элемент и считая $P_{k,2}$ ($k=0, 1, 2, \dots$) известными, определяем $P_{k,2}$ и т. д. Наконец, определим $P_{k,N}$:

$$\begin{cases} P_{0,N} = P_{0,N-1} \times P_{0,1}, \\ P_{1,N} = P_{1,N-1} \times P_{0,1} + P_{0,N-1} \times P_{1,1}, \dots \\ P_{k,N} = P_{k,N-1} \times P_{0,1} + P_{k-1,N-1} \times P_{1,1} + \dots + P_{0,N-1} \times P_{k,1}. \end{cases} \quad (7)$$

Формулы (7) можно использовать и для аппаратуры, состоящей из разных элементов, если предварительно делать различие между элементарными потоками восстановлений разных элементов. Таким образом, чтобы найти искомые характеристики надёжности аппаратуры с учётом эффекта восстановлений (замен) отказавших элементов, необходимо выполнить следующие расчёты: 1) определить интенсивности элементарных потоков восстановлений и вероятности $P_{k,1}$ путём последовательного решения уравнений (2) — (4); 2) определить вероятности $P_{k,N}$ для суммарного потока восстановлений путём последовательного добавления к $P_{k,1}$ элементарных потоков.

Основным недостатком рассмотренного метода, а также ряда приближенных методов оценки [1] является громоздкость, которая затрудняет их применение. В качестве примера приведём ряд формул, позволяющих оценивать основные характеристики надёжности восстанавливаемой аппаратуры для некоторых конкретных законов распределения времени безотказной работы элемента.

Воспользовавшись формулой (5), а также результатами работ [1, 2], определим интенсивность восстановлений отказавших элементов для случаев: 1) нормального распределения времени безотказной работы одного восстанавливаемого элемента

$$\Lambda_1(t) \sim \frac{\exp\left[-\frac{(t-T_{cp})^2}{2\sigma^2}\right]}{\sqrt{2\pi}\sigma\left[0,5 - \Phi\left(\frac{t-T_{cp}}{\sigma}\right)\right]}, \quad (8)$$

$$\overline{\Lambda_1} = \Lambda_1(t)|_{t \rightarrow \infty} = \frac{2\sqrt{2\pi}[0,5 + \Phi(\frac{T_{cp}}{\sigma})]}{2\sqrt{2\pi}T_{cp}[0,5 + \Phi(\frac{T_{cp}}{\sigma})] + \sigma \exp(-\frac{T_{cp}^2}{2\sigma^2})}, \quad (9)$$

2) экспоненциального распределения времени безотказной работы каждого из двух элементов (один основной, другой резервный), представляющих собой сложный восстанавливаемый элемент:

$$\Lambda_1(t) = \frac{2}{3}\lambda(1 - e^{-3\lambda t}) \text{ и } \overline{\Lambda_1} = \Lambda_1(t)|_{t \rightarrow \infty} = \frac{2}{3}\lambda \quad (10) \text{ для нагруженного резерва,}$$

$$\Lambda_1(t) = \frac{\lambda}{2}(1 - e^{-2\lambda t}) \text{ и } \overline{\Lambda_1} = \Lambda_1(t)|_{t \rightarrow \infty} = \frac{\lambda}{2} \quad (11) \text{ для ненагруженного резерва,}$$

где λ — интенсивность отказов одного элемента.

Зная интенсивность восстановления элементов каждого типа и их число в аппаратуре, можно получить оценку для коэффициента характера отказов аппаратуры $A(t)$ или A

$$A(t) = \frac{n_{\pi}(\tau, t)}{n_{\pi}(\tau, t) + n_{\text{в}}(\tau, t)} = \frac{\Lambda_{\pi}(t)}{\Lambda_{\pi}(t) + \Lambda_{\text{в}}(t)}, \quad (12)$$

где $\Lambda_{\pi}(t) = N_{\pi}\Lambda_{\pi 1}(t)$ — интенсивность восстановления элементов, отказы которых носят постепенный характер; $\Lambda_{\text{в}}(t) = N_{\text{в}}\Lambda_{\text{в} 1}(t)$ — интенсивность восстановления элементов, отказы которых носят внезапный характер. Здесь $N_{\pi}, N_{\text{в}}$ — число элементов. Аналогично вычисляется $A = \frac{\overline{\Lambda_{\pi}}}{\overline{\Lambda_{\pi}} + \overline{\Lambda_{\text{в}}}}$, где $\overline{\Lambda_{\pi}} = \Lambda_{\pi}(t)|_{t \rightarrow \infty}$, $\overline{\Lambda_{\text{в}}} = \Lambda_{\text{в}}(t)|_{t \rightarrow \infty}$.

Заключение. В статье рассмотрен аналитический метод оценки надежности систем летательных аппаратов с восстановлением. Практически при оценке надёжности аппаратуры аналитическими методами учесть эффект восстановлений (замен) отказавших элементов удаётся без больших погрешностей только при условии, что поток восстановлений достаточно близок к пуассоновскому потоку. Выполнение этого условия существенно зависит от соотношения между количеством элементов в системе (N) и средним числом восстановлений (n) на выбранном промежутке времени. Поток замен можно считать пуассоновским [6] при условии $N/n > 10$. Если это условие не выполняется, то наиболее приемлемым методом оценки надёжности является метод статистического моделирования с применением ЭВМ, который позволяет оценить надёжность аппаратуры не только в установившемся, но и в переходном режиме работы [7].

Список литературы

1. Емелин Н.М. Оработка систем технического обслуживания летательных аппаратов. Москва: Машиностроение, 1995, 128 с.
2. Гусев Е.В. «Математическая модель надежности восстанавливаемых агрегатов и систем летательных аппаратов» Научно-технический вестник Поволжья №6, 2022. с. 20-23.
3. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2006, 702 с.
4. Сугак Е.В., Василенко Н.В. Надежность технических систем. Красноярск: МГП Раско, 2001, 42 с.
5. Никушкин Н.В., Кацура А.В. Решение задачи моделирования систем технического обслуживания летательных аппаратов // Вестник СибГАУ, №. 4(11), 2006. с. 46-49
6. Гусев Е.В., Родченко В.В. Разработка модели выявления неисправностей в процессе проведения технического обслуживания систем летательных аппаратов // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021. Т. 22, № 4. С. 638–648. Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-4-638-648
7. Золотов А.А., Родченко В.В., Гусев Е.В. «Прогнозирование показателей технического обслуживания сложных технических систем в процессе хранения» // Полет, Vol. 8, август 2021. с. 37-44.

1.2.2.

А.А. Дубанов канд. техн. наук, А.Э. Севээн, В.С. Балагуров, Н.С. Жамцаев

Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова,
Улан-Удэ, aikys.seveen@mail.ru

МОДЕЛЬ ПРЕСЛЕДОВАНИЯ ОДИНОЧНОЙ ЦЕЛИ МЕТОДОМ ПОГОНИ ГРУППОЙ ОБЪЕКТОВ

В данной статье рассматривается описание модели преследования одиночной цели методом погони группой объектов. Целью данной статьи является настигнуть преследователя методом параллельного сближения одиночной цели. Для каждого преследующего объекта сформирована область обнаружения, где она образуется двумя лучами. В случае, если цель оказывается в области обнаружения, то в этом случае объект начинает преследовать методом погони. А если цель вышел из области обнаружения, то объект совершает равномерное и прямолинейное движение. Основная задача заключается в реализации динамической модели множественного группового преследования, где каждый объект реализуют свои задачи методом погони. Модель разработана с использованием систем компьютерной математики.

Ключевые слова: *цель, преследователь, метод погони, моделирование, область обнаружения, траектория.*

В данной статье производится описание моделирования группового преследования. Ранее, в работах Р. Айзекса [1], Л. О. Петросяна [2], Н.Н. Красовского [3] приводилось описание методов параллельного сближения и погони, вводилось понятие терминального множества.

В модели статьи преследующие объекты сходят перпендикулярно с траектории преследователя. Угол схода в модели выбран для примера. Угол схода может быть любым. Сходы с траектории в модели выбраны последовательные и через равные промежутки времени.

Рассмотрим движение преследователя по определенной траектории на плоскости:

$P(t) = \begin{bmatrix} X_p(t) \\ Y_p(t) \end{bmatrix}$. В момент времени t_n с траектории преследователя срывается объект в направлении: $N(t_n) = \begin{bmatrix} -\frac{dy_p}{dt}(t = t_n) \\ \frac{dx_p}{dt}(t = t_n) \end{bmatrix}$.

На Рис. 1 показано, что траектории преследователя отрываются перпендикулярно пять объектов, которые после отрыва будут двигаться равномерно и прямолинейно со скоростью равной по модулю V_G .

Моделирование производится на участке плоскости $[-60: 130] \times [0: 190]$. Преследователь движется с постоянной скоростью $V_p = 20$ М/с. Объекты, которые срываются перпендикулярно с его траектории, скорость $V_G = 40$ М/с.

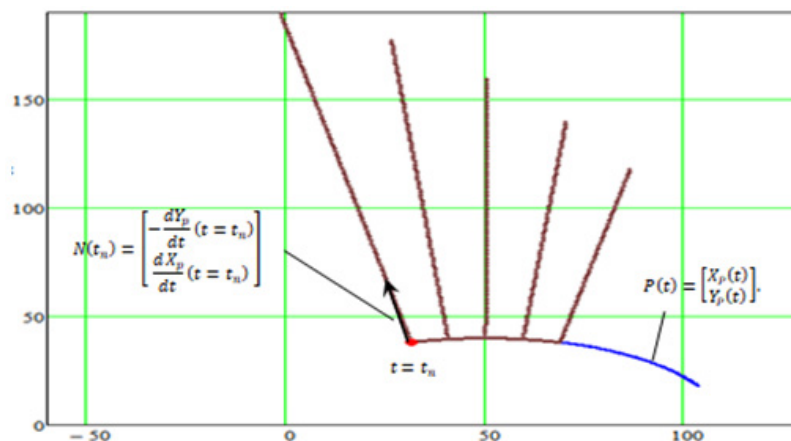


Рис. 1 – Моделирование движения объектов, сходящих перпендикулярно с траектории преследователя

Задача, которую мы поставили в данной статье, состоит в том, чтобы произвести моделирование траекторий объектов $G_i(t)$, преследующих цель $T(t)$, используя метод погони.

Рассмотрим функцию движения догоняющих объектов G_n (Рис.1), когда они до наступления момента времени t_n движутся по траектории преследователя $P(t)$.

Если в момент времени t_n направление изменяется на направление $N(t_n)$, то координаты объекта G_n определяются следующим образом:

$$G_n(t) = \begin{cases} \text{если } t < t_n, & \text{то } G_n(t) = P(t) \\ \text{если } t \geq t_n, & \text{то } G_n(t) = P(t_n) + V_G \cdot (t - t_n) \cdot \frac{N(t_n)}{|N(t_n)|} \end{cases}$$

По результатам моделирования процесса группового преследования объекта методом погони была написана программа в системе компьютерной математики, результаты работы которой показаны на Рис. 2.

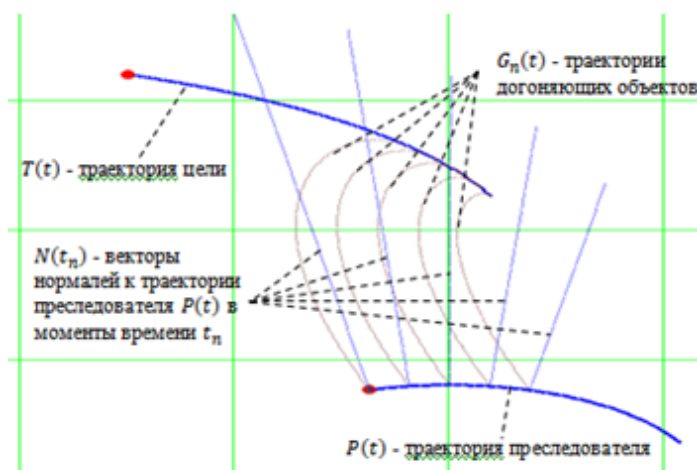


Рис. 2 – Процесс преследования цели группой объектов методом погони

По результатам исследований, изложенных в данной статье, произведено моделирование в прямоугольной области $[-60; 130] \times [0; 190]$, измерение в метрах.

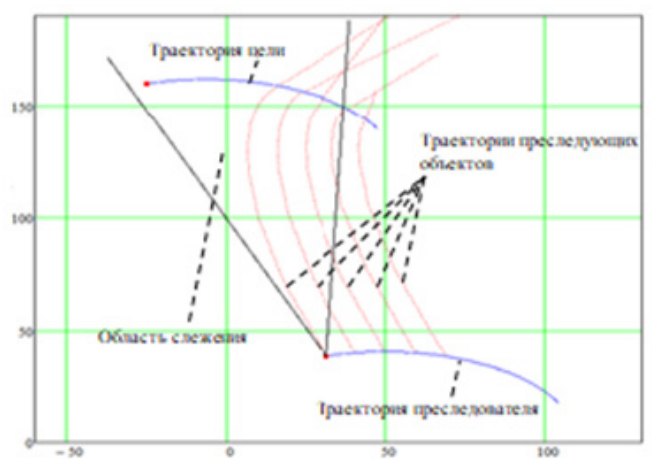


Рис. 3 – Модель группового преследования

На рис. 3 представлены результаты моделирования. Скорость преследователя – 20 м/с, скорость цели – 20 м/с, скорость преследуемых объектов – 60 м/с, радиус кривизны траектории преследователя не должен быть меньше 50 м, цель совершает преследование по методу параллельного сближения, радиус кривизны траекторий преследуемых объектов не должен быть меньше 10 м. Преследуемые объекты сходят перпендикулярно с траектории преследователя через равные промежутки в 0.02 с.

В моделировании, представленном в данной статье, все объекты, выпущенные с траектории, достигают цели. Данный результат зависит от нескольких факторов. От угла зоны обнаружения, от скорости движения преследуемых объектов, от значения минимального радиуса кривизны траекторий объектов.

По результатам работы программы оформлено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614336 «Моделирование траекторий от преследователя до цели с ограничениями на кривизну и с заданными краевыми условиями» [10].

Заключение

В моделировании процесса преследования в данной статье использовался метод погони объектами, сходящих перпендикулярно с траектории преследователя. В модели, описанной в статье, ничего не мешает нам заменить метод погони на метод параллельного сближения для догоняющих объектов. А сход перпендикулярный траектории преследователя заменить сход по касательной.

При экспериментировании было выяснено, что для цели, чтобы быстрее покинуть область слежения являлось коррекция движения к направлению, являющимся перпендикулярным к скорости движения преследующего объекта.

Результаты, полученные в данной статье, можно было бы использовать при разработке беспилотных летательных аппаратов с автономным управлением, оснащенных элементами искусственного интеллекта. Также возможно использовать результаты при спутниковом наведении барражирующих снарядов.

Список литературы

1. Айзекс Р. Дифференциальные игры. Москва: Мир, 1967.
2. Петросян Л.А. Дифференциальные игры преследования // Соросовский Образовательный Журнал. — 1995. — № 1.
3. Красовский Н.Н., Субботин А.И. Позиционные дифференциальные игры / М, Наука, 1974 г.
4. Ахметжанов А.Р. Динамические игры преследования на поверхностях: автореферат диссертация на соискание учебной степени кандидата физико-математических наук. Москва, 2019. 28 с.
5. Банников А.С. Некоторые нестационарные задачи группового преследования / Известия Института математики и информатики УдГУ. 2013. Вып. 1 (41), С. 3-46.
6. Хачумов М.В. Решение задачи следования за целью автономным летательным аппаратом / Искусственный интеллект и принятие решений// 2015. №2. С. 45-52.
7. Абрамянц Т.Г., Маслов Е.П., Яхно В.П., Уклонение групповой цели в трехмерном пространстве, Автомат. и телемех., 2008, № 5, 3–14; Autom. Remote Control, 69:5 (2008), С. 737–747.
8. Гусятников П.Б. Убегание одного нелинейного объекта от нескольких более инертных преследователей // Дифференциальные уравнения. 1976. Т. 12. №2. С. 1316–1324.
9. Видео, результаты моделирования задачи преследования, <https://www.youtube.com/watch?v=JcBrYjfaXTg>
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614336 «Моделирование траекторий от преследователя до цели с ограничениями на кривизну и с заданными краевыми условиями»

1.2.2.

Ф.М. Кадыров, А.В. Костерин

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань, farhad1987@mail.ru

СРАВНЕНИЕ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ КОНСОЛИДАЦИИ НА ОСНОВАНИИ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИПОТЕЗЫ К. ТЕРЦАГИ И УРАВНЕНИЙ СОВМЕЩНОСТИ ДЕФОРМАЦИЙ

Представлена постановка задачи фильтрационной консолидации на основании моделей с использованием гипотезы К. Терцаги и уравнений совместности деформаций. Проведено сравнение решений на примерах консолидации насыщенных жидкостью упругих пористых тел: сплошного шара под нормальной равномерной нагрузкой, полого шара и неограниченного полого цилиндра под действием нормальных внешней и внутренней нагрузок одинаковой величины. Установлено, что наибольшее различие между решениями для давления жидкости наблюдается при коэффициенте Пуассона равным нулю. При коэффициенте Пуассона $\nu \rightarrow 0.5$ решения практически совпадают.

Ключевые слова: консолидация, упругое тело, нагрузка, давление.

Введение

Становление и развитие теории консолидации связано с работами К. Терцаги, Н.М. Герсеванова, В.А. Флорина, В.Н. Николаевского и др. Общая математическая модель фильтрационной консолидации и методы ее аналитического решения были предложены М. Био. Процесс консолидации насыщенных жидкостью упругих пористых тел рассмотрен и даны ссылки на подробную библиографию в работе [1].

В данной работе получены аналитические решения для давления жидкости в случае консолидации сплошного шара под нормальной равномерной нагрузкой, полого шара и неограниченного полого цилиндра под нормальной внешней и внутренней нагрузками одинаковой величины на основании модели с использованием гипотезы К. Терцаги. Эти решения были сравнены с известными решениями, полученными на основании модели с использованием уравнений совместности деформаций [1, 2].

1. Математическая модель задачи фильтрационной консолидации

Математическая модель консолидации (подробно представлена в [1]) включает в себя полное уравнение движения (квазиравновесия) фаз, уравнения неразрывности (баланса масс), закон фильтрации, реологические соотношения для пористого скелета, начальные и граничные условия.

К уравнениям математической модели консолидации добавляются равенства, полученные с использованием гипотезы К. Терцаги [3]:

$$\frac{\partial \sigma_{ii}^f}{\partial t} = \frac{\partial p}{\partial t},$$

где σ_{ii}^f , $i = 1 \div 3$ – компоненты нормальных эффективных напряжений, p – давление жидкости, t – время.

Уравнение для давления жидкости принимает вид

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \kappa \Delta p, \quad (1)$$

где

– в случае сплошного и полого шара: $\kappa = kE / [3(1 - 2\nu)\mu_0]$,

– в случае неограниченного полого цилиндра: $\kappa = kE / [2(1 + \nu)(1 - 2\nu)\mu_0]$,

k – проницаемость скелета, E – модуль Юнга, μ – вязкость жидкости, ν – коэффициент Пуассона.

Начальные условия. При $t = 0$ приложенная нагрузка Π_0 на границе полностью воспринимается жидкостью ($p_\Gamma = \Pi_0$, Γ – область границы (внешней, внутренней) тела, находящейся под действием нагрузки). Начальное давление жидкости удовлетворяет уравнению Лапласа [4]:

$$\Delta p = 0. \quad (2)$$

Граничные условия. Предположим, что нагрузка прикладывается по типу «высокопроницаемый поршень» [5]:

$$p = 0. \quad (3)$$

2. Аналитические решения для давления жидкости

Рассматривается процесс консолидации насыщенных упругих пористых тел – сплошного шара, полого шара и неограниченного полого цилиндра – к внешней и внутренней (для полых тел) границам которых прикладывается нормальная равномерная нагрузка $\Pi_0 = \text{const}$ (см. Рис. 1). Пусть деформации зависят только от радиальной координаты r . Ниже представлены аналитические решения начально-краевой задачи (1)–(3) для конкретных тел.

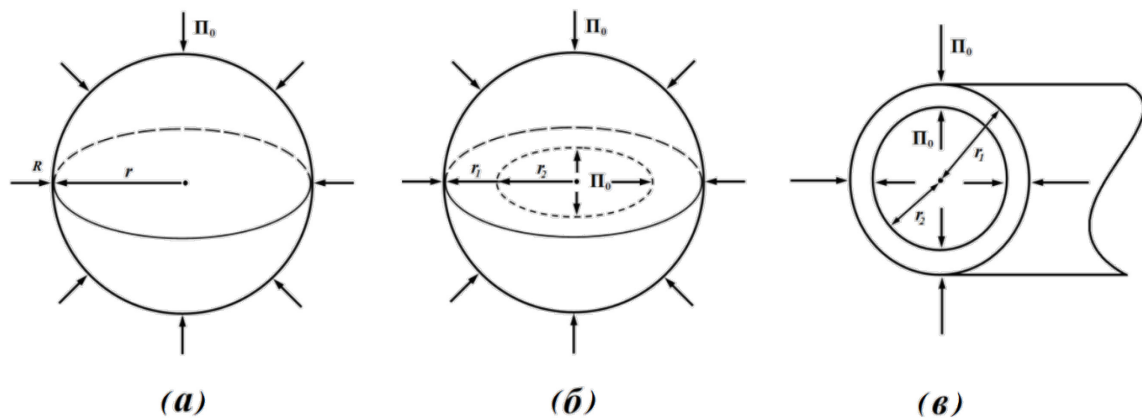


Рис. 1 – Фильтрационная консолидация упругого насыщенного пористого тела: а) сплошной шар; б) полый шар; в) неограниченный полый цилиндр

Консолидация сплошного шара (получено в соответствии с [6]):

$$p(r, t) = \frac{2\Pi_0 R}{\pi r} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} \sin\left(\frac{\pi n r}{R}\right) \exp\left(-\frac{\kappa \pi^2 n^2 t}{R^2}\right).$$

Консолидация полого шара (получено в соответствии с [6]):

$$p(r, t) = \frac{2\Pi_0}{r(r_1 - r_2)} \times \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\frac{\pi n(r - r_2)}{r_1 - r_2}\right) \exp\left(-\frac{\kappa \pi^2 n^2 t}{(r_1 - r_2)^2}\right) \int_{r_2}^{r_1} \xi \sin\left(\frac{\pi n(\xi - r_2)}{r_1 - r_2}\right) d\xi.$$

Консолидация неограниченного полого цилиндра (согласно [7]):

$$p(r, t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp\left(-\frac{\kappa \mu_n^2 t}{r_2^2}\right) \psi_n(r), \quad (4)$$

где $\psi_n(r) = Y_0(s\mu_n)J_0\left(\mu_n \frac{r}{r_2}\right) - J_0(s\mu_n)Y_0\left(\mu_n \frac{r}{r_2}\right)$, $s = \frac{r_1}{r_2}$,

$$A_n = \frac{\pi^2 \mu_n^2 J_0^2(\mu_n) \Pi_0}{2r_2^2 [J_0^2(\mu_n) - J_0^2(s\mu_n)]} \int_{r_2}^{r_1} r \psi_n(r) dr, \quad J_0(z), Y_0(z) - \text{функции Бесселя},$$

μ_n – корни характеристического уравнения: $J_0(\mu)Y_0(s\mu) - J_0(s\mu)Y_0(\mu) = 0$.

3. Результаты расчетов и сравнение решений

Проведены численные расчеты для давления жидкости в сплошном шаре, полом шаре и неограниченном полом цилиндра в случаях использования гипотезы К. Терцаги и уравнений совместности деформаций (решения с использованием уравнений совместности деформаций получены в [1, 2]). Результаты расчетов на примере консолидации неограниченного полого цилиндра представлены на Рис. 2.

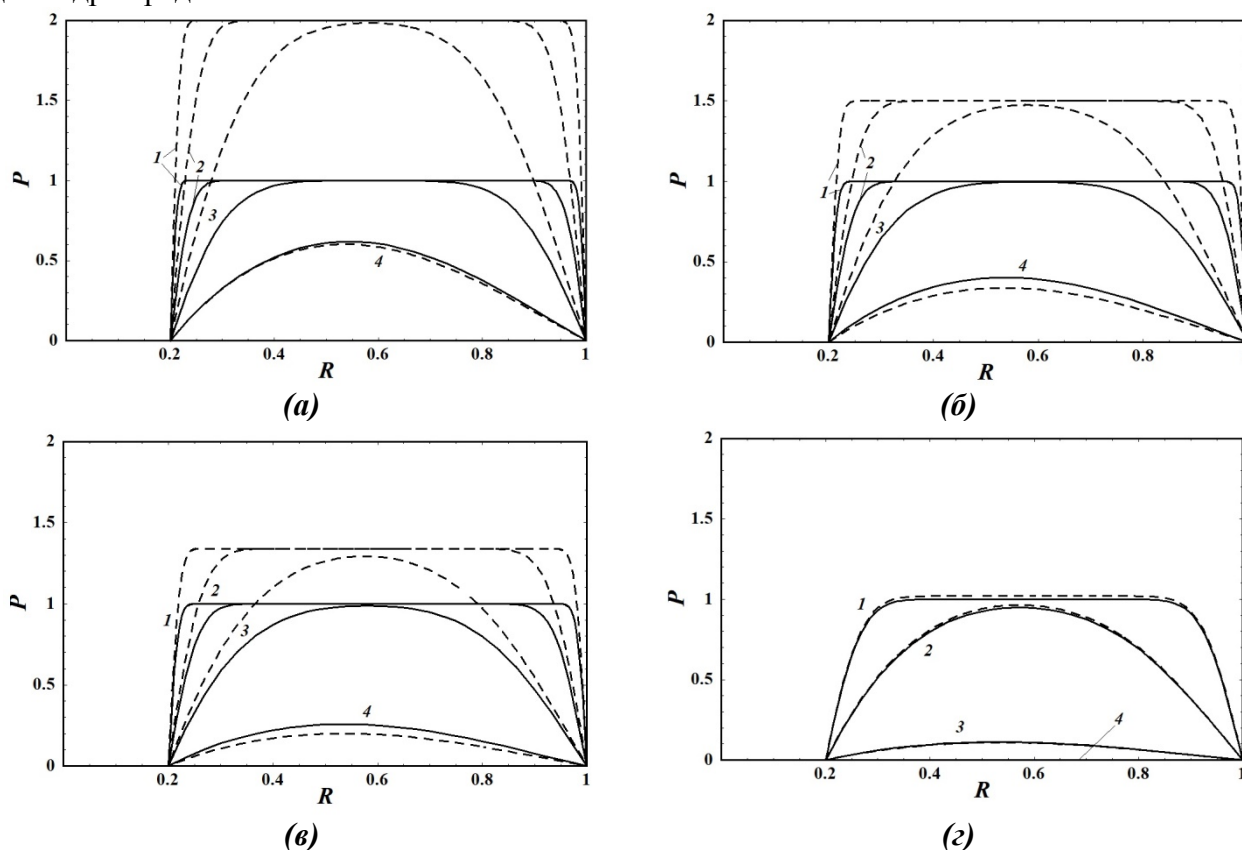


Рис. 2 – Результаты численных расчетов распределения давления жидкости для решений, полученных с использованием гипотезы К. Терцаги (сплошная линия) и с использованием уравнений совместности деформаций (пунктирная линия) при $R = r/r_1$, $P = p/\Pi_0$, внешнем радиусе $R_1 = 1$ и внутреннем радиусе $R_2 = 0.2$: а) при $\nu = 0$, б) при $\nu = 0.25$, в) при $\nu = 0.33$, г) при $\nu = 0.49$, в различные моменты времени: 1) $T = 0.0001$, 2) $T = 0.001$, 3) $T = 0.01$, 4) $T = 0.1$

Представленные численные расчеты для давления жидкости на примере консолидации неограниченного полого цилиндра под действием нормальных внешней и внутренней нагрузок одинаковой величины показывают, что наибольшее различие между решениями на основании моделей с использованием гипотезы К. Терцаги и уравнений совместности деформаций наблюдается при коэффициенте Пуассона ν равным нулю. При $\nu \rightarrow 0.5$ решения практически совпадают.

Заключение

Получены аналитические решения задачи консолидации насыщенных упругих пористых тел – сплошного шара, полого шара и неограниченного полого цилиндра – на основании модели с использованием гипотезы К. Терцаги, которые сравнены с известными решениями для указанных тел на основании модели с использованием уравнений совместности деформаций. Установлено, что решения различаются в зависимости от коэффициента Пуассона ν , значения которого могут находиться в пределах от 0 (абсолютно хрупкие среды) до 0.5 (абсолютно несжимаемые среды). Различие решений тем меньше, чем выше коэффициент Пуассона.

Список литературы

1. Кадыров Ф.М., Костерин А.В., Скворцов Э.В. Фильтрационная консолидация при деформации упругого тела под нормальной нагрузкой // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. – 2019. – Т. 161, кн. 1. – С. 66-74.
2. Кадыров Ф.М. Математическое моделирование процесса фильтрационной консолидации при деформации полого шара и неограниченного полого цилиндра // НТВП. – 2020. – №5. – С. 97-100.
3. Кадыров Ф.М., Костерин А.В., Скворцов Э.В. Плоская задача фильтрационной консолидации для упругого полупространства с разрывными начальными условиями // ПМТФ. – 2016. – Т. 57, №6. – С. 132-138.
4. Герсеванов Н.М. Основы динамики грунтовой массы. – М.; Л.: Госстройиздат, 1937.
5. Николаевский В.Н., Басниев К.С., Горбунов А.Т. Механика насыщенных пористых сред. – М.: Недра, 1970.
6. Полянин А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики. М.: Физматлит, 2001.
7. Полянин А.Д. Справочник по точным решениям уравнений тепло- и массопереноса / А.Д. Полянин, А.В. Вязьмин, А.И. Журов, Д.А. Казенин. М.: Факториал, 1998.

1.2.2.

Т.Р. Нагорная, К.М. Расулов д-р физ.-мат. наук

Смоленский государственный университет,
физико-математический факультет,
кафедра математического анализа,
Смоленск, tani7n@gmail.com; kahrmanr@yandex.ru

АЛГОРИТМ ЯВНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПУАНКАРЕ ДЛЯ ОБОБЩЕННЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА В КРУГОВЫХ ОБЛАСТЯХ

В статье построен конструктивный алгоритм решения краевой задачи типа задачи Пуанкаре в классе обобщенных гармонических функций второго порядка в круговых областях. Устанавливается, что по сути решение рассматриваемой краевой задачи в круговых областях сводится к последовательному решению скалярной задачи Римана для аналитических функций комплексного переменного и двух линейных дифференциальных уравнений Эйлера третьего порядка.

Ключевые слова: дифференциальное уравнение Эйлера, краевая задача Пуанкаре, обобщенная гармоническая функция, явное решение.

1. Постановка задачи. Пусть $U_1^+ = \{z : |z| < 1\}$ – единичный круг на плоскости комплексного переменного $z = x + iy$, а T^+ – односвязная область, лежащая в круге U_1^+ (т.е. $T^+ \subset U_1^+$) и ограниченная простой замкнутой кривой Ляпунова L .

В работе авторов [1] впервые была дана постановка следующей краевой задачи GP_n : требуется найти все обобщенные гармонические функциями $W(z)$ порядка n ($n \geq 1$) в области T^+ , принадлежащие классу $G_n(T^+) \cap H^{(n+1)}(L)$ и удовлетворяющие на L условию

$$a(t) \frac{\partial W(t)}{\partial x} + b(t) \frac{\partial W(t)}{\partial y} + c(t)W(t) = q(t), \quad t \in L, \quad (1)$$

где $a(t), b(t), c(t)$ и $q(t)$ – заданные на контуре L комплекснозначные функции из класса $H(L)$ (т.е. удовлетворяющие на L условию Гельдера).

Следуя [1], сформулированную выше задачу GP_n будем называть краевой задачей Пуанкаре для обобщенных гармонических функций порядка n .

В статье авторов [1] был разработан явный метод решения задачи GP_n в классе обобщенных гармонических функций первого порядка ($n=1$) в случае, когда $T^+ = T_r^+ = \{z : |z| < r\}$, где $0 < r < 1$, а коэффициенты $a(t), b(t), c(t)$ краевого условия (1) задаются по формулам:

$$a(t) = \frac{1}{2} \left(t + \frac{r^2}{t} \right), \quad b(t) = \frac{1}{2i} \left(t - \frac{r^2}{t} \right), \quad c(t) \equiv -1. \quad (2)$$

В настоящей статье предложенный в работе [1] метод решения задачи GP_n обобщается на случай $n=2$, то есть, получен алгоритм явного метода решения задачи GP_n в классе обобщенных гармонических функций второго порядка ($n=2$) в круговых областях $T^+ = T_r^+ = \{z : |z| < r\}$, где $0 < r < 1$, при выполнении условий (2).

2. Алгоритм решения в явном виде задачи Пуанкаре GP_2 в круге $T_r^+ = \{z: |z| < r\}$, $0 < r < 1$ при выполнении условий (2).

Пусть $L_r = \{t: |t| = r\}$ – граница круга $T_r^+ = \{z: |z| < r\}$. Тогда, как известно (см., например, [1-2]), при $n = 2$ и $T^+ = T_r^+ = \{z: |z| < r\}$ всякую обобщенную гармоническую функцию $W(z)$ из класса $G_2(T_r^+) \cap H^{(3)}(L_r)$ можно представить в виде

$$W(z) = \frac{d^2 \varphi^+(z)}{dz^2} + \frac{6\bar{z}}{1 - z\bar{z}} \frac{d\varphi^+(z)}{dz} + \frac{12\bar{z}^2}{(1 - z\bar{z})^2} \varphi^+(z) + \overline{\frac{d^2 f^+(z)}{dz^2}} + \frac{6z}{1 - z\bar{z}} \frac{df^+(z)}{dz} + \frac{12z^2}{(1 - z\bar{z})^2} \overline{f^+(z)}, z \in T^+, \quad (3)$$

где $\varphi^+(z), f^+(z)$ – аналитические в круге T_r^+ функции, принадлежащие классу $A(T^+) \cap H^{(3)}(L)$.

Шаг №1. Поскольку на окружности $L_r = \{t: |t| = r\}$ выполняется тождество $\bar{t} = \frac{r^2}{t}$ и

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial \bar{z}}, \frac{\partial}{\partial y} = i \left(\frac{\partial}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial \bar{z}} \right),$$

а также принимая во внимание формулы (2) и (3), краевое условие (1) можно записать в виде

$$t^3 \frac{d^3 \varphi^+(t)}{dt^3} + \frac{7r^2 - 1}{1 - r^2} t^2 \frac{d^2 \varphi^+(t)}{dt^2} + \frac{24r^4}{(1 - r^2)^2} \cdot t \cdot \frac{d\varphi^+(t)}{dt} + \frac{12r^4(3r^2 + 1)}{(1 - r^2)^3} \varphi^+(t) + \frac{t^4}{r^4} \cdot \left(t^3 \frac{d^3 f^+(t)}{dt^3} + \frac{7r^2 - 1}{1 - r^2} t^2 \frac{d^2 f^+(t)}{dt^2} + \frac{24r^4}{(1 - r^2)^2} t \frac{df^+(t)}{dt} + \frac{12r^4(3r^2 + 1)}{(1 - r^2)^3} f^+(t) \right) = t^2 \cdot q(t). \quad (4)$$

Шаг №2. Вводя в рассмотрение вспомогательные аналитические в круге T_r^+ функции вида

$$\Phi^+(z) = t^3 \frac{d^3 \varphi^+(t)}{dt^3} + \frac{7r^2 - 1}{1 - r^2} t^2 \frac{d^2 \varphi^+(t)}{dt^2} + \frac{24r^4}{(1 - r^2)^2} \cdot t \cdot \frac{d\varphi^+(t)}{dt} + \frac{12r^4(3r^2 + 1)}{(1 - r^2)^3} \varphi^+(t), \quad (5)$$

$$F^+(z) = t^3 \frac{d^3 f^+(t)}{dt^3} + \frac{7r^2 - 1}{1 - r^2} t^2 \frac{d^2 f^+(t)}{dt^2} + \frac{24r^4}{(1 - r^2)^2} t \frac{df^+(t)}{dt} + \frac{12r^4(3r^2 + 1)}{(1 - r^2)^3} f^+(t), z \in T_r^+, \quad (6)$$

краевое условие (4) примет вид:

$$\Phi^+(t) = -\frac{t^4}{r^4} \overline{F^+(t)} + t^2 \cdot q(t), t \in L_r. \quad (7)$$

Шаг №3. Пусть $T_r^- = \bar{C} \setminus (T_r^+ \cup L_r)$. Тогда, вводя в рассмотрение аналитическую T_r^- функцию $F^-(z)$, которая связана с $F^+(z)$ соотношением

$$F^-(z) = \overline{F^+ \left(\frac{r^2}{z} \right)}, z \in T_r^-, \quad (8)$$

из равенства (7) получаем следующее равенство:

$$\Phi^+(t) = -\frac{t^4}{r^4} F^-(t) + t^2 \cdot q(t), t \in L_r. \quad (9)$$

Шаг №4. Равенство (9) представляет собой краевое условие задачи Римана относительно ограниченной на бесконечности кусочно аналитической функции $\Phi(z) = \{\Phi^+(z), F^-(z)\}$ [3, с. 106]. Вследствие того, что индекс задачи Римана (9) равен 4

(т.е. $\chi = \text{Ind}\left(-\frac{t^4}{r^4}\right) = 4$), эта задача является безусловно разрешимой и ее общее решение задается следующими формулами (см., например, [3, с. 112]):

$$\Phi^+(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{L_r} \frac{\tau^2 \cdot q(\tau)}{\tau - z} d\tau - \frac{1}{r^4} P_4(z), \quad z \in T_r^+, \quad (10)$$

$$F^-(z) = -\frac{1}{2\pi i} \cdot \frac{r^4}{z^4} \int_{L_r} \frac{\tau^2 \cdot q(\tau)}{\tau - z} d\tau + \frac{1}{z^4} P_4(z), \quad z \in T_r^-, \quad (11)$$

где $P_4(z) = C_0 + C_1 z + C_2 z^2 + C_3 z^3 + C_4 z^4$ – произвольный многочлен с комплексными коэффициентами.

В силу формул (8) и (11) аналитическая в круге T_r^+ функция $F^+(z)$ определяется по формуле

$$F^+(z) = \overline{F^-}\left(\frac{r^2}{z}\right), \quad z \in T_r^+. \quad (12)$$

Для полного решения задачи $\mathbf{GP}_2$ остается найти всевозможные пары аналитических в круге T_r^+ функций $\varphi^+(z)$, $f^+(z)$, входящих в правую часть представления (3), при условии, что аналитические в круге $T_r^+ = \{z : |z| < r\}$, $0 < r < 1$ функции $\Phi^+(z)$, $F^+(z)$ уже известны (они определяются по формулам (10), (11) и (12)).

Шаг №5. Заметим, что в силу формул (5) и (6) относительно функций, которые являются первой и второй аналитическими компонентами $\varphi^+(z)$, $f^+(z)$ искомой обобщенной гармонической функции $W(z)$, получаем следующие дифференциальные уравнения Эйлера:

$$z^3 \frac{d^3 \varphi^+(z)}{dz^3} + \frac{7r^2 - 1}{1 - r^2} z^2 \frac{d^2 \varphi^+(z)}{dz^2} + \frac{24r^4}{(1 - r^2)^2} \cdot z \cdot \frac{d\varphi^+(z)}{dz} + \frac{12r^4(3r^2 + 1)}{(1 - r^2)^3} \varphi^+(z) = \Phi^+(z), \quad z \in T_r^+, \quad (13)$$

$$z^3 \frac{d^3 f^+(z)}{dz^3} + \frac{7r^2 - 1}{1 - r^2} z^2 \frac{d^2 f^+(z)}{dz^2} + \frac{24r^4}{(1 - r^2)^2} \cdot z \cdot \frac{df^+(z)}{dz} + \frac{12r^4(3r^2 + 1)}{(1 - r^2)^3} f^+(z) = F^+(z), \quad z \in T_r^+, \quad (14)$$

где $\Phi^+(z)$, $F^+(z)$ – функции, определяемые по формулам (10), (11) и (12).

Предположим, что дифференциальные уравнения (13) и (14) имеют аналитические в круге $T_r^+ = \{z : |z| < r\}$ решения $\tilde{\varphi}^+(z)$ и $\tilde{f}^+(z)$ соответственно. Тогда общее решение искомой задачи Пуанкаре $\mathbf{GP}_2$ можно найти по формуле

$$W(z) = \frac{d^2 \tilde{\varphi}^+(z)}{dz^2} + \frac{6\bar{z}}{1 - z\bar{z}} \frac{d\tilde{\varphi}^+(z)}{dz} + \frac{12\bar{z}^2}{(1 - z\bar{z})^2} \tilde{\varphi}^+(z) + \overline{\frac{d^2 \tilde{f}^+(z)}{dz^2} + \frac{6z}{1 - z\bar{z}} \frac{d\tilde{f}^+(z)}{dz} + \frac{12z^2}{(1 - z\bar{z})^2} \tilde{f}^+(z)}, \quad z \in T^+, \quad (15)$$

где $\tilde{\varphi}^+(z)$ и $\tilde{f}^+(z)$ – аналитические в круге $T_r^+ = \{z : |z| < r\}$ решения дифференциальных уравнений Эйлера (13) и (14) соответственно.

Приведенные рассуждения приводят к следующему результату.

Теорема. Если $T_r^+ = \{z : |z| < r\}$, $0 < r < 1$ и выполняются условия (2), то решение задачи Пуанкаре $\mathbf{GP}_2$ в классе $\mathbf{G}_2(T_r^+) \cap H^{(3)}(L_r)$ сводится к последовательному решению задачи Римана (9) и двух линейных дифференциальных уравнений Эйлера третьего порядка (14) и (15), причем для разрешимости задачи $\mathbf{GP}_2$, необходимо и достаточно, чтобы дифференциальные уравнения Эйлера (14) и (15) были разрешимы в классе $A(T^+) \cap H^{(3)}(L)$.

При выполнении этих условий, общее решение задачи GP_2 можно задавать формулой (15), где $\tilde{\varphi}^+(z)$ и $\tilde{f}^+(z)$ – решения дифференциальных уравнений (13) и (14) соответственно.

Список литературы

1. Нагорная Т.Р., Расулов К.М. О краевой задаче Пуанкаре для обобщенных гармонических функций в круговых областях // Научно-технический вестник Поволжья – 2022. – № 7. – С. 32-35.
2. Bauer K.W., Ruscheweyh S. Differential Operators for Partial Differential Equations and Function Theoretic Applications. – Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag (Lecture Notes in Mathematics. Edited by A.Dold and B. Eckmann, 791), 1980. – 253 p.
3. Гахов Ф.Д. Краевые задачи. – М: Наука, 1977. – 640 с.
4. Коттингтон Э.А., Левинсон Н. Теория обыкновенных дифференциальных уравнений. – М., 1958. – 474 с.
5. Курош А.Г. Курс высшей алгебры. – М.: Наука, 1971. – 431 с.

1.2.2.

Н.В. Петров

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,
Институт математики и информатики,
Якутск, stalker_pnv@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ ПОСТРОЕНИЕ К-ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА СТРАТЕГИЙ ПОИСКА НА ПЛОСКОСТИ

В работе рассматриваются дифференциальные игры простого поиска на плоскости. Игрок P стремится максимизировать вероятность обнаружения уклоняющегося объекта E . Смешанные стратегии ищущего определяются помощью вспомогательной игры с нарядом преследователей. В качестве примера были рассмотрены игры поиска неподвижного объекта на плоскости. Для случаев с двумя и тремя преследователями, произведена оценка вероятности обнаружения убегающего игрока и численно построены приближительные информационные множества.

Ключевые слова: дифференциальная игра поиска, информационные множества, смешанные стратегии, вероятность обнаружения.

В этой статье мы рассматриваем дифференциальные игры с нулевой суммой со стороны ищущего игрока. В работе, представлена игра поиска между убегающим игроком E и ищущим игроком P . Метод аппроксимации и численного построения информационных множеств описаны в работе [1].

Для оценки вероятности обнаружения убегающего игрока E , рассмотрена вспомогательная игра между убегающим игроком E и нарядом $\bar{P} = \{P_1, \dots, P_k\}$ однотипных ищущих игроков действующих согласованно. Предполагается, что наряд $\bar{P}$ гарантирует k_* обнаружение, если как минимум k_* , $k_* \leq k$ ищущих игроков обнаружили убегающего игрока. Для случаев, когда наряд ищущих $\bar{P}$ состоит из двух или трех игроков, численно построены информационные множества на разработанной программе.

Описание игры

Рассмотрена дифференциальная игра поиска между ищущим игроком P и убегающим игроком E . Динамика игры описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\dot{P}: \dot{x} = u, \|u\| \leq \alpha, x(0) = x_0, \|x_0\| = r + l, x, u \in R^2, \quad (1)$$

$$\dot{E}: \dot{y} = v, \|v\| \leq \beta, y(0) = y_0, \|y_0\| \leq r, \beta \leq \alpha, y, v \in R^2, \quad (2)$$

где $r > 0$ - радиус области неопределенности начального местоположения игрока E , а r, l, α и β - параметры игры. Областью обнаружения игрока P является круг радиуса l с центром в местоположении преследователя.

Допустимые управления $u = u(t), t \geq 0$, игрока P - кусочно-постоянные функции с двумя интервалами постоянности. Множество всех допустимых управлений игрока P обозначим через D_P . Под чистой стратегией a игрока P будем понимать пару $a = (x_0^*, u(\cdot))$, где точка $x_0^* \in R^2$ удовлетворяет условию (1).

Допустимые управления $v = v(t), t \geq 0$, игрока E - кусочно-непрерывные функции. Множество всех допустимых управлений игрока E обозначим через D_E . Под чистой стратегией b игрока E будем понимать пару $b = (y_0^*, v(\cdot))$, где точка $y_0^* \in R^2$ удовлетворяет условию (2). Игра рассматривается в программных стратегиях.

Состояние информации в игре следующее. В начальный момент времени $t = t_0$, игрок $P_i(E), i = 1, \dots, k$ обладает лишь априорной информацией о другом игроке, то есть ему известны $\|y_0\| \leq r$ ($\|x_0\| = r + l$) и динамика игры (1), (2). В дальнейшем ходе игры игроки не получают текущей информации о местоположении противника.

Игра происходит следующим образом: игрок E выбирает некоторую точку y_0^* из круга радиуса r и допустимые управления $v(\cdot)$. Игрок P , не зная стратегию игрока E выбирает стратегию $a = (x_0^*, u(\cdot))$. Игрок E считается обнаруженным в момент времени t , если расстояние между $x_i(t)$, $i = 1, \dots, k$ и $y(t)$ меньше или равно l , где l – заданное положительное число.

Предположим, что для каждого состояния $x_i \in R^2$, $i = 1, \dots, k$ определено множество $S(x) \subset R^2$ – замкнутый круг радиуса l с центром в точке x , которое в дальнейшем будем называть *областью обнаружения* игрока P_i , $i = 1, \dots, k$. Функция выигрыша наряда $\bar{P}$ определена в [2].

Игра с одним ищущим игроком

Игрок P , который в начальный момент $t_0 = 0$ времени находится в точке x_0 , выбирает управление с двумя интервалами постоянности.

$$u(\cdot) = \begin{cases} u_1, & 0 < t \leq t^*, \\ u_2, & t < t^* < \infty, \end{cases}$$

где

$$u_1 = \begin{pmatrix} u_{11} \\ u_{12} \end{pmatrix}, u_2 = \begin{pmatrix} u_{21} \\ u_{22} \end{pmatrix},$$

то есть стратегиями игрока P являются кусочно-постоянные стратегии $a = (x_0^*, u(\cdot))$.

Траекторию, порождаемую стратегией $a = (x_0^*, u(\cdot))$, обозначим через $x(\cdot) = x(\cdot, t_0, x_0^*, u(\cdot))$. Такая траектория на плоскости представляется в виде объединения отрезка $[x_0^*; x(t^*)]$ и луча с началом в точке $x(t^*)$ или ломанной с двумя звеньями (Рис. 1(a)).

Момент времени t^* будем называть моментом поворота. В этом случае, первая вершина ломаной находится в точке x_0^* , вторая вершина в точке $G = x(t^*)$ в момент времени t^* и третья в точке $S = x(T)$. Случай когда $u(\cdot) = \text{const}$ был описан в [2].

Представим данную игру на плоскости. Проведем прямоугольную декартову систему координат, так чтобы точка начального расположения x_0^* игрока P совпадала с началом координат $O_{z_1 z_2}$, а центр области начального расположения игрока E , круга радиуса r , лежал на оси O_{z_1} .

Начальную точку x_0^* будем обозначать через x_0 , а центр круга радиуса r - начального месторасположения игрока E через y_0 . Расстояние между точками x_0 и y_0 равно $r + l$.

$$x_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, u_2 = \begin{pmatrix} r + l \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Через T обозначим полное время игры за которое ищущий игрок P гарантированно ловит игрока E . При выполнении неравенства $r < 2l$, ищущий игрок P гарантирует поимку убегающего игрока E за конечное время. Ясно, что $r \rightarrow 2l$ ($r < 2l$), то $T \rightarrow \infty$.

В случае, когда $T < \infty$, полное время игры T можно минимизировать за счет выбора оптимального момента поворота t^* и управления $u(\cdot)$ (Рис. 1(b)).

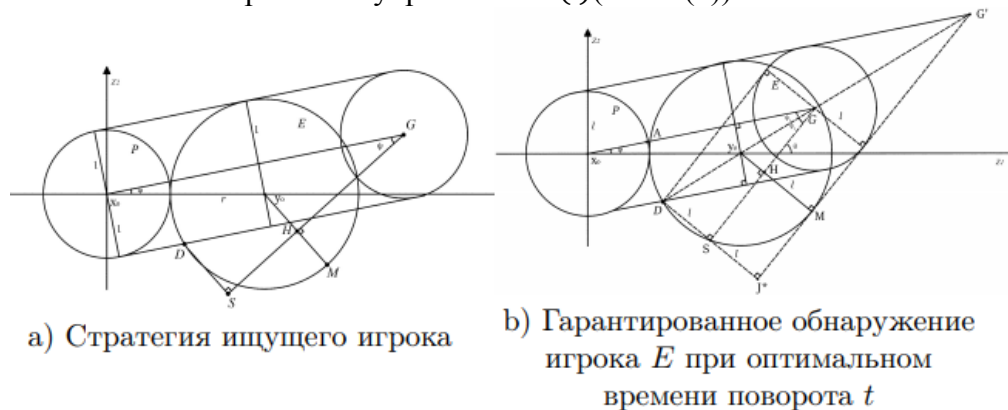


Рис. 1 – Игра с одним ищущим игроком P

Условия на параметры игры для гарантированного обнаружения, численная оптимизация времени поворота и численное построение информационных множеств в игре с одним

ищущим игроком P_1 была рассмотрена в [3]. Если $r > 2l$, то у ищущего игрока P нет гарантирующей стратегии или это означает, что один игрок не может гарантировать поимку игрока E . Далее, будем рассматривать *вспомогательную игру* между убегающим игроком E и нарядом $\bar{P} = \{P_1, \dots, P_k\}$ однотипных преследователей, имеющих одинаковые характеристики, действующих как один игрок. Будем говорить, что наряд $\bar{P}$ гарантирует k_* -обнаружение, если по крайней мере $k_* \leq k$ преследователей обнаружат убегающего.

Численное построение k -покрытий

Численно построено информационное множество $\Omega^{k,k_*}(t)$ для вспомогательной игры с нарядом ищущих игроков $\bar{P} = \{P_1, \dots, P_k\}$ при $k = 2$ и $k = 3$, с помощью разработанной компьютерной программы.

Вспомогательная игра с двумя ищущими игроками

Для выбора стратегии a_1 для наряда ищущих игроков, $\bar{P} = \{P_1, P_2\}$, необходимо для каждого игрока задать время поворота t^* .

Различные цвета отображают области, которые были исследованы игроками P_1, P_2 из наряда $\bar{P}$. Красным цветом отображена область, исследованная игроком P_1 , зеленым - игроком P_2 . Желтым цветом помечена область исследованная двумя ищущими игроками P_1, P_2 . Это означает, что смешанная стратегия гарантирует вероятность обнаружения $V \geq \frac{1}{2}$ (Рис.2).

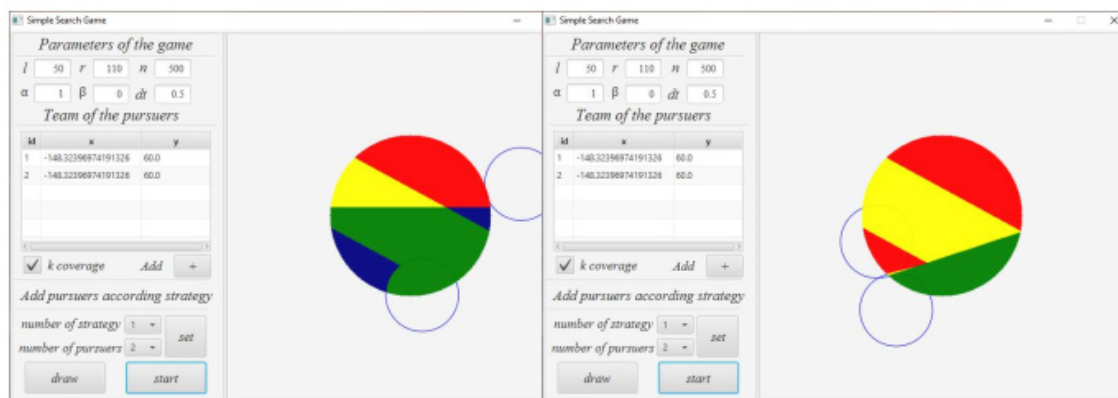


Рис. 2 – Численное построение k -покрытия при $k = 2$

Вспомогательная игра с тремя ищущими игроками

Предположим, что $k = 3$. Тогда красной областью является область, исследованная игроком P_1 , зеленым - игроком P_2 , синим - игроком P_3 . Желтым цветом помечена область исследованная двумя ищущими игроками P_1 и P_2 , голубым - P_2 и P_3 , пурпурным - P_1 и P_3 . Белым цветом отображена область, исследованная тремя ищущими игроками P_1, P_2 и P_3 . Это означает, что смешанная стратегия гарантирует вероятность обнаружения $V \geq \frac{1}{3}$ (Рис.4).

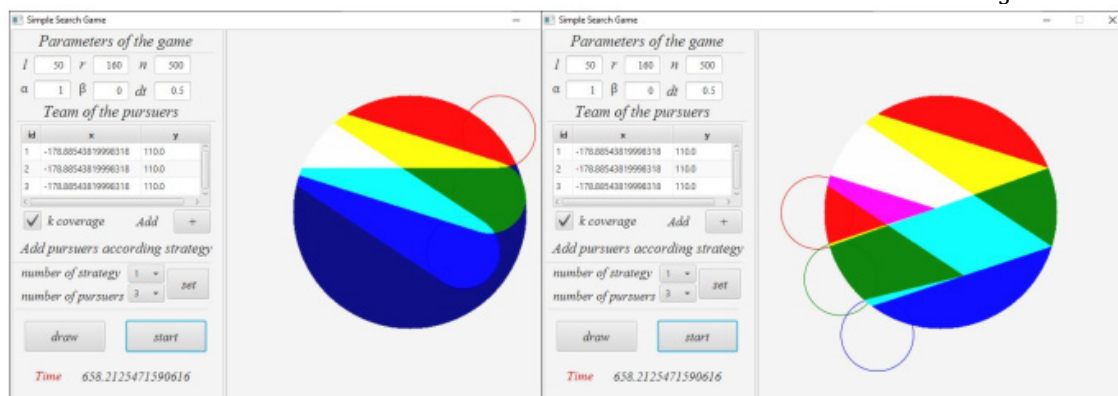


Рис.3 – Численное построение k -покрытия при $k = 3$

Таким образом, с помощью разработанной компьютерной программы, численно построены информационные множества для рассматриваемых игр

Список литературы

1. *Mestnikov S.V., Petrov N.V., Everstova G.V.* Numerical Construction of the Information Sets in the Simple Search Game with a Team of Pursuers and Estimates for a Detection Probability // Collected abstracts of papers presented on the Eighth International Conference Game Theory and Management (GTM2014), Graduate School of Management SPbU, 2014, P.207-208.
2. *Местников С.В., Петров Н.В.* Численное построение информационного множества и достаточные условия к - обнаружения в игру простого поиска на плоскости // Математические заметки СВФУ Апрель - июнь, 2017. Том 24, №2, С. 13-29.
3. *Mestnikov S.V., Petrov N.V.* Numerical Construction of the Information Sets and Optimization of Detection Time in the Simple Search Game with Team of Pursuers on the Plane // Collected abstracts of papers presented on the Twelfth International Conference Game Theory and Management (GTM2018), Graduate School of Management SPbU, 2018, P.111-112.

1.2.2.

¹А.В. Христофорова, ²А.В. Черненко, ^{2,3}В.С. Попов¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского,²Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,³Институт проблем точной механики и управления РАН,
alevtinahristoforova@yandex.ru, 3chav@mail.ru, vic_p@bk.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОУПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ СЭНДВИЧ ДИСКА НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

В работе предложена и исследована математическая модель гидроупругих колебаний круглой сэндвич пластины, установленной на упругом основании Винклера и взаимодействующей со слоем вязкой жидкости. Модель исследована методом возмущений в предположении тонкости слоя жидкости и малости амплитуд колебаний пластины. Выполнены расчеты по влиянию материала несущих слоев пластины и инерции движения жидкости на амплитуды колебаний пластины.

Ключевые слова: математическое моделирование, колебания, вязкая жидкость, сэндвич пластина, упругое основание Винклера.

Широкое применение сэндвич пластин определяет важность исследования их статики и динамики. Современное состояние исследований данных вопросов отражены в [1-3]. С другой стороны, важным является разработка математических моделей и моделирование гидроупругого поведения пластин, взаимодействующих с жидкостью. Данной проблематике посвящены многочисленные работы, укажем здесь ряд из них [4-8]. Учитывая сказанное выше актуальными и научно значимыми являются проблемы математического моделирования гидроупругого взаимодействия сэндвич пластин с жидкостью. Однако работ по данному направлению значительно меньше. Например, можно указать следующие работы, посвященные указанной тематике [9,10]. Однако в указанных работах не рассмотрен случай колебаний круглой сэндвич панели, установленной на упругом основании Винклера при учете вязкости и инерции движения жидкости, а также оценке влияния материала, из которого выполнен несущий слой пластины.

Рассмотрим колебания круглой сэндвич пластины, установленной на упругом основании Винклера, и являющейся дном узкого канала с вязкой несжимаемой жидкостью (рис.1). Полагаем верхнюю стенку абсолютно жесткой. Стенки канала радиуса R и параллельными друг другу, их центры лежат на одной оси. Внешние слои сэндвич диска металлические, а между ними легкий заполнитель. Пластина по контуру жестко закреплена. К торцу канала примыкает кольцевая торцевая полость, заполненная той же жидкостью, что и канал, в ней поддерживается гармонически пульсирующее давление $p^*(\omega t)$. Цилиндрическая система координат $Ozr\eta$, связанна с центром заполнителя пластины в невозмущенном состоянии. Изучим осесимметричную задачу для установившихся гармонических колебаний, полагая, что жидкость может свободно истекать в торцевую полость, толщина слоя $h_0 \ll R$, а амплитуда прогибов пластины $w_m \ll h_0$.

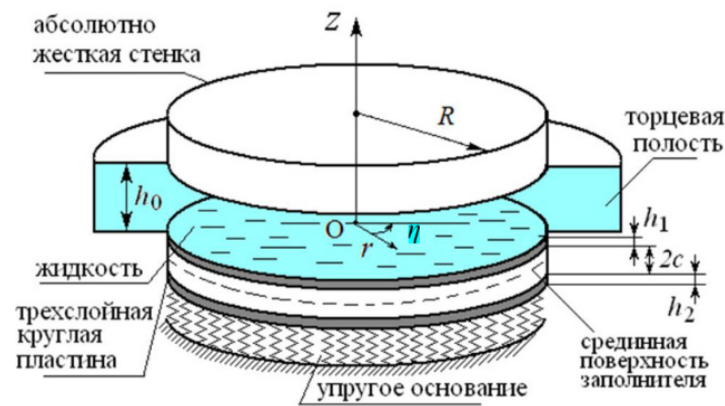


Рис. 1 – Узкий канал с круглыми стенками на упругом основании

Уравнения движения вязкой жидкости в канале запишем как [11]

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_r}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left(\frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} - \frac{V_r}{r^2} \right) \\ \frac{\partial V_z}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 V_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right), \quad \frac{\partial V_y}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

а уравнения движения круглой сэндвич пластины имеют вид [3,9]

$$\begin{aligned} \bar{L}_2 (a_1 u + a_2 \varphi - a_3 \partial w / \partial r) = -q_{zr}, \quad \bar{L}_2 (a_2 u + a_4 \varphi - a_5 \partial w / \partial r) = 0, \\ \bar{L}_3 (a_3 u + a_5 \varphi - a_6 \partial w / \partial r) - M_0 \partial^2 w / \partial t^2 = -q_{zz} + b^* w, \\ L_2(g) = \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r g) \right], \quad L_3(g) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r L_2(g)], \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь V_y, V_r – проекции скорости жидкости на координатные оси, ρ – плотность жидкости, ν – кинематическая вязкость жидкости, p – давление, u, w – продольное перемещение и прогиб пластины; φ – угол поворота нормали заполнителя; q_{zr}, q_{zz} – касательное и нормальное напряжение жидкости; b^* – коэффициент жесткости основания; t – время; остальные обозначения по [3,9].

Для уравнений (1), (2) принимаем граничные условия: жесткого защемления пластины на контуре, непротекания жидкости на стенках, равенства давлений в торцевом сечении канала и в торцевой полости, а также конечность значений для прогибов и давления на оси симметрии.

Используя метод возмущений [12] было показано, что напряжением q_{zr} можно пренебречь по сравнению с q_{zz} , а давление в слое жидкости зависит только от координаты r и может быть представлено в виде

$$p = p^* + \rho \nu w_m \omega (h_0 \psi^2)^{-1} \int \left[\frac{1}{\xi} \int_0^\xi \xi \left(2 \varepsilon^2 \alpha \frac{\partial^2 W}{\partial \tau^2} + 12 \gamma \frac{\partial W}{\partial \tau} \right) d\xi \right] d\xi, \quad \xi = r/R, \quad \psi = h_0/R. \quad (3)$$

Здесь прогиб пластины представлен как $w = w_m W$, а $\varepsilon, \alpha, \gamma$ определяются по [7]. Если пренебречь инерцией движения жидкости, то $\alpha = 0, \gamma = 1$.

Учитывая (3) в уравнениях (2) и опуская в них q_{zr} свели их к одному уравнению относительно прогиба:

$$w_m (L_3 (D/R \partial W / \partial \xi) + b^* W + M_0 \omega^2 \partial^2 W / \partial \tau^2) = -p^* - \rho \nu w_m \omega (h_0 \psi^2)^{-1} P, \quad (4)$$

где $D = a_6 - a_3 (a_4 a_3 - a_2 a_5) (a_1 a_4 - a_2^2)^{-1} - a_5 (a_1 a_5 - a_2 a_3) (a_1 a_4 - a_2^2)^{-1}$.

Решаем (4) методом Фурье, форму прогибов задаем рядом собственных функций задачи Штурма-Лиувилля. В результате решение уравнения (4), ограниченное главной формой изгибных колебаний, представлено как

$$w = p_m \Pi(\xi, \omega) \sin(\tau + \theta(\xi, \omega)), \quad \Pi(\omega, \xi) = \frac{R^4}{D} \left[\frac{J_0(\beta_1 \xi)}{J_0(\beta_1)} - \frac{I_0(\beta_1 \xi)}{I_0(\beta_1)} \right] \left((A_{p1}^{(1)})^2 + (B_{p1}^{(1)})^2 \right)^{1/2}. \quad (5)$$

Здесь $\Pi(\xi, \omega)$ - частотозависимая функция распределения амплитуд прогибов сэндвич диска, $\theta(\xi, \omega)$ - частотозависимая функция распределения фазового сдвига, $A_{p1}^{(1)}$ и $B_{p1}^{(1)}$ - частотозависимые коэффициенты, J_0, I_0 - функции Бесселя нулевого порядка, β_k - корень уравнения $I_1(\beta_k)/I_0(\beta_k) = -J_1(\beta_k)/J_0(\beta_k)$, где $J_1(\beta_k), I_1(\beta_k)$ - функции Бесселя первого порядка.

Проведены расчеты безразмерной АЧХ $A(\omega) = \Pi_{cs}(\xi^*, \omega) / \Pi_{cs}(\xi^*, 0)$ при $\xi^* = 0$ (центр диска) для следующих параметров диска: $R = 0,1$ м; $h_0 = 0,008$ м; $h_1 = 0,001$ м; $h_2 = 0,0015$ м; $c = 0,002$ м; и вязкой жидкости $\rho = 1840$ кг/м³; $\nu = 0,25 \cdot 10^{-3}$ м²/с (см. рис.2). Верхний несущий слой в расчетах принимался выполненным либо из Д16Т, либо из стали, либо из латуни. Нижний несущий слой - Д16Т, заполнитель между данными слоями - фторопласт.

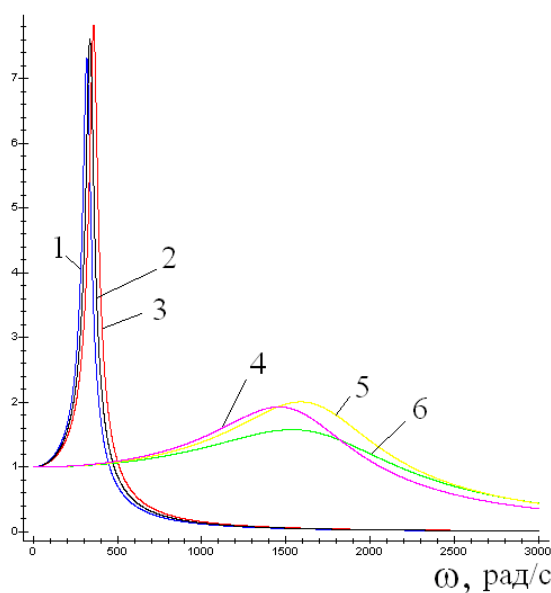


Рис. 2 – Графики $A(\omega)$: 1,2,3 при учете инерции жидкости; 4,5,6 - без учета инерции жидкости; 1,6 – Д16Т, 2,4 – латунь, 3,6 – сталь

Представленные на рис. 2 расчеты АЧХ позволили сделать вывод, что изменение материала верхнего слоя, контактирующего с жидкостью, существенно не влияет на значения резонансных частот и соответствующих им амплитуд колебаний. С другой стороны, учет инерции движения жидкости приводит к существенному сдвигу резонансных частот в низкочастотную область и изменению амплитуд колебаний.

Список литературы

1. *Carrera E.* Historical review of zig-zag theories for multilayered plates and shells // *Appl. Mech. Rev.* -2003. -Vol. 56(3). -P. 287-308.
2. *Birman V., Kardomateas G.A.* Review of current trends in research and applications of sandwich structures // *Composites Part B: Engineering.* -2018. -Vol. 142. -P. 221-240.
3. Горшков А.Г., Старовойтов Э.И., Яровая А.В. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций. М.: Физматлит, 2005.
4. *Amabili M., Kwak M.K.* Free vibrations of circular plates coupled with liquids: revising the Lamb problem // *Journal of Fluids and Structures.* -1996. -Vol.10. -No 7. -Pp.743-761.
5. Попов В.С., Попова А.А. Моделирование гидроупругих колебаний стенки канала, имеющей нелинейно-упругую опору // *Компьютерные исследования и моделирование.* -2022. -Т. 14. - № 1. -С. 79-92.
7. *Mogilevich L.I., Popov V.S., Popova A.A.* Interaction dynamics of pulsating viscous liquid with the walls of the conduit on an elastic foundation // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability.* -2017. -Vol. 46. -№ 1. -Pp. 12-19.
8. Попов В.С., Попова А.А. Моделирование взаимодействия стенки канала с упругозакрепленным торцевым уплотнением // *Компьютерные исследования и моделирование.* -2020. -Т. 12. -№ 2. -С. 387-400.
9. *Kondratov D.V., Popov V.S., Mogilevich L.I., Popova A.A.* Hydroelastic vibrations of circular sandwich plate under inertial excitation // *Advanced Structured Materials.* -2021. -Vol. 157. - Pp. 227-242.
10. *Grushenkova E.D., Mogilevich L.I., Popov V.S., Khristoforova A.V.* Mathematical model of oscillations of a three-layered channel wall possessing a compressible core and interacting with a pulsating viscous liquid layer // *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering.* -2019. -№ 6 (129). -Pp. 4-18.
11. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. -М.: Дрофа, 2003.
12. *Van Dyke M.* Perturbation methods in fluid mechanics. -Stanford: Parabolic Press, 1975

1.2.2.

**Р.М. Хусаинов канд. техн. наук, Д.Д. Сафин,
С.М. Петров канд. техн. наук, Ф.Ф. Насыбуллин, Т.В. Сидорова**

Набережночелнинский институт
Казанского Федерального Университета,
кафедра конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств,
Набережные Челны, rmh@inbox.ru

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТАНКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ

В данной работе авторы предлагают метод обеспечения достоверности расчетной модели, предназначенной для исследования динамических процессов в технологических системах обработки резанием. Обоснована методика проведения экспериментального исследования для идентификации расчетной модели по собственным частотам. Предлагается способ корректировки 3D модели с целью обеспечения соответствия динамической картины, протекающей при резании, экспериментальным процессам.

Ключевые слова: *виброакустический анализ, конечно-элементная модель, собственные частоты, виброустойчивость.*

Введение

При обработке резанием на металлорежущих станках важное значение имеет обеспечение виброустойчивости [1,2]. В настоящее время виброустойчивость при резании может быть проверена и обеспечена с применением цифровых моделей [3]. Для этого необходимо выполнить идентификацию такой модели - проверить адекватность реализуемых процессов, и при необходимости подстроить ее [4]. В данной работе предлагается метод идентификации математической модели динамической системы на основе экспериментального измерения и анализа виброакустических сигналов при фрезеровании. Результаты анализа сравниваются с результатами CAE-расчета 3D модели.

1. Расчетное определение собственных частот динамической системы

Одним из наиболее известных в данный период методов решения исследовательских задач по обеспечению виброустойчивости технологических систем является конечно-элементное моделирование и анализ в системах САПР. На основе подготовленной конечно-элементной модели выполняется ее решение. В данной работе был применен решатель NX Nastran с типом решения 103 «Действительные собственные значения». В результате были получены следующие значения собственных частот: 251.201 Гц; 513.413 Гц; 571.67 Гц; 671.968 Гц; 705.779 Гц; 717.287 Гц.

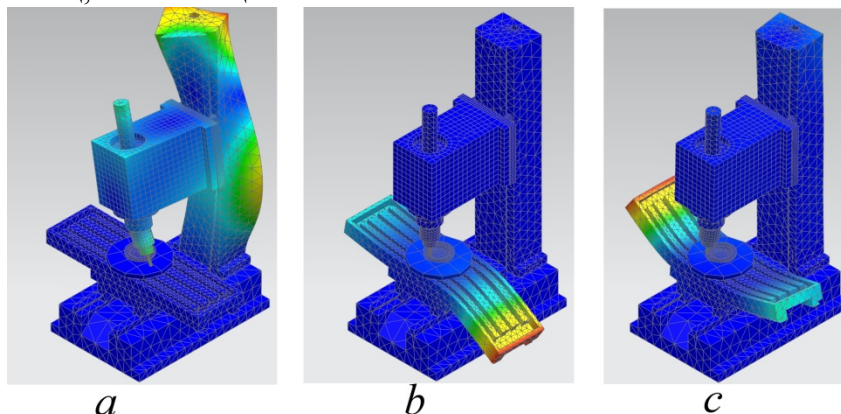


Рис. 1 – а) Форма 2, собственная частота - 513.413 Гц;
б) Форма 3, собственная частота - 571.67 Гц; в) Форма 6, собственная частота - 705.779 Гц.

Как видно из рисунка 1, каждая собственная частота определяется свойствами того или иного компонента технологической системы. Такая конечно-элементная модель может быть применена для решения различных задач по проблемам виброустойчивости технологических систем, однако предварительно необходимо проверить достоверность этой модели. Проверка адекватности разработанной расчетной модели состоит в том, что необходимо экспериментальным путем определить собственные частоты технологической системы и проверить их соответствие расчетным частотам.

2. Экспериментальное определение собственных частот технологической системы

В данной работе был использован виброакустический анализ, заключающийся в том, что были проанализированы шумы, возникающие при обработке заготовки на станке. Источниками шумов являются механические колебания, и частоты акустических сигналов соответствуют частотам механических колебаний.

Для определения собственных частот экспериментальным путем была проведена серия опытов, в каждом из которых было выполнено фрезерование заготовки с разной скоростью резания и с разной скоростью подачи. Это позволяет в каждом опыте возбудить резонансные колебания на разных собственных частотах.

Для оценки достоверности опытов были использованы сравнение дисперсий по критерию Фишера, а также в качестве верифицирующего метода – метод сравнения средних, связанный с критерием Стьюдента. Расчетные значения критериев получились меньше табличных значений, следовательно, условия воспроизводимости опытов выполняются.

Во всех опытах были определены частоты, на которых наблюдаются наибольшие значения амплитуд сигналов. Исходя из предположений, что наибольшие амплитуды возникают при резонансных режимах, то есть при совпадении собственных частот с возмущающими частотами, можно сделать вывод о том, что частоты, на которых наблюдаются наибольшие значения амплитуд, являются собственными частотами.

Таблица 1 – Сравнение экспериментальных и расчетных собственных частот.

Расчетные частоты	251	513	571	671	705,7	717
Экспериментальные частоты	249,98	517,01	567,2	670,66	708,7	716,66

3. Корректировка расчетной модели

Некоторые собственные частоты, полученные по расчетной модели и с помощью экспериментальной, не совпадают. Как видно из таблицы 1, наиболее сильные расхождения наблюдаются в парах частот 513-517,01 Гц; 571-567,2 Гц; 705-708,7 Гц.

Как видно из рис. 1, форма колебаний на 513 Гц определяется крутильными колебаниями стойки. Поэтому, чтобы привести расчетную частоту 513 Гц к экспериментальной частоте 517,01 Гц, необходимо повысить жесткость стойки, причем именно на кручение. Из механических свойств материала на крутильные колебания влияет коэффициент Пуассона. После изменений и пересчетов, было найдено значение этого коэффициента, при котором значение данной собственной частоты достигло 518,175 Гц.

Формы колебаний на частотах 571 и 705,7 Гц определяются изгибными колебаниями стола. Сложность задачи здесь состоит в том, что первую частоту надо снизить, а вторую – повысить. Как известно, на собственные частоты разнонаправленно влияют массовые характеристики и характеристики жесткости элемента. Массовые характеристики в NX определяются плотностью материала. Частота 705,7 Гц определяется изгибными колебаниями стола, поэтому она определяется модулем Юнга. Исходя из вышеизложенного, было принято решение частоту 571 Гц уменьшать за счет увеличения плотности материала, а частоту 705,7 Гц повышать за счет увеличения модуля Юнга. После одновременных изменений этих величин и пересчетов были получены частоты 569 Гц и 707,263 Гц соответственно.

4. Применение скорректированной модели

После корректировки механических параметров материалов компонентов, конечно-элементная модель корректно симулирует динамическое поведение исследуемой системы, по крайней мере, в области выявления резонансных режимов. Поэтому, с применением данной

модели появилась возможность решать производственные задачи, в которых ограничением выступает виброустойчивость [5].

Одной из задач производства является подбор оптимальных режимов резания при черновой обработке заготовок. При частотном анализе в NX CAE было проверено отсутствие совпадения собственных частот динамической системы с возмущающими частотами, вызванными дисбалансом инструментальной системы в шпинделе и частотой следования импульсов в приводе подачи. Условию отсутствия резонансов соответствуют следующие режимы резания: скорость резания 24 м/мин; частота вращения фрезы $n=637$ об/мин; подача на зуб 0,03 мм/зуб; минутная подача 76 м/мин.

Таблица 2 – Среднеквадратичные значения амплитуд.

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
Резонансная частота, Гц	249,98	517,01	567,2	670,66	708,7	708,7	716,66	316,7
Среднеквадратичное значение амплитуды, дБ	75,8	53,73	50,1	58,6	49,8	61,3	39,6	27,1
Производительность резания, мм ³ /мин	60,24	123,12	137,04	161,04	169,2	169,392	172,08	76

Был выполнен эксперимент в условиях, аналогичных приведённым выше. Остальные опыты проводились с такими режимами резания, которые обеспечивали бы резонанс с одной из собственных частот. Результаты эксперимента представлены в таблице 2. Опыт с оптимальными режимами резания, без резонансов – под номером 8.

По сравнительным результатам опытов следует вывод, что режимы резания выбраны оптимальными по виброустойчивости, а по производительности превосходят опыт №1 с гораздо большим значением амплитуды.

Заключение

Предлагаемый в статье метод предназначен для корректировки цифровой модели технологической системы. Скорректированная расчётная модель позволяет решать различные задачи, связанные с обеспечением виброустойчивости в процессе конструкторско-технологической подготовке производства, что позволяет минимизировать риски и простои в производственном процессе [6].

Список литературы

1. Кудинов В.А. Динамика станков. Москва: Машиностроение, 1967 -359 с.
2. Горин Е.Ю., Кряжев А.Ю., Татаркин Е.Ю. Повышение виброустойчивости процесса торцового фрезерования, Ползуновский вестник. 2015. № 2. С. 43-48.
3. Балабанов И.П., Пономарева В.Д., Романова А.О. Искусственный интеллект в системах автоматизированного производства: на примерах объектов машиностроения. Курск: Университетская книга, 2021 – 536 с.
4. Гавариева К.Н., Гавариев Р.В., Савин И.А. Модель экспертной системы идентификации технологического процесса горячей объемной штамповки в режиме реального времени // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2021. Т. 77. № 4. С. 38-43.
5. Рябов Е.А., Емельянов Д.В. Повышение стойкости сферического участка концевых радиусных фрез за счёт разработки конструктивного исполнения с постоянными параметрами режущего клина. Курск: Университетская книга, 2020 – 256 с.
6. Фокин И.В., Говорков А.С., Янчук Т.Л. Формализованный метод построения маршрута изготовления изделия машиностроения // Наука. Технологии. Инновации. Сборник научных трудов в 9 ч. под ред. Гадюкиной А.В., Новосибирск, 2020. С. 441-448.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ — 2.3.1.****2.3.1.****В.В. Афанасьев, Р.Р. Раупов**

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
Институт радиоэлектроники, фотоники и цифровых технологий,
Кафедра электронных и квантовых средств передачи информации,
Казань, nsdx@yandex.ru, ivans8585@mail.ru

**ФОРМИРОВАТЕЛИ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ
НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМОЙ МНОГОЛЕПЕСТКОВОЙ СИСТЕМЫ SPROTTA
С ДИНАМИЧЕСКИМ ХАОСОМ**

Разработаны средства моделирования и схемной реализации формирователей псевдослучайных сигналов на основе управляемой многолепестковой системы SprottA. Обоснован выбор управляющего параметра системы для обеспечения хаотического режима с требуемым числом лепестков-спиралей при проектировании систем конфиденциальной связи на основе динамического хаоса. Получены оценки статистических характеристик и определены пик-факторы псевдослучайных сигналов, формируемых управляемой многолепестковой системой SprottA.

Ключевые слова: *псевдослучайный сигнал, многолепестковая система SprottA, динамический хаос.*

Применение эффектов динамического хаоса перспективно в современных системах конфиденциальной передачи информации [1]. Использование псевдослучайных сигналов в системах радиоэлектронной и оптической связи позволяет повысить защищенность и скрытность передаваемой информации [2].

Наиболее эффективно построение формирователей многомерных псевдослучайных сигналов на основе управляемых многолепестковых нелинейных систем с хаотической динамикой [3]. В настоящее время достаточно подробно исследованы формирователи на базе многолепестковых систем Чуа и Jerk [4], менее детально - формирователи на базе multi-scroll системы SprottA [5].

Цель работы – моделирование, схемная реализация и исследование характеристик формирователей псевдослучайных сигналов на основе управляемой многолепестковой дискретно-нелинейной системы SprottA.

Многолепестковая система SprottA описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений [5]:

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -x + y \cdot z - a \cdot f(x) \\ \dot{z} = 1 - y^2, \end{cases} \quad (1)$$

где x, y, z – переменные системы; a – параметр; $f(x) = \sin(2\pi bx)$.

В работе исследовано влияние вариации параметров многолепестковой системы SprottA на её режимы. Для выявления особенностей дискретно-нелинейной многолепестковой системы SprottA, проводилось численное решение системы (1) методом Рунге-Кутты с изменяемой величиной относительного шага временной дискретизации h , нормированного к периоду квазирезонансных колебаний в системе [6].

Установлено, что хаотический режим наблюдается при выборе управляющего параметра a в диапазоне: $4 \leq a \leq 40$. Проведен анализ изменения видов фазового портрета системы SprottA при изменении управляющего параметра a , и вариации величины относительного шага временной дискретизации h . Установлено, что управляющий параметр a определяет количество спиралей в фазовом портрете системы и выбирается около 6.3 для генерирования

В работе исследованы статистические характеристики компонент 3-D сигналов X, Y, Z, формируемых на основе управляемой многолепестковой системы SprottA с хаотической динамикой, при вариации параметров системы. Получены оценки типовых значений математического ожидания M, дисперсии D и пик-фактора (PF, Дб) псевдослучайных сигналов исследуемой многолепестковой системы, для характерных значений управляющего параметра a (Таблица 1).

Таблица 1 – Статистические характеристики сигналов многолепестковой системы SprottA

Параметр	Сигнал X			Сигнал Y			Сигнал Z		
a	M	D	PF	M	D	PF	M	D	PF
6.3	0.007	0.54	7.8	0.006	0.9	9.1	0.01	0.4	7.8
7.8	0.15	0.75	8.6	0.1	0.97	8.7	0.016	0.7	9.2
8.2	0.2	1.2	8.7	0.05	0.98	10.6	0.18	1.1	7.2
12.6	-0.1	1.1	6.1	-0.01	1.1	9.5	0.02	1.2	5.8
12.8	-0.12	0.77	5.8	-0.01	0.9	10.3	0.18	1.3	6.1

Снижение пик-фактора формируемых псевдослучайных сигналов повышает энергетическую эффективность передающей аппаратуры прямохаотических систем связи на эффектах динамического хаоса. Установлено, что при формировании псевдослучайных сигналов на базе многолепестковой системы SprottA, наименьшее значением пик-фактора (5.8дБ) имеют сигналы компонента X при значении управляющего параметра $a = 12.8$ и компонента Z при значении $a = 12.6$.

Таким образом:

- разработаны средства моделирования и схемной реализации формирователей псевдослучайных сигналов на основе управляемой многолепестковой системы SprottA, установлено, что хаотический режим наблюдается при выборе управляющего параметра в диапазоне: $4 \leq a \leq 40$;

- обоснован выбор управляющего параметра в зависимости от требуемого количества лепестков-спиралей в фазовом портрете многолепестковой системы SprottA при проектировании систем конфиденциальной связи, показано, что для обеспечения 5-ти лепестков-спиралей, рекомендуется выбор $a = (8.1 \dots 8.2)$ при величине нормированного шага временной дискретизации $h = (0.05 \dots 0.15)$;

- получены оценки статистических характеристик и величин пик-факторов псевдослучайных 3-D сигналов управляемой дискретно-нелинейной многолепестковой системы SprottA, установлено, что наименьшим значением пик-фактора обладают компоненты X при управляющем параметре $a = 12.8$ и компонента Z при $a = 12.6$.

Список литературы

1. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. - М.: Изд-во Физматлит, 2002. – 252 с.
2. Wang N., Li C., Bao H., Chen M., Bao B. Generating multi-scroll Chua's attractors via simplified piecewise-linear Chua's diode // IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap. 66-I (12), 2019, pp. 4767-4779.
3. Chunxia L., Jie Y., Xiangchun X., Limin A., Yan Q., Youngqing F. Research on the multi-scroll chaos generation based on Jerk Mode // Procedia Engineering 29, 2012, pp. 957-961.
4. Раунов Р.Р., Афанасьев В.В. Шумовая маскировка фазовой манипуляции сигналами многолепестковых дискретно-нелинейных Jerk систем // Научно-технический вестник Поволжья, №4, Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2022. – с.111-113.
5. Xiaoyu Hu, Chongxin Liu, Ling Liu, Junkang Ni, Shilei Li. Multi-scroll hidden attractors in improved SprottA system // Nonlinear Dynamics, Vol. 86, No. 3, 2006, pp. 1725-1734.
6. Раунов Р.Р., Афанасьев В.В. Формирователи маскирующих псевдослучайных сигналов многолепестковыми дискретно-нелинейными системами // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы Всероссийской научно-технической конференции; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва. – Самара, 2021. - С.68-69.

2.3.1.

¹А.С. Бондарчук, ²В.Г. Зарубский, ³А.А. Башарин

¹Пермский институт ФСИН России,
факультет внебюджетного образования,
кафедра социально-гуманитарных и профессиональных дисциплин,
Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации,
факультет инженерного обеспечения,
²кафедра инженерно-технических средств охраны,
³кафедра инженерного обеспечения служебно-боевой деятельности
войск национальной гвардии Российской Федерации,
Пермь, znvipour@mail.ru, volen3030@rambler.ru, alex.basharin1987@mail.ru

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ОСОБОЙ ВАЖНОСТИ

В статье рассмотрена методика формирования множества рациональных вариантов построения технических средств обнаружения нарушителя для обеспечения безопасности объектов особой важности. Методика строится на использовании системного анализа, в котором выделяется теория эффективности, как основа для количественной оценки альтернативных систем. В основе предлагаемой методики лежит двухэтапное усечение сгенерированного множества технических средств обнаружения по соответствию тактико-техническим и экономическим ограничениям.

Ключевые слова: эффективность, технические средства обнаружения, объекты особой важности, имитационное моделирование.

Надежная защита важных государственных объектов, объектов жизнеобеспечения и объектов повышенной опасности сохраняет свою актуальность, что обусловлено сложной геополитической обстановкой в мире, определяющей вероятность воздействия на данные объекты силами диверсионно-разведывательных групп вероятного противника, а так же сохранением высокой вероятности осуществления террористических актов на них. Кроме этого сохраняется высокий уровень имущественных преступлений, наносящих существенный ущерб экономике и национальным интересам государства.

В связи с этим возникает задача повышения эффективности охраны данных объектов и прилегающих к ним территорий.

Эффективность охраны объектов в общем случае есть качественное понятие, отражающее важнейшее свойство системы защиты периметра объекта – ее соответствие тем целям, для достижения которых она создана [1].

Количественное выражение эффективности характеризует способность системы защиты периметра выполнять поставленную перед ней задачу. Именно потому эффективность является важнейшим свойством системы защиты периметра. В свою очередь, эффективность функционирования системы защиты периметра объектов зависит от условий ее применения и обуславливается совокупностью свойств подсистем, входящих в систему. К таким подсистемам, в частности, можно отнести технические средства охраны (ТСО).

Выбор вариантов применения ТСО, основанных на различных физических принципах, может быть обеспечен, исходя из наивысшей эффективности системы защиты периметра объектов в широком диапазоне условий ее применения.

Эта задача может решаться на основе моделирования процесса функционирования ТСО, оценки и сравнения прорабатываемых вариантов.

Следовательно, задача формирования рациональных вариантов построения ТСО ставится, как задача оптимального синтеза.

Для сложных систем, к которым относятся ТСО, применение классического экспериментального метода исследования путем проведения натурных экспериментов становится практически невозможным.

Поэтому в качестве основного метода исследования технических средств обнаружения применяется метод имитационного моделирования, основанный на использовании системного анализа, в котором выделяется теория эффективности, как основа для количественной оценки альтернативных систем [2].

Таким образом, не отходя, от сути, вышеприведенных подходов выбора и применения ТСО предлагается следующая методика формирования различных вариантов построения ТСО, основанных на различных физических принципах.

На первом этапе методики определяется комплекс тактико-технических требований к различным типам ТСО:

$$Y = \{y_k\}, k = \overline{1, K}, \quad (1)$$

где K – число предъявляемых в комплексе требований для каждого конкретного сценария применения ТСО.

На втором этапе производится экономическая оценка вариантов построения технических средств обнаружения, в результате которой определяются информационные пары $c_j x_{ij}$, где c_j – стоимость элемента технических средств обнаружения j -го типа i -го варианта построения; x_{ij} – число основных элементов j -го типа, входящих в состав i -го варианта построения [2].

Сумма всех информационных пар для конкретного технического решения будет являться оценкой экономических затрат на реализацию сгенерированной структуры x_i :

$$C_i = C(X_i) = \sum_{j=1}^J c_j x_{ij} \quad (2)$$

где J – число рассматриваемых типов ТСО.

Таким образом, исходной будет информация о предъявляемых к генерируемым структурам тактико-технических требований и экономическая оценка затрат на достижение тех или иных конструктивных решений.

Для генерации рациональных вариантов различных типов технических средств обнаружения на основе их информационно-измерительных моделей в методике производится унификация в виде конструктивно-функциональных моделей (рис. 1).

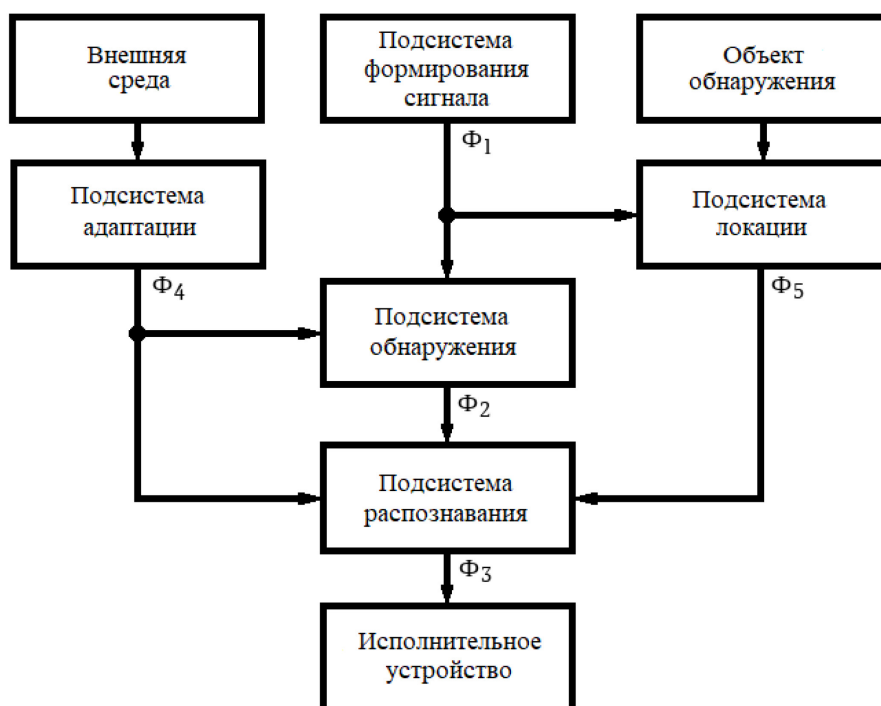


Рис. 1 – Конструктивно-функциональная модель технических средств обнаружения

Унификация необходима для обеспечения возможности сравнения разных по конструкции, составу и характеристикам ТСО.

Далее на основе конструктивно-функциональных моделей строится обобщенная информационно-измерительная модель технических средств обнаружения, включающая основные подсистемы.

Каждая подсистема этой модели обеспечивает выполнение какой-либо функции, являющейся для нее основной.

Таким образом, в результате анализа известных технических средств обнаружения и декомпозиции их на функциональные подсистемы согласно обобщенной информационно-измерительной модели формируется морфологическое множество вариантов исполнения функциональных подсистем технических средств обнаружения (табл. 1):

$$X_0: X_0 = \{x_{0j}\}, j = \overline{1, J} \quad (3)$$

где: x_{0j} – число элементов j -го типа, входящих в полный состав технических средств обнаружения; J – число типов элементов технических средств обнаружения.

Таблица 1 – Варианты исполнения функциональных подсистем технических средств обнаружения

Функция подсистемы	Обобщенная функциональная подсистема	Способы реализации обобщенной функциональной подсистемы						Число реализаций
Φ_1 – адаптация	Подсистема адаптации	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	$K_1 = 6$
Φ_2 – обнаружение	Чувствительный элемент	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	$K_2 = 6$
Φ_3 – распознавание	Подсистема распознавания	x_{31}	x_{32}	x_{33}	–	–	–	$K_3 = 3$
Φ_4 – оповещение	Подсистема оповещения	x_{41}	x_{42}	x_{43}	x_{44}	x_{45}	x_{46}	$K_4 = 6$
Φ_5 – определение положения (локация)	Подсистема локации	x_{51}	x_{52}	x_{53}	x_{54}	x_{55}	x_{56}	$K_5 = 6$

Способ реализации обобщенной функциональной подсистемы имеет вид входной карты (табл. 1), в которой указываются количественные и качественные характеристики варианта реализации, его входные и выходные величины.

Следует отметить, что каждая из обобщенных функциональных подсистем имеет несколько характеризующих классификационных признаков, которые могут быть реализованы одним или несколькими способами.

Следовательно, при обосновании рациональных вариантов построения технических средств обнаружения для заданных условий применения среди вариантов реализации классификационных признаков в каждой строке таблицы осуществляется выбор рациональных всевозможных решений.

При этом для отбрасывания нерациональных вариантов технических решений в каждой строке таблицы указываются несовместимые (4) и взаимозаменяемые (5) элементы – варианты реализации конструктивных признаков:

$$x_{41} \wedge x_{42} \wedge x_{54}; x_{21} \wedge x_{43} \wedge x_{64} \quad (4)$$

$$x_{11} \vee x_{12} \vee x_{13}; x_{22} \vee x_{23} \vee x_{24} \quad (5)$$

После составления морфологического множества и заполнения его вариантами реализации производится генерация множества вариантов построения технических средств обнаружения, отвечающих критерию – возможности построения.

Для выбора наиболее рациональных необходимо определить критерии и оценить варианты исполнения классификационных признаков.

Критерии минимальных экономических затрат на реализацию и соответствие сгенерированного варианта (2) построения технических средств обнаружения комплексу

тактико-технических требований (1) можно представить в следующем виде:

$$X = \operatorname{argmin} C(X_i), \text{ при } F_i : X_i \rightarrow Y_i, Y_i \leq Y, X_i \sqsubseteq X_0, \quad i = \overline{1, I}, \quad (6)$$

где: X_i – i -й вариант построения образца технических средств обнаружения; X_0 – полный состав технических средств обнаружения, определенный требованиями.

При этом из функциональных подсистем, входящих в морфологическую базу данных, может быть сгенерировано I ($i = \overline{1, I}$) допустимых вариантов построения технических средств обнаружения, соответствующих заданным условиям применения

$$X_i : X_i = \{x_{ij}\}, \quad x_i \sqsubseteq x_0. \quad (7)$$

Из рассмотренной методики следует (рис. 1), что сгенерированное множество подвергается двухэтапному усечению по критерию соответствия предъявляемому комплексу тактико-технических требований (этап 1) и экономическому обоснованию вариантов построения (этап 2).

При несоответствии параметров функциональных подсистем структура считается неоптимальной и исключается из дальнейшего рассмотрения.

При этом этап 2 выполняется одним из рекомендуемых методов:

- если задана агрегированная стоимость $C(X)_{\text{зад}}$ сгенерированных вариантов построения, то производится отсев вариантов по критерию (6);
- если агрегированная стоимость $C(X)_{\text{зад}}$ не определена, то варианты ранжируются по их стоимости C_i .

Следует отметить, что усеченное множество вариантов построения структуры технических средств обнаружения будет включать только рациональные технические решения за счет отсева заведомо неоптимальных структур [3, 4].

Вместе с тем, имеются такие типовые структуры, которые лежат в основе любого варианта. Эти варианты имеют существенное значение для математического описания операции, производимой в функциональной подсистеме согласно обобщенной информационно-измерительной модели. В этом случае формирование множества рациональных вариантов построения ТСО можно осуществить выбором из множества возможных вариантов элементного состава существующей и новых поколений структуры ТСО, то есть совокупности лучших (оптимальных) вариантов на основе принципа выбора и обоснования приоритетных альтернатив [5]. Лучшие (оптимальные) альтернативы элементного состава структуры ТСО выбираются из представленного к выбору исходного множества альтернатив.

Таким образом, приведенная методика обоснования рациональных вариантов построения технических средств обнаружения позволяет выявить закономерности воздействия и оценить влияние количественных и качественных параметров на структуру системы обнаружения и осуществить более аргументированное обоснование выбора решения.

В частности, наряду с другими известными методиками, представленная методика позволяет упростить задачу принятия решений при выборе структуры технических средств обнаружения для заданных условий применения за счет обоснованного двухэтапного усечения множества возможных вариантов построения технических средств обнаружения исходя из снижения затрат на принятие решений и увеличения диапазона рассматриваемых рациональных вариантов построения.

Список литературы

1. Бондарчук А.С., Зарубский В.Г. Автоматизированные системы принятия решений для системы охраны объектов особой важности и повышенной опасности. Современные наукоемкие технологии. 2019. № 11-2. С. 253-257.
2. Астахов А.Д. Методика военно-экономического обоснования принимаемых решений / А. Д. Астахов. – М.: ВИА, 2005.
3. Подиновский В.В. Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений / В. В. Подиновский. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
4. Андрейчиков А.В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2001.
5. Бондарчук А.С., Зарубский В.Г. Алгоритм решения задачи обоснования рациональной структуры и параметров системы охраны и обороны объектов различной категории. Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 11. С. 195-198.

2.3.1.

Т.И. Воронина, С.Ю. Шмигирилов

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
Кафедра 604 «Системный анализ и управление»,
Москва, vti482012@mail.ru, sovietserga@gmail.com

**СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ
РАСПОРЯДИТЕЛЬНЫХ И ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ДОКУМЕНТОВ**

В работе представлена методология построения системы электронного документооборота (СЭД), обработки информации научно – технических лабораторий и прототип программно-математического модуля (ПММ) для систематизации данных и удобного пользовательского интерфейса предлагаемой системы.

Разработанная система функционирует на сервере, позволяя пользователям локальной сети получить доступ к хранящимся в базе данным и информации.

В качестве примера для отработки системы были выбраны несколько файлов научной лаборатории кафедры №604 московского авиационного института.

Ключевые слова: *система электронного документооборота, база данных, сервер, программно-математический модуль.*

Введение. Системы электронного документооборота представляют собой взаимосвязанную структуру организационного, технического и программного обеспечения для управления различными видами документов и информацией.

Управление документацией, информацией, различного рода данными и записями, является одним из сложных процессов в работе организации.

Электронные системы документооборота дают возможность автоматизировать этот процесс, что помогает организации значительно повысить скорость работы, сократить потери, связанные с информационным обменом, и повысить качество системы управления в целом.

Цель работы: разработка программно-математического модуля в рамках предлагаемой системы электронного документооборота для управления классификацией данных на средних предприятиях, в научно – технических лабораториях с перспективой модификации ядра модуля для использования искусственного интеллекта.

На первом этапе работы сформирована структура и логика работы программы.

Программа представляет собой веб-клиент с движком на базе MySQL server, которая физически располагается на одном из удаленных ПК, под управлением Windows. Для добавления новых проектов, файлов, задач и мероприятий в программе используется разделение доступов по ролям (имеется возможность добавить неограниченное количество ролей, в зависимости от типа доступа и секретности). Также описана разработка интерфейса веб клиента и базы данных.

Второй этап работы представляет собой особую часть веб клиента, которая включает в себя электронную библиотеку документов и файлов.

Дополнительно в библиотеке реализован поиск документов и составлена структурная логика работы библиотеки.

При создании системы электронного документооборота актуальной задачей является классификация документов по тематике.

Использование искусственного интеллекта облегчает поиск документов при соответствующей классификации объектов.

Состав ПМО. Разработанное ПО является средством управления корпоративным контентом или цифровыми документами.

Управление цифровыми документами и корпоративным содержимым в общем виде предполагает следующие компоненты:

- управление документами — экспорт, импорт, контроль версий, безопасность и службы библиотек для деловых и научных документов;
- управление образами документов — захват, преобразование и управление бумажными документами;
- управление записями — долгосрочное архивирование, автоматизация политик хранения и соответствия нормам регулирующих органов, обеспечение соответствия законодательным и отраслевым нормам;
- управление потоками работ — поддержка бизнес-процессов, передача содержимого по маршрутам, назначение рабочих задач и состояний, создание журналов аудита;
- управление веб-контентом — автоматизация роли веб-мастера, управление динамическим контентом и взаимодействием пользователей;
- управление мультимедиа-контентом — управление файлами мультимедиа, различными рекламными материалами;
- управление знаниями — поддержка систем для накопления и доставки подходящей для бизнеса и научных исследований информации;
- документоориентированное взаимодействие — совместное использование документов пользователями и поддержка проектных команд. [1]

Структура пользовательского интерфейса подразумевает разделение прав доступа по следующим правилам:

- возможность влияния на структуру в целом и практически неограниченный доступ к данным от лица администратора сайта системы;
- возможность редактирования состава и основной информации по проектам сотрудниками с административными и управленческими функциями;
- возможность чтения, создания, записи и редактирования документации внутри одного или нескольких проектов операторами и инженерным составом компании;
- возможность только чтения файлов без их редактирования пользователями из числа потребителей данного ПМО или стажирующихся сотрудников.

Нужно отметить, что для пользователей одного из документов возможности по редактированию или отображению других документов в структуре ПО могут быть ограничены. Следовательно, каждый пользователь ПО может получать доступ к настраиваемой под него иерархии файловой системы и доступ к её редактированию, исходя из должностных полномочий сотрудника или нужд потребителя. [2]

На странице доступа к рабочему пространству после авторизации пользователь может выбрать несколько основных каталогов системы, например: «Архив документов», «Библиотека документов» и «Список сотрудников».

В свою очередь в библиотеке документов открываются еще пять каталогов, разбитых по направлениям.

При переходе по одному из направлений разворачивается список с входящими в него подразделами, а также имеется возможность переключения между основными приоритетами для портфеля направления в верхнем левом углу открывшегося окна веб-приложения. [3]

При переходе в один из документов направления открывается окно с общей информацией и файлы в трёх форматах: PDF, Word, Excel. Указаны расширение, создатель и дата создания, а также имеется доступ к загрузке, скачиванию или удалению каждого из представленных файлов. [4]

Установка программного обеспечения проводилась в 7 этапов:

1. Разработка руководства для подготовки сервера и локальной сети.
2. Настройка серверной части, локальной сети а также служб, необходимых для полноценного функционирования ПО.

3. Установка базы данных на сервер а также фреймворка и Диспетчера IIS.[5]
4. Установка всех файлов и первичная настройка сервера.
5. Настройка локальной сети для доступа со всех ПК, имеющих доступ к ПО.
6. Загрузка архива проекта и электронной библиотеки.
7. Запуск интерфейсной части для работы сотрудников с ПО.

Функциями системы разделения прав доступа в разработанном приложении являются:

- реализация ПРД субъектов и их процессов к данным;
- реализация ПРД субъектов и их процессов к устройствам создания твёрдых копий;
- изоляция программ процесса, выполняемого в интересах субъекта, от других субъектов;
- управление потоками данных с целью предотвращения записи данных на носители несоответствующего грифа.

Вышеуказанный список предусматривает наличие обеспечивающих средств для системы разграничения доступа, которые выполняют следующие функции:

- идентификацию и опознание (аутентификацию) субъектов и поддержание привязки субъекта к процессу, выполняемому для субъекта;
- регистрацию действий субъекта и его процесса;
- предоставление возможностей исключения и включения новых субъектов и объектов доступа, а также изменение полномочий субъектов;
- реакцию на попытки несанкционированного доступа, например, сигнализацию, блокировку, восстановление после несанкционированного доступа;
- тестирование;
- очистку оперативной памяти и рабочих областей на магнитных носителях после завершения работы пользователя с защищаемыми данными;
- учёт выходных печатных и графических форм и твёрдых копий в автоматизированной системе;
- контроль целостности программной и информационной части как СРД - система разграничения доступа, так и обеспечивающих её средств. [6]

Права изменять ПРД должны предоставляться выделенным субъектам (администрации, службе безопасности и т. д.).

Заключение

Разработана и подробно описана методология и структура системы электронного документооборота и обработки информации научно – технических лабораторий.

Разработан прототип программно-математического модуля для систематизации данных и удобного пользовательского интерфейса предлагаемой системы;

Разработано и протестировано веб приложение для графической визуализации и систематизации информации о работе научной лаборатории кафедры №604 МАИ

Реализованы такие функции как: регистрация и восстановление паролей пользователей, управление правами пользователей, возможность добавления и скачивания необходимых файлов, систематизация данных и учёт данных в электронной библиотеке.

Принятые сокращения: СЭД – система электронного документооборота; ПК- персональный компьютер; ПМО- программно математическое обеспечение; ПММ – программно математический модуль; ПО – программное обеспечение; ПРД- правила разграничения доступа; СРД – система разграничения доступа

Список литературы

1. Бобронников В.Т., Пельтихин А.В. Прикладные задачи оценивания скачкообразных марковских и полумарковских случайных процессов. Препринт. – М.: МАИ, 1989.
2. Малышев В.В., Карп К.А., Федоров А.В. Автоматизация решения вероятностных задач. – М.: Изд-во МАИ, 1995.
3. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: Высшая школа, 1989.
4. Соати Т., Кернс К. Аналитическое планирование организации систем. –М.: Радио и связь, 1991.
5. Бобылева М.П., Управленческий документооборот: от бумажного к электронному. Вопросы теории и практики. 2-е Издание. 2015.
6. Ильина Т.Н., Логинова А.Ю., Романов Д.А. Правда об электронном документообороте, Москва, ДМК, 2008 год, 224 стр.

2.3.1.

А.Г. Жорняк, Т.А. Морозова, В.П. Наумченко

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
Кафедра 604 «Системный анализ и управление»,
Москва, Zhornyak604mai@mail.ru, morozova_ta_66@mail.ru, 8987nau@mail.ru

**РАЗРАБОТКА ВИЗУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА
В ПРОГРАММАХ ДЛЯ НАУЧНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ
НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON.
ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ВИЗУАЛЬНОГО
ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА**

Статья посвящена задаче разработки визуального пользовательского интерфейса в программах для научных и инженерных вычислений на языке программирования Python. В первой части статьи описываются общие принципы функционирования визуального пользовательского интерфейса в Python, а также рассмотрены специализированные библиотеки Tkinter, WxPython, PyQt, PyGTK, предназначенные для разработки визуального пользовательского интерфейса в программах на языке программирования Python.

Ключевые слова: язык программирования Python, язык программирования Tcl, визуальный пользовательский интерфейс программы, библиотека PyQt, библиотека TKinter, библиотека WxPython, библиотека PyGTK.

Рассматриваемый в статье язык программирования – один из наиболее популярных языков, которые применяются для решения научных и инженерных задач. Для Python создано множество дополнительных специализированных программных библиотек, которые предназначены для обработки и анализа больших массивов данных, а также для научных и инженерных вычислений [1].

Программное обеспечение, написанное на языке Python, по способу организации взаимодействия с пользователем делится на два типа:

1. Программное обеспечение с интерфейсом консольного типа. Такой интерфейс обозначается аббревиатурой CLI (Command Line Interface).

Программное обеспечение с интерфейсом консольного типа – это программы, с которыми пользователь взаимодействует через текстовый терминал или интерфейс командной строки. На сегодняшний день такой подход считается уже устаревшим, хотя при решении некоторых прикладных задач и при начальных этапах обучения языкам программирования остаются востребованными.

2. Программное обеспечение с визуальным пользовательским интерфейсом. Такой тип интерфейса обозначается с использованием аббревиатуры GUI (Graphical User Interface). В основе создания визуального пользовательского интерфейса в программе лежит идея о том, что весь доступный пользователю функционал программы можно представить в виде набора графических компонентов экрана, управление которыми будет осуществляться в первую очередь с использованием компьютерной мыши, а клавиатура будет использоваться только для ввода текстовых и числовых данных. На сегодняшний день подавляющее большинство проектов программного обеспечения, используемого в задачах научных и инженерных вычислений, имеют визуальный пользовательский интерфейс.

Визуальный пользовательский интерфейс программы может состоять из множества разных компонентов. В качестве примера таких компонент приведем несколько наиболее часто используемых в программах:

1. Окно программы или визуальная форма программы (Form) – является основным компонентом визуального пользовательского интерфейса и используется для расположения остальных визуальных элементов пользовательского интерфейса программы. В состав визуального пользовательского интерфейса программы может входить одна или несколько визуальных форм.

2. Кнопка (Button) обычно используется для начала выполнения действия, такого как сохранение, редактирование, запуск, остановка некоторых действий в визуальном пользовательском интерфейсе, которые происходят по нажатию указателем компьютерной мыши.

3. Надпись (Label) представляет собой текстовую надпись на визуальной форме программы и используется для предоставления пользователю текстовой информации.

4. Окно однострочного ввода–вывода (Edit) используется для ввода пользователем текстовых данных и цифр в программу или для вывода текстовых данных и цифр программой для предоставления пользователю.

5. Окно многострочного ввода–вывода (Memo) используется для текстового вывода многострочных текстовых и числовых данных программой для предоставления пользователю.

6. Чекбокс (CheckBox) используется для предоставления пользователю выбора какой–то опции в программе с вариантами выбора “да” или “нет”. Имеет вид выставляемой галочки в малом квадратном окне.

7. Комбобокс (ComboBox) используется для предоставления пользователю выбора одного из множества заранее подготовленных входных данных в программе. Имеет вид выпадающего списка с несколькими вариантами значений для выбора пользователем одного из них.

8. Таблица (Grid) служит для предоставления пользователю информации в табличном виде.

9. Полоса прокрутки (Scrollbar) используется для перемещения по данным в компонентах типа таблица (grid) или окно многострочного ввода–вывода (memo) в случае, если выведенная в них информация превышает выбранные размеры этих компонент в программе.

10. График (Graph) используется для предоставления пользователю программы данных в виде графиков или диаграмм.

11. Изображение (Image) – это еще один популярный компонент, который используется для отображения некоторых изображений в визуальном пользовательском интерфейсе программы.

Несмотря на разнообразие программных библиотек для создания визуального пользовательского интерфейса программы в различных языках программирования, в том числе и в Python, все они подчиняются общей концепции построения приложений на основе событий. Так при осуществлении пользователем программы любого действия с одним из компонент визуального пользовательского интерфейса программы происходит специальное событие, описывающее данное действие пользователя с указанным компонентом визуального пользовательского интерфейса, и далее это событие обрабатывается программой. С каждым событием в программе связана определенная функция в коде программы, выполняющая запрограммированные действия. На обработку события программой затрачивается некоторое количество времени. После этого событие сбрасывается, и программа находится в режиме ожидания следующего события. При появлении новых событий в программе они помещаются в очередь обработки событий, их обработка в порядке поступления начнется после завершения обработки текущего события. Таким образом, процесс функционирования программы с визуальным пользовательским интерфейсом описывается очередью событий, которые происходят при использовании пользователем отдельных компонент визуального интерфейса и затем обрабатываются программой.

Язык программирования Python, также как и большинство современных языков программирования, поддерживает создание программ с визуальным пользовательским интерфейсом. Для разработки визуального пользовательского интерфейса в Python существует ряд встроенных или сторонних специализированных библиотек, а именно:

1. Библиотека Tkinter
2. Библиотека wxPython
3. Библиотека PyGTK
4. Библиотека PyQt.

Рассмотрим их подробнее:

1. Библиотека Tkinter – является достаточно простой программной библиотекой, предназначенной для разработки визуального пользовательского интерфейса в программах на языке Python [2]. Библиотека Tkinter входит в набор стандартных библиотек языка Python и не требует дополнительной установки. Она основана на кроссплатформенной событийно-ориентированной библиотеке базовых компонент визуального пользовательского интерфейса Tk и языке программирования Tcl.

Tcl является специализированным скриптовым языком программирования. Язык Tcl может использоваться сам по себе как язык программирования общего назначения, но чаще всего он встраивается в программу в качестве механизма сценариев или используется совместно с компонентами библиотеки Tk [3].

Tk – это библиотека базовых элементов визуального пользовательского интерфейса. Изначально библиотека Tk была разработана как графическое расширение для языка программирования Tcl – библиотека Tk использует очередь событий Tcl для создания и обработки событий компонент визуального пользовательского интерфейса. Также библиотека компонент Tk может использоваться такими языками программирования, как C++, Perl, Python, Ruby.

Связка библиотеки Tk и языка Tcl, которая часто обозначается как Tk/Tcl, доступна в большинстве операционных систем Linux и Unix, а также в macOS и в Windows.

2. Библиотека wxPython – также является программной библиотекой, предназначенной для разработки визуального пользовательского интерфейса в программах на языке Python [4]. Библиотека WxPython позволяет программистам Python создавать программы с простым, функциональным и надежным визуальным пользовательским интерфейсом.

Интерфейс библиотеки WxPython реализуется в виде набора модулей расширения для языка программирования Python, основанных на визуальных компонентах популярной кроссплатформенной библиотеки wxWidgets, исходный код которой написан на языке C++. В настоящее время библиотека WxPython поддерживает работу в таких операционных системах, как Windows, macOS, а также Linux и Unix.

3. Библиотека PyGTK – программная библиотека, которая также предназначена для разработки визуального пользовательского интерфейса в программах на языке Python [5]. Библиотека PyGTK основана на кроссплатформенной объектно-ориентированной библиотеке базовых элементов интерфейса GTK+, исходный код которой, так же, как и в случае с wxWidgets, написан на языке C++.

4. Библиотека PyQt – это набор модулей среды разработки Qt, предназначенных для использования в программах на языке программирования Python [6]. В том числе, в состав библиотеки PyQt входит программа QtDesigner, предназначенная для разработки визуального пользовательского интерфейса, а также большой набор стандартных элементов визуального пользовательского интерфейса. Сама среда разработки Qt, модули которой лежат в основе библиотеки PyQt, является мощной многофункциональной и популярной средой разработки на языке C++.

Таким образом, наличие визуального пользовательского интерфейса дает существенные преимущества в функциональности программы по сравнению интерфейсом консольного типа, такие как простота и удобство управления программой, и информативность предоставляемых пользователю результатов работы программы. Библиотеки Tkinter, PyQt,

WxPython и их применение в разработке визуального пользовательского интерфейса в программах для научных и инженерных вычислений на языке Python будут подробно рассмотрены в следующих частях статьи.

Список литературы

1. 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.
2. Документация библиотеки Tkinter на сайте языка программирования Python [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://docs.python.org/library/tkinter.html> (дата обращения 17.10.2022).
3. Официальный сайт языка программирования Tcl [Электронный ресурс] Режим доступа <http://www.tcl.tk/> (дата обращения 17.10.2022)
4. Официальный сайт библиотеки WxPython [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://wxpython.org/> (дата обращения 15.10.2022).
5. Официальный сайт библиотеки PyGTK [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://pygobject.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения 15.10.2022).
6. Официальный сайт библиотеки PyQt [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://riverbankcomputing.com/software/pyqt/intro> (дата обращения 15.10.2022).

2.3.1.

**Н.С. Захаров д-р техн. наук, В.В. Попцов канд. техн. наук,
Н.О. Сапоженков канд. техн. наук**

Тюменский индустриальный университет,
Институт Транспорта,
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
Тюмень, satm_tsogu@mail.ru

**КОРРЕКТИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ
ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ СЕДЕЛЬНЫХ ТЯГАЧЕЙ**

Процессы добычи нефти и газа неразрывно связаны с автомобильным транспортом. Простои основного производства из-за отказов техники ведут к потере прибыли, в связи с чем необходимость их предупреждения и оперативного устранения является неотъемлемым критерием обеспечения рентабельности и высокой добавочной стоимости нефтегазодобычи. Безопасность эксплуатации автомобилей в процессах обеспечения строительных объектов нефтегазодобывающей отрасли непосредственно зависит от технического состояния, поэтому исследования надёжности тормозной системы седельных тягачей актуальны.

Ключевые слова: Надёжность, тормозная система, безопасность, условия эксплуатации, наработка, фактические отказы, техническое обслуживание, ремонт.

Результаты обработки статистических данных об отказах транспортных и транспортно-технологических машин на автотранспортных предприятиях с высокой интенсивностью эксплуатации позволяют сформировать перечень наиболее уязвимых деталей дополнительный контроль либо превентивная замены которых позволяет повысить надёжность используемой техники и снизить затраты от простоев в текущем ремонте (ТР), размер которых на предприятиях нефтегазодобывающей отрасли несопоставим с потенциальной упущенной выгодой при срыве технологических процессов, имеющих на сегодняшний день стратегическое значение. С практической точки зрения полученные данные могут быть использованы для оптимизации методов поддержания работоспособности в рамках планово-предупредительной системы технического обслуживания (ТО) и ТР. Экспериментальные исследования на примере седельных тягачей семейства МАЗ-МАН 6420 подтверждают снижение ресурса заменённых в рамках ТР тормозных камер, что может быть связано с низким качеством ремонтных деталей, нарушением технологии замены, неисправностью полуприцепов и рядом других факторов [1–4].

Для оценки надёжности был проведён АВС-анализ номенклатуры запасных частей, использованных в ходе ТО и ТР, поэтому весь перечень заменённых деталей на грузовых автомобилях МАЗ-МАН 6420 с 2013 по 2020 год в рамках ТО и Р сводился в единую таблицу для распределения наиболее часто выходящих из строя деталей по степени влияния на эксплуатационную надёжность. Установлено, что доля запасных частей для ремонта имеет устойчивое распределение по группам А, В и С. При этом группу А формирует довольно обширный перечень, включающий 371 деталь, из которых возглавляет список деталь «Камера тормозная 5336-3519200», являющаяся наиболее часто заменяемым и критичным элементом тормозной системы седельных тягачей, влияющим на безопасность эксплуатации при одиночном использовании и в составе автопоезда.

Тормозная камера с энергоаккумулятором предназначена для создания усилия в тормозных механизмах колесных автотранспортных средств и прицепов, использующихся в приводе тормозных систем с рабочим давлением сжатого воздуха до 0,8 МПа. Тормозные камеры с пружинными энергоаккумуляторами используются для приведения в действие тормозных механизмов колес заднего и среднего мостов седельных тягачей при включении рабочей, стояночной и запасной тормозных систем.

На следующем этапе исследований установлена наработка на отказ тормозной камеры на основе анализа 247 отказов 95 автомобилей с фиксацией наработки в километрах и временных промежутков календарного года. Предварительный анализ влияния сезонной компоненты на расход запасных частей для ремонта тормозных камер показал, что отказы детали возникают неравномерно в течение года и не подчиняются устойчивой зависимости с ярко выраженной графоаналитической тенденцией изменения. Очевидно, что сезонные условия влияют на все режимы работы седельных тягачей, но выявить закономерность по построенному графику не представляется возможным, что требует применения гармонического анализа либо кратного увеличения выборки исследуемых автомобилей (Рис. 1).

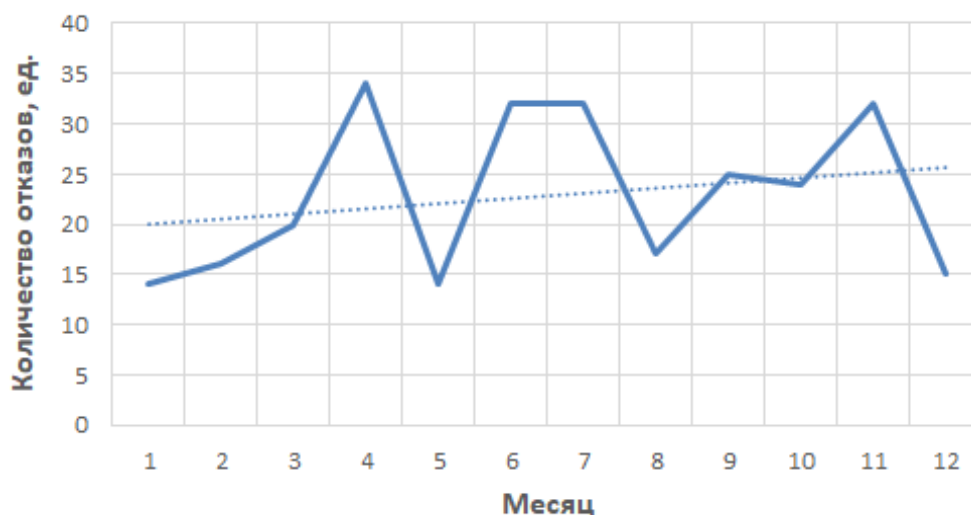


Рис. 1 – Распределение отказов тормозной камеры МАЗ-МАН 6420 в течение года

Поэтому далее был проведён расчёт оптимальной периодичности ТО по методу допустимого уровня безотказности (Рис.2).

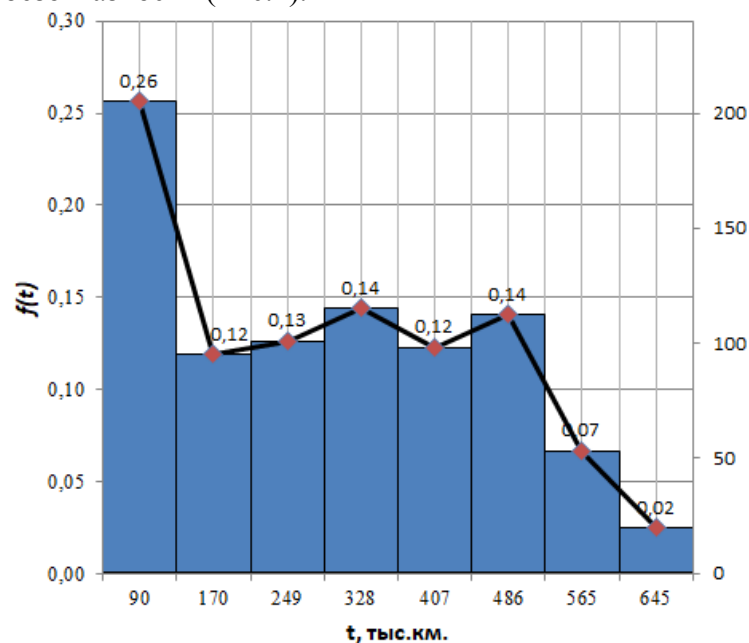


Рис. 2 – Гистограмма распределения плотности вероятности отказа тормозной камеры в зависимости от наработки t : $f(t)$ – функция плотности вероятности отказа;
 t – наработка, тыс. км

По полученным результатам среднегодовой пробег седельных тягачей составил 63,66 тыс. км. Отклонения пробега от указанной величины свидетельствуют об отличиях в интенсивности эксплуатации, связанных с особенностями выполняемой транспортной работы, временем простоя под погрузкой/разгрузкой в зависимости от типа перевозимого груза и размера ремонтного или строительного объекта, а также количества смен, так как в

случаях производственной необходимости часть грузовых автомобилей могут эксплуатироваться круглосуточно с перерывами на заправку и смену водителей. Учитывая то, что отказ – это случайное событие, связанное с утратой работоспособности и отсутствием возможности выполнения транспортной работы, эквивалентная продолжительность устранения отказа по трудоёмкости будет соответствовать стоимости машино-часа в результате простоя либо внепланового использования аналогичных, задействованных в других технологических процессах по ремонту и строительству, поэтому потенциальный экономический эффект от внедрения результатов исследования образуется за счёт оптимизации состава перечня работ в рамках планового ТО, что позволяет эффективно предупреждать возникновение отказов при разумных затратах на операции контроля технического состояния. Затраты Z_{TP} на устранение отказа тормозной камеры формируются из стоимости машино-часа и нормативной продолжительности устранения:

$$Z_{TP} = C_{м.ч.} \cdot N_{TP} \quad (1)$$

где $C_{м.ч.}$ – стоимость машино-часа, руб;

N_{TP} – трудоёмкость ремонта, норм.-час.

Завод-изготовитель устанавливает периодичность превентивной замены деталей, влияющих на безопасность эксплуатации. Вместе с тем, необходимость корректирования периодичности замены тормозных камер для седельных тягачей не имеет строгого ограничения по наработке в километрах или времени, поэтому осуществляется после подтверждённых результатов диагностики или по факту наступления отказа в зависимости от принятой на предприятии стратегии обеспечения работоспособности. Проведённые исследования показали, что второй и последующий отказы исследуемой детали происходят со значительно меньшей наработкой, что может быть вызвано недостаточным качеством изготовления заменяемых деталей либо нарушением технологии установки. Полученные результаты также свидетельствуют о том, что наработка на отказ ремонтных тормозных камер значительно меньше в сравнении с аналогичными, но установленными на заводе-изготовителе с соблюдением технологии производства и контроля качества в условиях конвейерной сборки, поэтому предложенная методика оптимизации перечня операций в составе работ по ТО может быть корректно использована только для уже заменённых деталей.

Таким образом, оптимизация состава перечня работ по ТО заключается в корректировании перечня операций для контроля технического состояния в соответствии с предупредительной тактикой в рамках стратегии обеспечения работоспособности. Для этого с установленной в работе периодичностью рекомендуется осуществлять дополнительную проверку тормозных камер и осуществлять замену в рамках регламентных работ по ТО в случае несоответствия рабочих параметров заявленным в нормативно-технической документации, что позволяет повысить безопасность эксплуатации и снизить потери от простоев седельных тягачей в процессах обеспечения строительных объектов нефтегазодобывающей отрасли

Список литературы

1. Конев В.В. Оптимизация тепловой подготовки гидропривода строительно-дорожных машин [Текст] / В. В. Конев, Ш. М. Мерданов // Материалы ННПК.: Нефть и газ: технологии и инновации. – 2020. – С. 194–196.
2. Сапоженков Н.О. Влияние уровня заряженности аккумуляторной батареи на пуск двигателя легковых автомобилей в зимний период [Текст] / Н.О. Сапоженков // Материалы МНПК.: Новые технологии – нефтегазовому региону. – 2016. – С. 253–256.
3. Сапоженков Н.О. Методы оценки фактической ёмкости автомобильных аккумуляторных батарей при отрицательных температурах [Текст] / Н. О. Сапоженков // Материалы Международной научно-технической конф.: Новые технологии – нефтегазовому региону. – 2016. – С. 256–260.
4. Сапоженков Н.О. Влияние сезонных условий на работу автомобильных аккумуляторных батарей [Текст] / Н. О. Сапоженков, Н. С. Захаров // В сборнике ПФСТ. – 2013. С. 307–309.

2.3.1.

**Н.С. Захаров д-р техн. наук, В.В. Попцов канд. техн. наук,
Н.О. Сапоженков канд. техн. наук**

Тюменский индустриальный университет,
Институт Транспорта,
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
Тюмень, satm_tsogu@mail.ru

**РАСЧЁТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ
НА ОСНОВЕ ФАКТИЧЕСКИХ ОТКАЗОВ**

Вариация условий и интенсивности эксплуатации вызывает необходимость в совершенствовании технологии технического обслуживания и ремонта на основе статистических данных, что позволяет оптимизировать количество операций в составе регламентированного перечня работ для обеспечения работоспособности и безопасной эксплуатации автотранспортных средств, актуализировать складские остатки путём формирования страховых запасов наиболее востребованных запасных частей при минимизации неликвидных деталей и прогнозировать объёмы работ по техническому обслуживанию и ремонту для исключения простоев из-за образования очередей для устранения внезапных отказов. Дополнительный вклад в увеличение затрат на поддержание работоспособности подвижного состава по мере приращения наработки вносит конструктивная надёжность используемой техники, тип выполняемой транспортной работы и качество технического обслуживания, поэтому исследования надёжности автомобилей на основе фактических отказов актуальны.

Ключевые слова: Надёжность, условия и интенсивность эксплуатации, фактические отказы, техническое обслуживание, ремонт, технология.

Подвижной состав играет ключевую роль при эксплуатации магистральных газопроводов [1–3]. Технологический транспорт задействован в транспортировке персонала и грузов, а также непосредственно в технологических процессах добычи, подготовки и реализации природного газа и газового конденсата, разведки месторождений, а также строительства промышленных объектов. Отказы и неисправности транспортных средств вызывают простои основного производства при снижении рентабельности разработки месторождений и эксплуатации газотранспортной инфраструктуры. Следовательно, обеспечение надёжности транспортных средств при эксплуатации магистральных газопроводов – актуальная проблема. Наиболее распространёнными транспортными средствами для выполнения задач по доставке персонала и мелкопартионных грузов на объекты проведения регламентных и ремонтных работ являются легковые автомобили с полноприводной трансмиссией, поэтому фокус исследований был направлен на анализ надёжности модельного ряда УАЗ-3163 ПАТРИОТ.

На первом этапе был произведен сравнительный анализ затрат на текущий ремонт (ТР) для определения наиболее уязвимых групп деталей, отказы которых приводят к отказам и незапланированным простоям без возможности безопасного выполнения транспортной работы (Рис. 1).

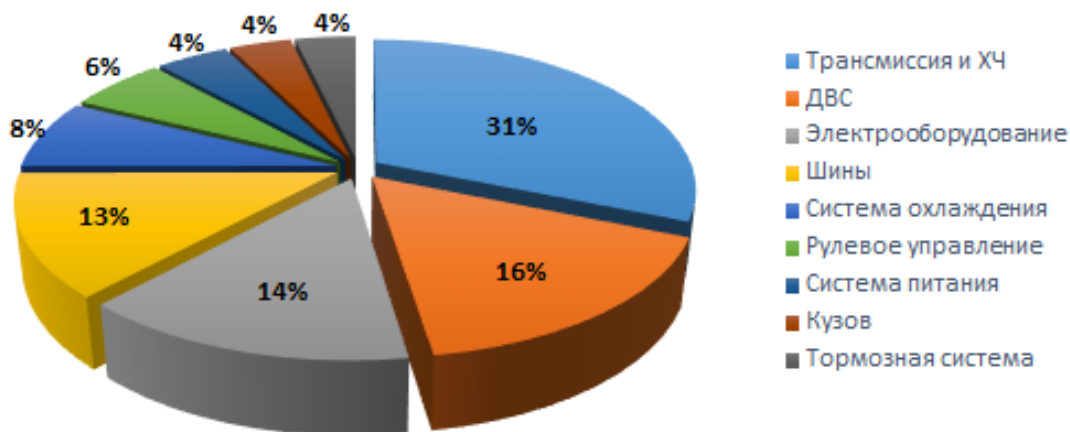


Рис.1 – Распределение затрат на ТР по системам УАЗ-3163 ПАТРИОТ

Из диаграммы следует, что наибольшие затраты приходятся на ТР трансмиссии, ходовой части, двигателя внутреннего сгорания и электрооборудования. Для определения наиболее востребованных запасных частей (ЗЧ) при ТР указанных систем может быть использован ABC-анализ. ABC-анализ – математический метод, распределяющий ресурсы в соответствии с их влиянием на результат деятельности. Основу составляет принцип Парето, где 20% всех товаров определяют 80% оборота. Если рассматривать это правило в контексте ABC-анализа, то правило Парето формулируется следующим образом: управление 20% позиций контролирует 80% системы, вне зависимости от типов запасов сырья и комплектующих, поэтому сгруппированные по степени влияния позиции заменённых ЗЧ категории «А» могут быть рассмотрены в качестве наиболее востребованных с точки зрения анализа причин отказов и приоритета по необходимости повышения надёжности (Рис. 2).

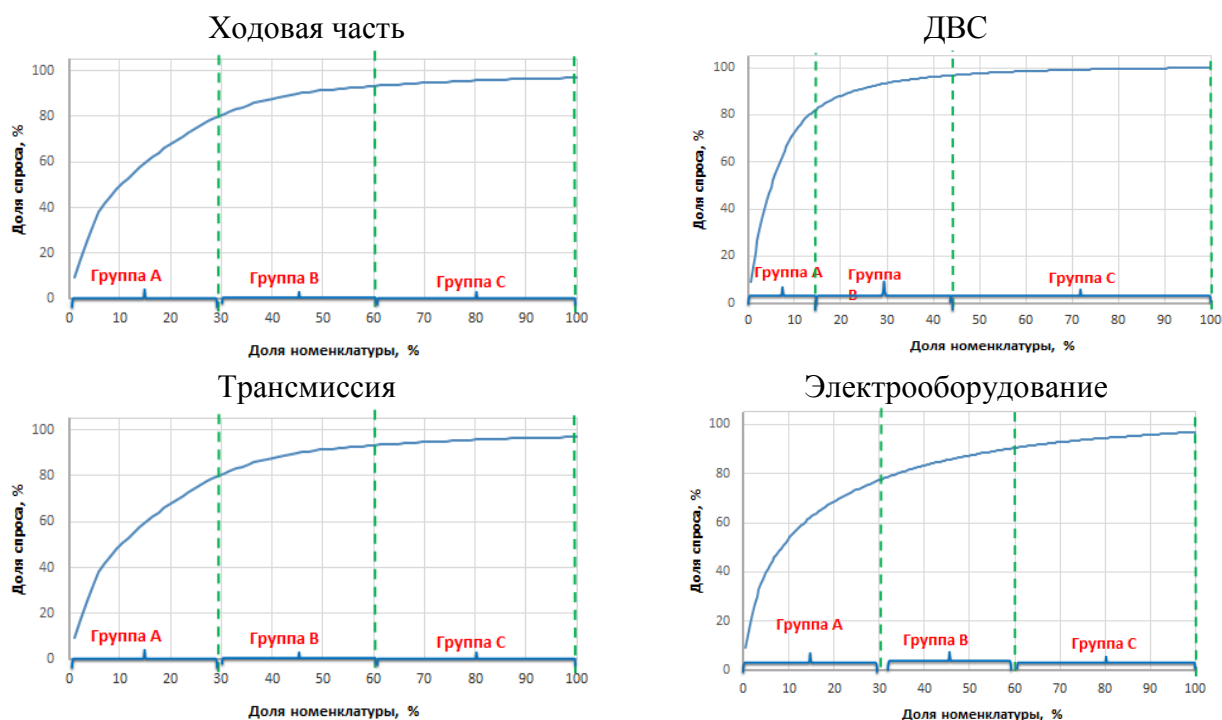


Рис. 2 – ABC-анализ элементов систем УАЗ-3163 ПАТРИОТ

Результаты ABC-анализа показали, что номенклатура группы А значительно варьирует в рассматриваемых группах ЗЧ. Существенный разброс наблюдается в группе ЗЧ по ТР трансмиссии и ходовой части, что объясняется особенностями ремонта при одновременном воздействии условий и интенсивности эксплуатации, т.к. элементы трансмиссии и ходовой части ремонтируются в таких случаях комплексно, что объясняет наибольший вклад данного типа затрат в общие расходы на ТР. Наибольшая консолидация спроса выявлена в ЗЧ для

ремонта ДВС, т.к. большее по сравнению с другими системами количество составных механических элементов и расширенный перечень деталей, требуемых для замены по регламенту при восстановлении работоспособности путём устранения типичных отказов формируют мелкие детали, подлежащие замене по технологии даже в случае их полной сохранности (свечи зажигания, ремни привода, уплотнения и другие резинотехнические изделия). Достаточно высокая консолидация спроса также наблюдается в группе ЗЧ по ТР электрооборудования, где размер номенклатуры А-группы в совокупности не превышает 30%. Наиболее популярные позиции включают в себя АКБ, электромоторы отопителей и генераторы. Учитывая тот факт, что согласно стратегии развития предприятия нефтегазодобывающей отрасли часть техники переводится на сжиженный природный газ (СПГ) и в общей выборке участвуют автомобили с такими установками, анализировать далее группу ЗЧ по ремонту ДВС не совсем корректно, так как влияние СПГ на параметры работы ДВС не вызывает сомнения, но при этом эти автомобили поступили в распоряжение организации относительно недавно, поэтому база статистических данных не позволяет в полной мере оценить степень влияния моторного топлива на надёжность ДВС и не отражает реальной картины, демонстрирующей разницу в эксплуатации между бензиновым ДВС и ДВС на СПГ. Вместе с тем, элементы электрооборудования на обеих комплектациях аналогичны и эксплуатируются в сопоставимых условиях при схожих режимах нагружения и параметрах работы ДВС, трансмиссии, системы охлаждения и пр., поэтому, учитывая влияние этих элементов на работоспособность, безопасность эксплуатации и возможность выполнения транспортной работы дальнейшие исследования предложено произвести на ЗЧ для ТР электрооборудования.

АВС-анализ номенклатуры ЗЧ для ТР электрооборудования показал, что наиболее частым отказом, препятствующим выполнению транспортной работы и характеризующим техническое состояние автомобиля как «неработоспособное» без возможности выполнения транспортной работы является отказ аккумуляторной батареи (АКБ). В этой связи дальнейшие расчёты связаны с анализом наработок на отказ АКБ и определением периодичности её замены или контрольного заряда в зависимости от порядка организации ТО и Р на предприятии.

Методы определения периодичности ТО подразделяются на простейшие, аналитические и имитационные. Характер использования техники при организации эксплуатации магистральных газопроводов в зимний период предполагает непрерывное выполнение транспортной работы, поэтому в качестве основы был выбран метод оценки по допустимому уровню безотказности. Для этого были построены эмпирические графики функции распределения вероятности отказа и безотказной работы АКБ (Рис. 3).

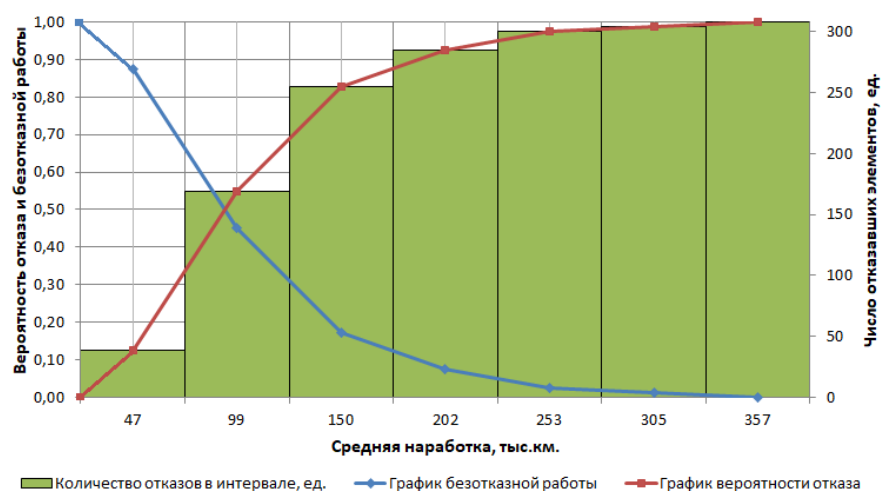


Рис. 3 – Эмпирическая функция распределения вероятности отказа АКБ

Необходимость корректирования периодичности контроля АКБ для автомобилей УАЗ-3163 ПАТРИОТ не имеет строгого ограничения по наработке в километрах или времени, поэтому для оптимизации состава перечня работ по ТО предложено корректировать перечень операций для контроля технического состояния в соответствии с предупредительной тактикой замены в рамках стратегии обеспечения работоспособности. Для этого с установленной в работе периодичностью рекомендуется осуществлять дополнительную проверку детали и осуществлять замену в рамках регламентных работ по ТО в случае несоответствия рабочих параметров заявленным в нормативно-технической документации.

Таким образом, применение полученных результатов позволяет конкретизировать рекомендации заводов-изготовителей о необходимости дополнительного заряда АКБ при недостаточной интенсивности эксплуатации, что способствует повышению ресурса аккумуляторных батарей и снижению затрат на техническое обслуживание и ремонт.

Список литературы

1. *Конев В.В.* Оптимизация тепловой подготовки гидропривода строительно-дорожных машин [Текст] / В. В. Конев, Ш. М. Мерданов // Материалы ННПК.: Нефть и газ: технологии и инновации. – 2020. – С. 194–196.
2. *Сапоженков Н.О.* Влияние уровня заряженности аккумуляторной батареи на пуск двигателя легковых автомобилей в зимний период [Текст] / Н.О. Сапоженков // Материалы МНПК.: Новые технологии – нефтегазовому региону. – 2016. – С. 253–256.
3. *Сапоженков Н.О.* Влияние сезонных условий на работу автомобильных аккумуляторных батарей [Текст] / Н. О. Сапоженков, Н. С. Захаров // В сборнике ПФСТ. – 2013. С. 307–309.

2.3.1.

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

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

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АСТРОНАВИГАЦИИ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА.
ЧАСТЬ I. УВЕЛИЧЕНИЕ ОБЪЁМА ВЫБОРКИ ИЗМЕРЕНИЙ
И КОЛИЧЕСТВА ЗВЁЗД – ОРИЕНТИРОВ**

Исследованы различные варианты повышения точности решения задачи астронавигации геостационарных КА: от увеличения объёма выборки измерений на мерном отрезке и увеличения длительности мерного отрезка, до увеличения количества звёзд, привлекаемых для астронавигации. Показано, что при определённых условиях астроизмерения обеспечивают точность навигации сопоставимую с точностью навигации, которую обеспечивает совместное использование спутниковых радионавигационных систем GPS, ГЛОНАСС, Galileo.

Ключевые слова: *угловые астроизмерения, численное имитационное моделирование, случайные и неопределённые неконтролируемые факторы, рекуррентные алгоритмы оценивания.*

Введение

Анализ точности решения задачи автономной навигации геостационарного КА (ГКА), приведённый в работе [1], выявил неоспоримое преимущество системы автономной навигации (САН), использующей спутниковые навигационные системы (СНС), в сравнении с САН, использующей астроизмерения. Даже несмотря на то, что на геостационарной орбите сигналы от навигационных КА (НКА) принимаются на борту ГКА нерегулярно со значительными (до часа и более) перерывами.

Решение задач автономной навигации ГКА проводилось на основе численного имитационного моделирования (ЧИМ). Результаты ЧИМ были использованы для сравнительной оценки точности систем автономной навигации ГКА с использованием СНС GPS, ГЛОНАСС, Galileo и угловых астроизмерений относительно Солнца и звёзд «Полярная Звезда», «Сириус», «Канопус» [1].

Следующие условия проведения ЧИМ и исходные данные, которые были использованы при моделировании процессов автономной навигации в работах [1 – 3] назовём **базовыми данными (БД)**:

- автономные навигационные измерения искажались смешанными, как случайными, так и неопределёнными в статистическом смысле погрешностями;
- для моделирования на основе СНС использовались измерения дальностей между ГКА и НКА спутниковых навигационных систем GPS, ГЛОНАСС, Galileo;
- амплитуды колебаний неопределённых погрешностей искажающих измерения дальностей принимались равными 90 м;
- средние квадратические отклонения (СКО) шумовых погрешностей измерений дальностей равнялись 1.5 м;
- для автономной навигации на основе астроизмерений использовались четыре угла «Солнце – ГКА – Земля», «Полярная Звезда – ГКА – Земля», «Сириус – ГКА – Земля», «Канопус – ГКА – Земля»;
- амплитуды колебаний неопределённых погрешностей, искажающих угловые астроизмерения, принимались равными 30 угловым секундам;
- СКО шумовых погрешностей угловых астроизмерений равнялись 10 угловым секундам;

- длительность мерного отрезка $T = 86400$ с (1 сутки);
- дискретность процессов автономной навигации $\Delta t = 60$ с (на тех шагах процесса автономной радионавигации, на которых измерений не было, т.е. не было НКА, в зону радиоизлучения которых попадал бы ГКА проводился только прогноз вектора состояния ГКА и его статистических характеристик).

В работах [1 – 3] измерения обрабатывались в масштабе реального времени, рекуррентно, по нарастающей выборке. В соответствии с принятой в работах постановкой задачи автономные навигационные измерения искажались, как случайными, так и неопределёнными в статистическом смысле погрешностями. Учёт смешанных (случайных и неопределённых) погрешностей в измерениях привёл к необходимости использовать в качестве алгоритма оценивания обобщенный рекуррентный байесовский алгоритм оценивания (ОРБА) [1].

Как показали результаты ЧИМ, совместное использование СНС GPS, ГЛОНАСС, Galileo значительно превосходит по точности решения задачи автономной навигации использование астроизмерений [1].

Однако, вывод о неоспоримом преимуществе радионавигационных систем автономной навигации справедлив для принятых в [1 – 3] условий моделирования и его не следует считать окончательным.

В связи с этим цель настоящей работы состоит в получении ответа на вопрос о возможности построения систем автономной навигации с использованием угловых астроизмерений, успешно конкурирующих по точности с радионавигационными САН.

Улучшение точностных характеристик астроизмерений по сравнению с БД при этом не предполагается.

Для достижения поставленной цели требуется определить влияние на точность решения задачи автономной навигации ГКА следующих факторов:

- увеличение объёма выборки измерений на мерном отрезке (уменьшение шага между измерениями);
- увеличение длительности мерного отрезка с одних до двух суток;
- увеличение количества «навигационных звёзд», относительно которых проводятся угловые астроизмерения.

Рассмотрим влияние на точность астронавигации приведенных факторов в указанном порядке.

1. Увеличение объёма выборки астроизмерений на суточном отрезке

В отличие от радионавигационных измерений астроизмерения на геостационарной орбите доступны в любой момент времени (за исключением засветок астроориентиров Луной и Солнцем). Это даёт возможность варьировать дискретность процесса автономной навигации и тем самым регулировать объём выборки астроизмерений на мерном отрезке.

Строго говоря, задача выбора моментов проведения измерений (определение плана измерений) является предметом теории оптимизации наблюдений [4], и должна решаться оптимально. В данной работе будем исходить из простого предположения, состоящего в том, что увеличение объёма выборки измерений на мерном отрезке в некоторых разумных пределах повышает точность решения задачи автономной навигации ГКА.

Пусть:

- $\sigma_{\Delta r}^1, \sigma_{\Delta v}^1$ – СКО ошибок оценок положения и скорости ГКА (см. соотношения (1, 2) в [1]), полученные с использованием СНС на основе БД;
- $\sigma_{\Delta r}^2, \sigma_{\Delta v}^2$ – СКО оценок положения и скорости ГКА, полученные с использованием астроизмерений на основе БД;
- $\sigma_{\Delta r}^3, \sigma_{\Delta v}^3$ – СКО ошибок оценок положения и скорости ГКА, полученные с использованием астроизмерений, соответствующие новым условиям проведения ЧИМ (в данном случае уменьшению шага между измерениями).

В таблицах 1, 2 с учётом введённых обозначений приведены выборочные результаты ЧИМ процесса автономной навигации ГКА на суточном отрезке через каждые 6 часов,

полученные с шагом навигации $\Delta t = 1$ с вместо $\Delta t = 60$ с.

Таблица 1 – Увеличение объема выборки астроизмерений. Утроенные СКО ошибок оценок положения ГКА

$t, \text{ч}$	$3\sigma_{\Delta r}^1, \text{м}$	$3\sigma_{\Delta r}^2, \text{м}$	$3\sigma_{\Delta r}^3, \text{м}$	$3(\sigma_{\Delta r}^2 - \sigma_{\Delta r}^1), \text{м}$	$3(\sigma_{\Delta r}^3 - \sigma_{\Delta r}^1), \text{м}$
0	150000.0	150000.0	150000.0	0	0
6	607.74	19019.84	2391.02	18412.09	1783.28
12	82.4	7570.0	548.13	7487.60	465.73
18	62.03	2873.89	210.31	2811.86	148.28
24	36.7	1671.5	124.70	1634.8	88.0

Таблица 2 – Увеличение объема выборки астроизмерений. Утроенные СКО ошибок оценок скорости ГКА

$t, \text{ч}$	$3\sigma_{\Delta v}^1, \text{м/с}$	$3\sigma_{\Delta v}^2, \text{м/с}$	$3\sigma_{\Delta v}^3, \text{м/с}$	$3(\sigma_{\Delta v}^2 - \sigma_{\Delta v}^1), \text{м/с}$	$3(\sigma_{\Delta v}^3 - \sigma_{\Delta v}^1), \text{м/с}$
0	150.0	150.0	150.0	0	0
6	0.12	0.79	0.10	0.67	-0.02
12	0.0066	0.084	0.015	0.077	0.0084
18	0.0038	0.075	0.0075	0.071	0.0037
24	0.0027	0.058	0.0043	0.055	0.0016

2. Увеличение длительности мерного отрезка

Для демонстрации результатов ЧИМ процессов навигации с увеличением длительности мерного отрезка используем следующие обозначения:

- $\sigma_{\Delta r}^1, \sigma_{\Delta v}^1$ – СКО ошибок оценок положения и скорости ГКА, полученные с использованием СНС на основе БД с увеличением значения T до двух суток;
- $\sigma_{\Delta r}^2, \sigma_{\Delta v}^2$ – СКО оценок положения и скорости ГКА, полученные с использованием астроизмерений на основе БД с увеличением значения T до двух суток;
- $\sigma_{\Delta r}^4, \sigma_{\Delta v}^4$ – СКО оценок положения и скорости ГКА, полученные с использованием астроизмерений на основе БД с увеличением значения T до двух суток и с шагом между измерениями $\Delta t = 1$ с.

В таблицах 3, 4 приведены результаты моделирования процессов астронавигации для астроизмерений, моделируемых с шагом $\Delta t = 1$ с.

Таблица 3 – Увеличение длительности мерного отрезка. Утроенные СКО ошибок оценок положения ГКА

$t, \text{ч}$	$3\sigma_{\Delta r}^1, \text{м}$	$3\sigma_{\Delta r}^2, \text{м}$	$3\sigma_{\Delta r}^4, \text{м}$	$3(\sigma_{\Delta r}^2 - \sigma_{\Delta r}^1), \text{м}$	$3(\sigma_{\Delta r}^4 - \sigma_{\Delta r}^1), \text{м}$
0	150000.0	150000.0	150000.0	0	0
12	82.4	7570.0	548.13	7487.60	465.73
24	36.7	1671.5	124.70	1634.80	88
36	23.43	369.18	47.74	345.75	24.31
48	29.85	397.78	51.42	367.93	21.57

Таблица 4 – Увеличение длительности мерного отрезка. Утроенные СКО ошибок оценок скорости ГКА

$t, \text{ч}$	$3\sigma_{\Delta v}^1, \text{м/с}$	$3\sigma_{\Delta v}^2, \text{м/с}$	$3\sigma_{\Delta v}^4, \text{м/с}$	$3(\sigma_{\Delta v}^2 - \sigma_{\Delta v}^1), \text{м/с}$	$3(\sigma_{\Delta v}^4 - \sigma_{\Delta v}^1), \text{м/с}$
0	150.0	150.0	150.0	0	0
12	0.0066	0.084	0.015	0.077	0.0084
24	0.0027	0.058	0.0043	0.055	0.0016
36	0.0017	0.020	0.0026	0.018	0.00090
48	0.0018	0.020	0.0026	0.018	0.00080

3. Увеличение количества «навигационных звёзд»

Рассмотрим влияние увеличения количества звёзд, используемых для измерений углов «Звезда – ГКА – Земля» [2], на точность астронавигации. Для этого к тем звёздам, которые указаны в БД, добавим еще семь звёзд: Арктур, Альфа Центавра, Вега, Капелла, Ригель, Процион, Альтаир. Координаты звёзд в J2000, взятые из Астрономического ежегодника для проведения численного имитационного моделирования процессов астронавигации, приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Координаты дополнительных звёзд

Звезда	Склонение δ , град	Прямое восхождение α , град
Арктур	19.45	213.35
Альфа Центавра	-60.63	99.05
Вега	38.73	278.80
Капелла	45.95	78.25
Ригель	-7.75	78.025
Процион	5.35	114.175
Альтаир	8.73	297.075

Для демонстрации результатов ЧИМ процесса астронавигации примем здесь следующие обозначения:

- $\sigma_{\Delta r}^1, \sigma_{\Delta v}^1$ – СКО ошибок оценок положения и скорости ГКА (см. соотношения (1, 2) в [1]), полученные с использованием СНС на основе БД;
- $\sigma_{\Delta r}^2, \sigma_{\Delta v}^2$ – СКО оценок положения и скорости ГКА, полученные с использованием астроизмерений на основе БД;
- $\sigma_{\Delta r}^5, \sigma_{\Delta v}^5$ – СКО ошибок оценок положения и скорости ГКА, полученные с использованием астроизмерений, включающих семь дополнительных звёзд на суточном мерном отрезке с шагом между измерениями $\Delta t = 1$ с.

Результаты моделирования приведены в таблицах 6, 7.

Таблица 6 – Астронавигация с дополнительными звёздами. Утроенные СКО ошибок оценок положения ГКА

t , ч	$3\sigma_{\Delta r}^1$, м	$3\sigma_{\Delta r}^2$, м	$3\sigma_{\Delta r}^5$, м	$3(\sigma_{\Delta r}^2 - \sigma_{\Delta r}^1)$, м	$3(\sigma_{\Delta r}^5 - \sigma_{\Delta r}^1)$, м
0	150000.0	150000.0	150000.0	0	0
6	607.74	19019.84	1270.41	18412.09	662.67
12	82.4	7570.0	286.74	7487.60	204.34
18	62.03	2873.89	114.61	2811.86	52.58
24	36.7	1671.5	67.88	1634.8	31.18

Таблица 7 – Астронавигация с дополнительными звёздами. Утроенные СКО ошибок оценок скорости ГКА

t , ч	$3\sigma_{\Delta v}^1$, м/с	$3\sigma_{\Delta v}^2$, м/с	$3\sigma_{\Delta v}^5$, м/с	$3(\sigma_{\Delta v}^2 - \sigma_{\Delta v}^1)$, м/с	$3(\sigma_{\Delta v}^5 - \sigma_{\Delta v}^1)$, м/с
0	150.0	150.0	150.0	0	0
6	0.12	0.79	0.052	0.67	-0.068
12	0.0066	0.084	0.0080	0.077	0.0014
18	0.0038	0.075	0.0041	0.071	0.0003
24	0.0027	0.058	0.0024	0.055	-0.0003

Результаты ЧИМ процессов автономной навигации ГКА с использованием спутниковых измерений дальности ГКА – НКА и астроизмерений отображены также в виде графиков изменения утроенных средних квадратических отклонений ошибок оценок положения и скорости ГКА на рис. 1 – 4.

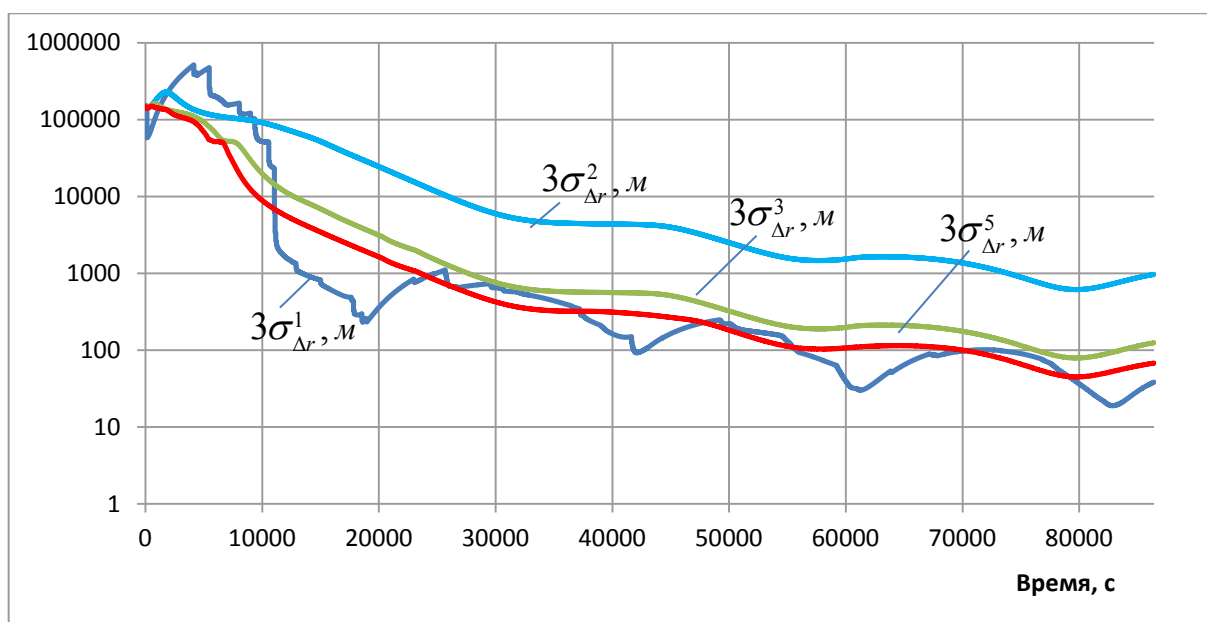


Рис. 1 – Утроенные СКО ошибок оценок положения

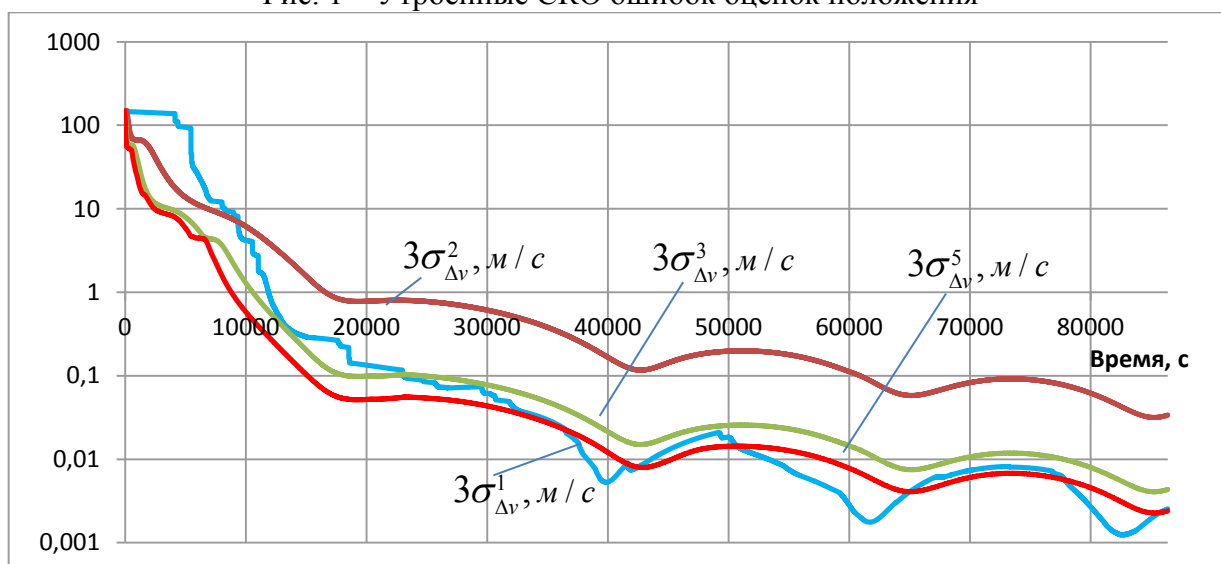


Рис. 2 – Утроенные СКО ошибок оценок скорости

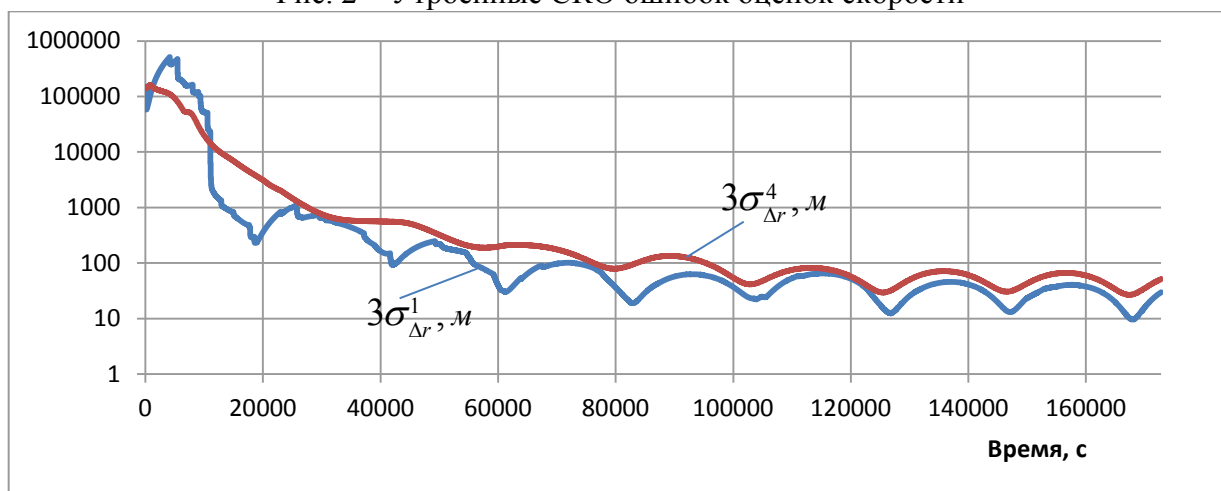


Рис. 3 – Утроенные СКО ошибок оценок положения

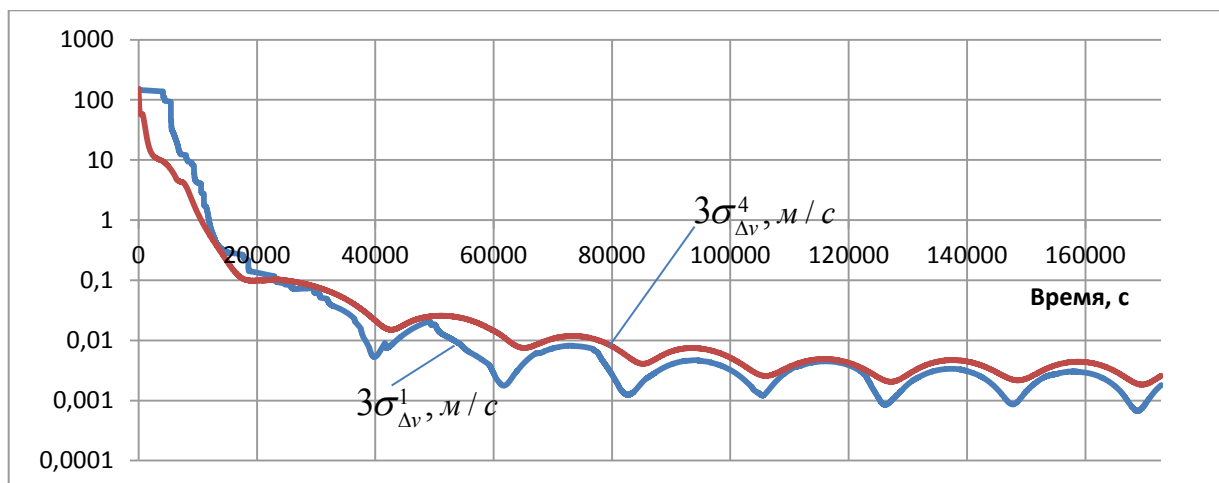


Рис. 4 – Утроенные СКО ошибок оценок скорости

4. Анализ полученных результатов

Прежде всего, следует отметить, что все три из апробированных с помощью ЧИМ подхода к повышению точности астронавигации, а именно:

- увеличение объема выборки астроизмерений на мерном отрезке;
- увеличение длительности мерного отрезка с одних до двух суток;
- увеличение количества «навигационных звезд», взятых в качестве ориентиров,

позволяют повысить, как и следовало ожидать, точность астронавигации без повышения точности самих угловых астроизмерений.

Если ориентироваться на конечную точность астронавигации (в конечный момент), то лучшие результаты даёт второй подход – увеличение длительности мерного отрезка до двух суток в сочетании с уменьшением шага между измерениями до одной секунды (табл. 3, 4, рис. 3, 4). При этом погрешность решения задачи в конце процесса астронавигации превышает погрешность радионавигации менее чем на 22 м по положению и менее чем на 0.9 мм/с по скорости.

При сохранении длительности мерного отрезка, равного $T = 1$ сутки, уменьшение шага между измерениями до $\Delta t = 1$ с (что увеличивает объем выборки измерений в 60 раз по сравнению с БД [1, 2, 3]) погрешность решения задачи в конце процесса астронавигации превышает погрешность радионавигации менее чем на 89 м по положению и менее чем на 1.7 мм/с по скорости (табл. 1, 2, рис. 1, 2).

Увеличение с трёх (БД) [1, 2, 3] до десяти количества «навигационных звезд» при $T = 1$ сутки и $\Delta t = 1$ с погрешность решения задачи в конце процесса астронавигации превышает погрешность радионавигации менее чем на 32 м по положению, а по скорости погрешность астронавигации даже меньше погрешности радионавигации приблизительно на 0.3 мм/с (табл. 6, 7, рис. 1, 2).

В целом предложенные в данной работе подходы позволяют добиться результатов астронавигации, сопоставимых, хотя и незначительно уступающих по точности, результатам радионавигации.

Заключение

Основная цель, поставленная в работе, – исследование возможности построения системы астронавигации ГКА, сопоставимой по точности с системой радионавигации, основанной на совместном использовании СНС GPS, ГЛОНАСС, Galileo. При этом не предполагалось улучшение точностных характеристик астроизмерений по сравнению с принятыми в работах [1, 2, 3].

В рамках данной работы на основе численного имитационного моделирования процессов автономной навигации были апробированы следующие варианты достижения поставленной цели:

- увеличение объёма выборки измерений на мерном отрезке (уменьшение шага Δt между измерениями);
- увеличение длительности мерного отрезка с одних до двух суток;
- увеличение количества «навигационных звёзд», для формирования угловых астроизмерений.

Измерения обрабатывались в масштабе реального времени, рекуррентно, по нарастающей выборке. Схема моделирования и математические модели эволюции вектора состояния ГКА и измерений соответствовали работам [1, 2, 3]. Для решения задачи автономной навигации использовался обобщенный рекуррентный байесовский алгоритм оценивания (ОРБА) [1], сохраняющий работоспособность в условиях искажения измерений смешанными случайными и неопределёнными в статистическом смысле погрешностями.

Из трёх вариантов повышения точности астронавигации увеличение длительности мерного отрезка до двух суток даёт лучшие результаты. При длительности мерного отрезка равного одним суткам более высокую точность обеспечивает вариант с увеличением количества звёзд-ориентиров с трёх до десяти.

В целом исследования, проведённые в рамках данной работы, позволяют положительно ответить на вопрос о возможности построения системы астронавигации, успешно конкурирующей по точности с радионавигационной системой автономной навигации.

Следует, однако, отметить существенный недостаток рассмотренных вариантов повышения точности астронавигации – кратное увеличение объемов вычислительных затрат.

В дальнейшем предполагается развитие намеченного в данной работе направления исследований.

Список литературы

1. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть V. Сравнительный анализ результатов имитационного моделирования процессов навигации с использованием спутниковых навигационных систем и астроизмерений. // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №9. – с. 22–28.
2. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть III. Математические модели процессов навигации с использованием астроизмерений // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №4. – с. 77–82.
3. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть IV. Результаты имитационного моделирования процессов навигации с использованием астроизмерений // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №4. – с. 83–88.
4. Оптимизация наблюдения и управления летательных аппаратов / В. В. Малышев, М. Н. Красильщиков, В. И. Карлов – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.

2.3.1.

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

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

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АСТРОНАВИГАЦИИ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА.
ЧАСТЬ II. ЛУНА – ОРИЕНТИР И КОМБИНИРОВАНИЕ АСТРОИЗМЕРЕНИЙ**

Приведены результаты решения задачи повышения точности астронавигации геостационарных КА. Для решения задачи исследовано влияние на точность астронавигации использование Луны в качестве дополнительного навигационного ориентира и различных комбинаций астроизмерений. Представленная работа может быть интересна разработчикам программно-математического обеспечения систем автономной навигации геостационарных КА.

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

Введение

В данной работе продолжены исследования, связанные с повышением точности астронавигации геостационарных КА (ГКА), начатые в работах [1, 2]. Для оценки значимости результатов, полученных в рамках работы, проведено их сравнение с результатами радионавигации на основе спутниковых навигационных систем (СНС) GPS, ГЛОНАСС, Galileo [3] и астронавигации [2].

Цель работ [1, 2] состояла в получении ответа на вопрос о возможности построения систем астронавигации, пригодных для проведения коррекций орбиты, хотя и уступающих по точности системам радионавигации.

Цель данной работы – проверка возможности построения систем астроориентации, успешно конкурирующих по точности с радионавигационными системами.

При этом рассмотрены варианты повышения точности астронавигации, определяемые включением в состав астроизмерений:

- углов «Луна – ГКА – Земля», «Солнце – ГКА – Луна»;
- углов, образованных ГКА и комбинациями различных звёзд с Солнцем и Луной («Звезда – ГКА – Солнце», «Звезда – ГКА – Луна»).

Улучшение точностных характеристик астроизмерений по сравнению с исходными базовыми данными (БД) [2] не предполагается.

Исследование процессов астронавигации ГКА, также как и в работе [2], проводилось на основе численного имитационного моделирования (ЧИМ) с применением ОРБА (обобщенного рекуррентного байесовского алгоритма оценивания) [4] и математических моделей процессов навигации [1].

Приведём результаты исследований влияния на точность астронавигации новых, отмеченных выше астроизмерений. Для удобства изложения и чтения текста вариантам моделирования процессов автономной навигации присвоены определенные номера.

1. Использование Луны в качестве навигационного ориентира

Определим, какой вклад в повышение точности астронавигации вносит Луна, используемая в качестве навигационного ориентира. Приведём результаты ЧИМ процессов астронавигации с использованием углов «Луна – ГКА – Земля», «Солнце – ГКА – Луна» и их сочетаний. В дополнение к углам «Звезда – ГКА – Земля», «Солнце – ГКА – Земля»,

соответствующим БД [2]. Для сравнения приведём также точность процесса радионавигации [3] и точность астронавигации, достигаемую при использовании десяти звёзд на суточном отрезке с шагом между измерениями, равным одной секунде.

1.1. Результаты моделирования астронавигации с использованием угла «Луна – ГКА - Земля» (вариант ВМ3)

Под первым вариантом моделирования (ВМ1) здесь и далее понимается моделирование процесса радионавигации, реализуемого на основе приема сигналов от КА спутниковых навигационных систем GPS, ГЛОНАСС, Galileo [3]. Под вторым вариантом (ВМ2) – моделирование процесса астронавигации с использованием десяти звёзд и Солнца в качестве ориентиров.

Для демонстрации результатов моделирования введём обозначения:

- $\sigma_{\Delta r}^1, \sigma_{\Delta v}^1$ – средние квадратические отклонения (СКО) ошибок оценок положения и скорости ГКА (см. соотношения (1, 2) в [4]), определённые с использованием СНС на основе БД (ВМ1);
- $\sigma_{\Delta r}^2, \sigma_{\Delta v}^2$ – СКО оценок положения и скорости ГКА, определённые на основе астроизмерений с использованием десяти навигационных звёзд и Солнца (ВМ2);
- $\sigma_{\Delta r}^3, \sigma_{\Delta v}^3$ – СКО ошибок оценок положения и скорости ГКА, определённые с измерением угла «Луна – ГКА - Земля» в дополнение к угловым измерениям, указанным в БД [1, 2] (ВМ3).

Размерность вектора измерений (наблюдений), соответствующего ВМ3, $m = 5$.

В таблицах 1, 2 с учётом введённых обозначений приведены утроенные СКО, соответствующие процессам автономной навигации ГКА, на суточном отрезке с шагом Δt между измерениями, равным одной секунде.

Таблица 1 – Точность процессов радионавигации и астронавигации. Утроенные СКО ошибок оценок положения ГКА

$t, \text{ч}$	$3\sigma_{\Delta r}^1, \text{м}$	$3\sigma_{\Delta r}^2, \text{м}$	$3\sigma_{\Delta r}^3, \text{м}$	$3(\sigma_{\Delta r}^2 - \sigma_{\Delta r}^1), \text{м}$	$3(\sigma_{\Delta r}^3 - \sigma_{\Delta r}^1), \text{м}$
0	150000.0	150000.0	150000.0	0	0
6	607.74	1270.41	1520.22	662.67	912.48
12	82.4	286.74	438.08	204.34	355.68
18	62.03	114.61	172.73	52.58	110.7
24	36.7	67.88	97.35	31.18	60.65

Таблица 2 – Точность процессов радионавигации и астронавигации. Утроенные СКО ошибок оценок скорости ГКА

$t, \text{ч}$	$3\sigma_{\Delta v}^1, \text{м/с}$	$3\sigma_{\Delta v}^2, \text{м/с}$	$3\sigma_{\Delta v}^3, \text{м/с}$	$3(\sigma_{\Delta v}^2 - \sigma_{\Delta v}^1), \text{м/с}$	$3(\sigma_{\Delta v}^3 - \sigma_{\Delta v}^1), \text{м/с}$
0	150.0	150.0	150.0	0	0
6	0.12	0.052	0.061	-0.068	-0.059
12	0.0066	0.0080	0.012	0.0014	0.0054
18	0.0038	0.0041	0.0062	0.0003	0.0024
24	0.0027	0.0024	0.0034	-0.0003	0.0007

1.2. Результаты моделирования с использованием угла «Солнце – ГКА - Луна» (вариант ВМ4)

Добавим к введённым обозначениям два новых:

- $\sigma_{\Delta r}^4, \sigma_{\Delta v}^4$ – СКО ошибок оценок положения и скорости ГКА, определённые с измерением угла «Солнце – ГКА - Луна» в дополнение к угловым измерениям, указанным в БД [1] (с использованием трёх звёзд и Солнца), ВМ4.

Размерность вектора измерений (наблюдений), соответствующего ВМ4, $m = 5$. В таблицах 3, 4 приведены утроенные СКО, соответствующие процессам автономной навигации ГКА, на суточном отрезке с шагом между измерениями, равным одной секунде.

Таблица 3 – Точность процессов радионавигации и астронавигации. Утроенные СКО ошибок оценок положения ГКА

$t, \text{ч}$	$3\sigma_{\Delta r}^1, \text{м}$	$3\sigma_{\Delta r}^2, \text{м}$	$3\sigma_{\Delta r}^4, \text{м}$	$3(\sigma_{\Delta r}^2 - \sigma_{\Delta r}^1), \text{м}$	$3(\sigma_{\Delta r}^4 - \sigma_{\Delta r}^1), \text{м}$
0	150000.0	150000.0	150000.0	0	0
6	607.74	1270.41	1551.82	662.67	944.08
12	82.4	286.74	533.80	204.34	451.4
18	62.03	114.61	209.37	52.58	147.34
24	36.7	67.88	124.56	31.18	87.86

Таблица 4 – Точность процессов радионавигации и астронавигации. Утроенные СКО ошибок оценок скорости ГКА

$t, \text{ч}$	$3\sigma_{\Delta v}^1, \text{м/с}$	$3\sigma_{\Delta v}^2, \text{м/с}$	$3\sigma_{\Delta v}^4, \text{м/с}$	$3(\sigma_{\Delta v}^2 - \sigma_{\Delta v}^1), \text{м/с}$	$3(\sigma_{\Delta v}^4 - \sigma_{\Delta v}^1), \text{м/с}$
0	150.0	150.0	150.0	0	0
6	0.12	0.052	0.065	-0.068	-0.055
12	0.0066	0.0080	0.015	0.0014	0.0084
18	0.0038	0.0041	0.0075	0.0003	0.0037
24	0.0027	0.0024	0.0043	-0.0003	0.0016

1.3. Результаты моделирования с использованием углов «Луна – ГКА - Земля», «Солнце – ГКА - Луна» (вариант ВМ5)

Добавим к ведённым обозначениям два новых:

– $\sigma_{\Delta r}^5, \sigma_{\Delta v}^5$ – СКО ошибок оценок положения и скорости ГКА, определённые с измерением углов «Луна – ГКА - Земля» и «Солнце – ГКА – Луна» в дополнение к угловым измерениям, указанным в БД [1, 2], ВМ5.

Размерность вектора измерений (наблюдений), соответствующего ВМ5, $m = 6$. В таблицах 5, 6 приведены утроенные СКО, соответствующие процессам автономной навигации ГКА на суточном отрезке с шагом между измерениями, равным одной секунде.

Таблица 5 – Точность процессов радионавигации и астронавигации. Утроенные СКО ошибок оценок положения ГКА

$t, \text{ч}$	$3\sigma_{\Delta r}^1, \text{м}$	$3\sigma_{\Delta r}^2, \text{м}$	$3\sigma_{\Delta r}^5, \text{м}$	$3(\sigma_{\Delta r}^2 - \sigma_{\Delta r}^1), \text{м}$	$3(\sigma_{\Delta r}^5 - \sigma_{\Delta r}^1), \text{м}$
0	150000.0	150000.0	150000.0	0	0
6	607.74	1270.41	1231.80	662.67	624.06
12	82.4	286.74	431.14	204.34	348.74
18	62.03	114.61	172.28	52.58	110.25
24	36.7	67.88	97.26	31.18	60.56

Таблица 6 – Точность процессов радионавигации и астронавигации. Утроенные СКО ошибок оценок скорости ГКА

$t, \text{ч}$	$3\sigma_{\Delta v}^1, \text{м/с}$	$3\sigma_{\Delta v}^2, \text{м/с}$	$3\sigma_{\Delta v}^5, \text{м/с}$	$3(\sigma_{\Delta v}^2 - \sigma_{\Delta v}^1), \text{м/с}$	$3(\sigma_{\Delta v}^5 - \sigma_{\Delta v}^1), \text{м/с}$
0	150.0	150.0	150.0	0	0
6	0.12	0.052	0.05	-0.068	-0.07
12	0.0066	0.0080	0.012	0.0014	0.0054
18	0.0038	0.0041	0.0061	0.0003	0.0023
24	0.0027	0.0024	0.0034	-0.0003	0.0007

2. Результаты моделирования с использованием различных комбинаций угловых измерений

Под комбинациями угловых измерений понимаются сочетания следующих углов:

- «Звезда – ГКА – Земля»;
- «Звезда - ГКА - Солнце»;

- «Звезда - ГКА - Луна»;
- «Солнце - ГКА – Земля»;
- «Луна - ГКА - Земля»;
- «Солнце - ГКА - Луна».

Из всех возможных сочетаний рассмотрим наиболее перспективные с точки зрения достигаемой точности астронавигации.

2.1. Углы «Солнце - ГКА – Земля», «Луна - ГКА – Земля», «Солнце - ГКА - Луна» и десять углов «Звезда – ГКА – Земля» (ВМ6)

Добавим к ведённым обозначениям два новых:

- $\sigma_{\Delta r}^6, \sigma_{\Delta v}^6$ – СКО ошибок оценок положения и скорости ГКА, определённые с измерением указанных в заголовке подраздела углов, ВМ6.

Размерность вектора измерений (наблюдений), соответствующего ВМ6, $m = 13$. Результаты моделирования приведены в таблицах 7, 8.

Таблица 7 – Точность процессов радионавигации и астронавигации. Утроенные СКО ошибок оценок положения ГКА

$t, \text{ч}$	$3\sigma_{\Delta r}^1, \text{м}$	$3\sigma_{\Delta r}^2, \text{м}$	$3\sigma_{\Delta r}^6, \text{м}$	$3(\sigma_{\Delta r}^2 - \sigma_{\Delta r}^1), \text{м}$	$3(\sigma_{\Delta r}^6 - \sigma_{\Delta r}^1), \text{м}$
0	150000.0	150000.0	150000.0	0	0
6	607.74	1270.41	925.69	662.67	317.95
12	82.4	286.74	263.57	204.34	181.17
18	62.03	114.61	106.44	52.58	44.41
24	36.7	67.88	62.16	31.18	25.46

Таблица 8 – Точность процессов радионавигации и астронавигации. Утроенные СКО ошибок оценок скорости ГКА

$t, \text{ч}$	$3\sigma_{\Delta v}^1, \text{м/с}$	$3\sigma_{\Delta v}^2, \text{м/с}$	$3\sigma_{\Delta v}^6, \text{м/с}$	$3(\sigma_{\Delta v}^2 - \sigma_{\Delta v}^1), \text{м/с}$	$3(\sigma_{\Delta v}^6 - \sigma_{\Delta v}^1), \text{м/с}$
0	150.0	150.0	150.0	0	0
6	0.12	0.052	0.038	-0.068	-0.082
12	0.0066	0.0080	0.0074	0.0014	0.0008
18	0.0038	0.0041	0.0038	0.0003	0.00
24	0.0027	0.0024	0.0022	-0.0003	-0.0005

2.2. Углы «Солнце - ГКА – Земля», «Луна - ГКА – Земля», «Солнце - ГКА - Луна», десять углов «Звезда – ГКА – Земля» и десять углов «Звезда – ГКА – Луна» (вариант ВМ7)

Добавим к введённым обозначениям два новых:

- $\sigma_{\Delta r}^7, \sigma_{\Delta v}^7$ – СКО ошибок оценок положения и скорости ГКА, определённые с измерением указанных в заголовке подраздела углов.

Размерность вектора измерений (наблюдений), соответствующего варианту ВМ7, $m = 23$. Результаты моделирования приведены в таблицах 9, 10.

Таблица 9 – Точность процессов радионавигации и астронавигации. Утроенные СКО ошибок оценок положения ГКА

$t, \text{ч}$	$3\sigma_{\Delta r}^1, \text{м}$	$3\sigma_{\Delta r}^2, \text{м}$	$3\sigma_{\Delta r}^7, \text{м}$	$3(\sigma_{\Delta r}^2 - \sigma_{\Delta r}^1), \text{м}$	$3(\sigma_{\Delta r}^7 - \sigma_{\Delta r}^1), \text{м}$
0	150000.0	150000.0	150000.0	0	0
6	607.74	1270.41	667.61	662.67	59.87
12	82.4	286.74	253.91	204.34	171.51
18	62.03	114.61	105.87	52.58	43.84
24	36.7	67.88	62.04	31.18	25.34

Таблица 10 – Точность процессов радионавигации и астронавигации. Утроенные СКО ошибок оценок скорости ГКА

$t, \text{ч}$	$3\sigma_{\Delta v}^1, \text{м/с}$	$3\sigma_{\Delta v}^2, \text{м/с}$	$3\sigma_{\Delta v}^7, \text{м/с}$	$3(\sigma_{\Delta v}^2 - \sigma_{\Delta v}^1), \text{м/с}$	$3(\sigma_{\Delta v}^7 - \sigma_{\Delta v}^1), \text{м/с}$
0	150.0	150.0	150.0	0	0
6	0.12	0.052	0.027	-0.068	-0.093
12	0.0066	0.0080	0.0072	0.0014	0.0006
18	0.0038	0.0041	0.0038	0.0003	0.00
24	0.0027	0.0024	0.0022	-0.0003	-0.0005

Результаты моделирования процессов радионавигации и астронавигации на суточном отрезке отображены также в виде графиков изменения утроенных средних квадратических отклонений ошибок оценок положения и скорости ГКА на рис. 1, 2. Для наглядности наибольшие значения утроенных СКО ошибок оценок положения и скорости ГКА ограничены величинами 5000 м и 0.15 м/с соответственно. Иными словами, на графиках не отображены значения утроенных СКО, превышающие указанные ограничения.

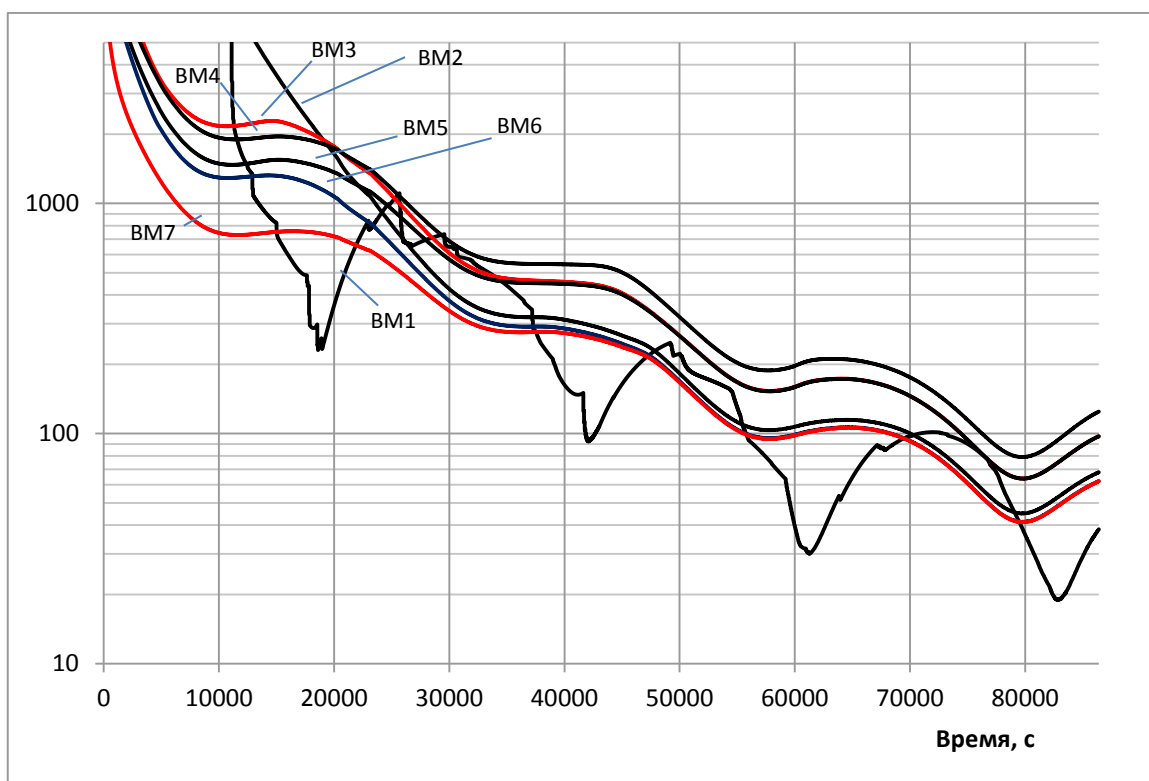


Рис. 1 – Утроенные СКО ошибок оценок положения, м

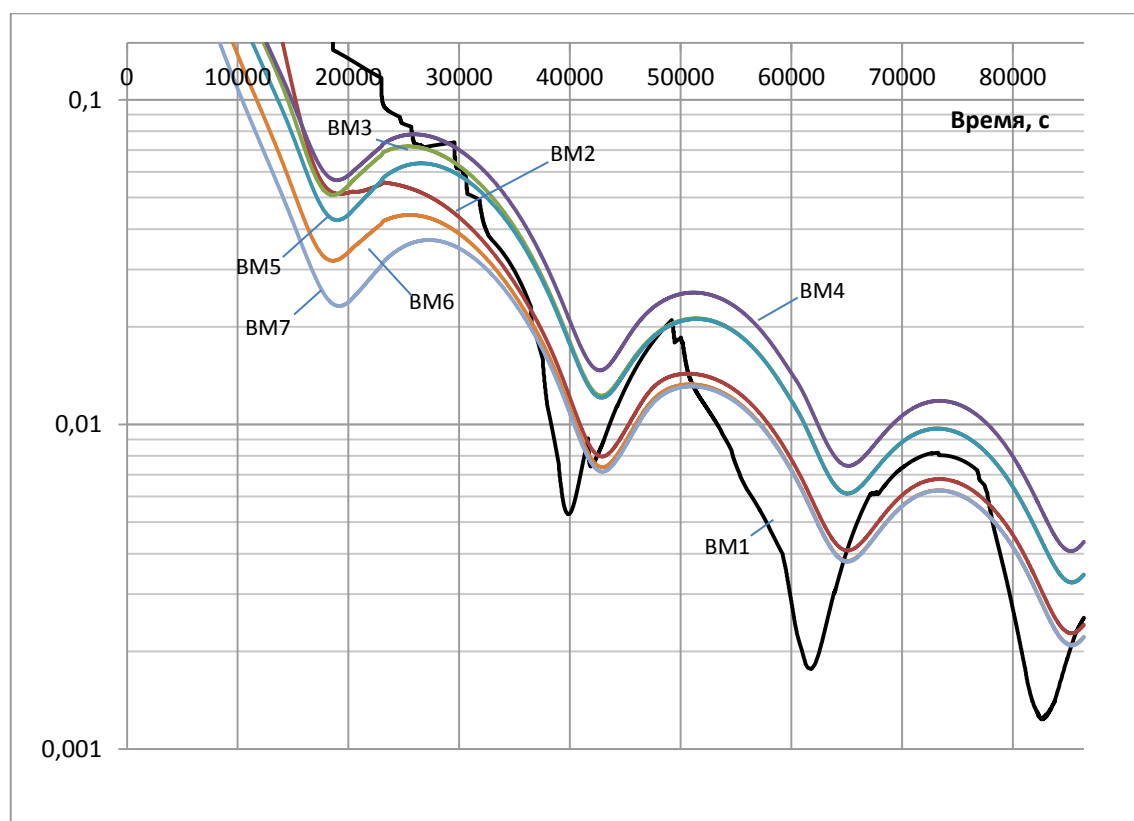


Рис. 2 – Утроенные СКО ошибок оценок скорости, м/с

3. Анализ полученных результатов

Отметим основные особенности полученных результатов.

1. Использование Луны в качестве ориентира заметно повышает точность астронавигации, как по положению, так и по скорости. Особенно это проявляется на начальных шагах моделирования в пределах 10 минут от начала процесса (см. графики на рис. 1, 2, BM3 – BM7).

2. В конце суточного отрезка точность автономной навигации по положению во всех вариантах моделирования попадает в отрезок от 36 м до 125 м. По скорости – в отрезок от 0.002 м/с до 0.0045 м/с (см. табл. 1–10).

3. Наилучшая точность по положению в конце суточного отрезка достигается в BM1, соответствующем радионавигации.

4. Наилучшая точность астронавигации по положению в конце суточного отрезка достигается в BM6, BM7 (практически совпадают).

5. Наилучшая точность по скорости в конце суточного отрезка достигается при астронавигации в BM6, BM7 (практически совпадают).

6. Для процессов астронавигации в сравнении с радионавигацией характерны плавные и с меньшей амплитудой колебания точности определения положения и скорости ГКА. Резкие изменения точности процесса радионавигации объясняются неравномерностью получения навигационной информации (перерывами во времени).

7. BM7 превосходит по точности определения положения и скорости ГКА все другие варианты моделирования астронавигации в пределах всего суточного отрезка.

8. Точность автономной навигации по положению порядка 750 м в BM7 (астронавигация) достигается приблизительно через 15.8 минуты от начала процесса. Эта же точность в BM1 (радионавигация) достигается приблизительно через 250 минут (~4.2 часа) от начала процесса.

9. Точность автономной навигации по скорости порядка 0.04 м/с (4 см/с) в BM7 (астронавигация) достигается приблизительно через 250 минут (~4.2 часа) от начала процесса. Эта же точность в BM1 (радионавигация) достигается приблизительно через 533 минуты (~8.9 часа) от начала процесса.

10. В целом до момента $t = 10000$ с астронавигация в ВМ3 – ВМ7 превосходит по точности определения положения радионавигацию. По точности определения скорости астронавигация превосходит радионавигацию до момента $t = 30000$ с. В дальнейшем происходит чередование превосходства в точности определения положения и скорости между радионавигацией и астронавигацией.

Заключение

В рамках данной работы продолжены исследования, связанные с повышением точности астронавигации, начатые в [1, 2]. Цель работы состояла в нахождении таких вариантов астронавигации, которые позволили бы в среднем превзойти по точности радионавигацию [3].

Для достижения поставленной цели была модифицирована математическая модель наблюдений (измерений), использованная в [1]. Модификация состояла в использовании Луны в качестве ориентира. В соответствии с этим в модель были дополнительно включены измерения углов «Луна – ГКА – Земля», «Солнце – ГКА – Луна», «Звезда – ГКА – Луна».

Было проведено численное имитационное моделирование процессов астронавигации с различными сочетаниями угловых измерений.

Анализ полученных при этом результатов (раздел 3) показал заметное повышение точности астронавигации в вариантах моделирования с использованием угловых измерений, значения которых зависят от текущих координат Луны.

Таким образом, исходя из анализа полученных результатов ЧИМ процессов астронавигации с использованием Луны в качестве ориентира, можно утверждать, что цель, поставленная в работе, достигнута.

Развитие работ по совершенствованию систем автономной навигации ГКА может быть связано с использованием новых угловых измерений, включающих, к примеру, направления осей орбитальной системы координат.

Решение навигационной задачи в такой постановке должно позволить решить заодно и задачу определения ориентации КА в пространстве.

Другой, безусловно важной задачей, является задача реализации процесса автономной навигации в условиях отсутствия априорной информации о векторе состояния КА.

Список литературы

1. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть III. Математические модели процессов навигации с использованием астроизмерений. // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №4. – с. 77-82.
2. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть IV. Результаты имитационного моделирования процессов навигации с использованием астроизмерений. // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №4. – с. 83-88.
3. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть II. Результаты имитационного моделирования процессов навигации с использованием спутниковых навигационных систем. // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №3. – с. 29-34.
4. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть V. Сравнительный анализ результатов имитационного моделирования процессов навигации с использованием спутниковых навигационных систем и астроизмерений. // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №9. – с. 22–28.

2.3.1.

Р.Е. Копейкин канд. техн. наук, А.С. Долгавин, М.А. Тимощенко, А.Е. Олейник

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

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ СЕРВЕРОВ
ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

В статье описывается решение задачи балансировки нагрузки серверов обработки данных при помощи методик теории массового обслуживания. Проведены численные эксперименты для подтверждения применимости изложенных методик для двух случаев - многоканальной системы массового обслуживания с отказами и многоканальной системы массового обслуживания с ограниченным временем ожидания. Проведенные эксперименты показали состоятельность модели.

Ключевые слова: *теория массового обслуживания, балансировка нагрузки, марковские процессы.*

Введение

Современные системы хранения и обработки данных невозможно представить без большого количества серверов, которые могут находиться на достаточном удалении друг относительно друга. В контексте параллельной и глобальной экономики удовлетворение требований по скорости обработки данных является важным ключом в процессе проектирования продуктов и услуг. Одно из требований заказчиков – снизить затраты, включая затраты на разработку, материальные затраты и затраты на переработку. Таким образом, снижение затрат стало важной задачей при проектировании продуктов и услуг. Возможность прототипирования систем балансировки нагрузки серверов без непосредственного тестирования систем «в железе» является актуальной задачей в плане снижения экономических затрат.

Формулировка задачи и математическая формализация

Одно из самых важных применений марковских цепей – применение в теории массового обслуживания (СМО). Обслуживающие элементы такой системы называются каналы. В некоторые моменты времени поступают заявки в систему, и задача системы – обработать их. После каждой заявки канал освобождается и готов к приему новых заявок.

Основные критерии эффективности – вероятность отказа системы [1], среднее время ожидания, вероятность обслуживания и другие характеристики [2].

Каждая из характеристик описывает общую пропускную способность системы.

Для примера можно рассмотреть одноканальную систему обслуживания – прием клиентов по телефону. Если канал оказался занят, заявка получает «отказ». Такая дискретная система имеет 2 возможных состояния:

- S_0 – канал занят;
- S_1 – канал свободен.

Граф возможных состояний такой системы изображен на рисунке 1.

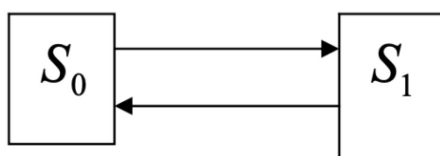


Рис. 1 – Граф состояний одноканальной системы

На практике же наибольший интерес представляют системы массового обслуживания.

Допустим, существует n -канальная система массового обслуживания с отказами, и она имеет несколько состояний:

- S_0 – все каналы свободны;
- S_1 – занят ровно один канал;
- S_k – занято ровно k каналов;
- S_n – заняты все n каналов.

Необходимо найти вероятность $p_k(t)$, $k = 0, 1, \dots, n$ состояния S_k в момент времени t при условиях что [3]:

- Поток заявок пуассоновский (простейший) и интенсивность λ ,
- Время, за которое обрабатывается одна заявка $T_{об}$ – показательное с параметром [4].

Интенсивность обслуживания заявок будет вычисляться по формуле

$$\mu = \frac{1}{m_{t_{об}}}, \quad (1)$$

где $m_{t_{об}}$ – среднее время, за которое обслуживается одна заявка.

Переход от состояний S_{k-1} к S_k происходит с интенсивностью λ . Все каналы равноценны, поэтому интенсивность потока в k каналах будет $k\mu$. Переход из состояний проиллюстрирован на рисунке 2.

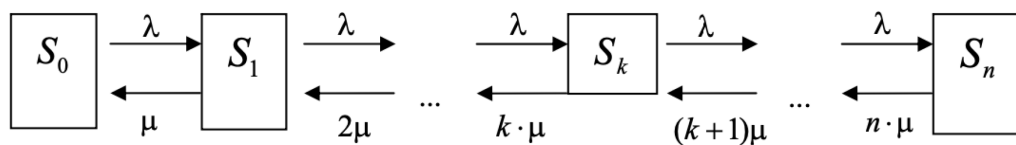


Рис. 2 – Переход из состояний S_0 к S_k

М о ж н о записать систему дифференциальных уравнений Колмогорова для вероятностей $p_k(t)$ состояний S_k

$$\begin{cases} p'_0(t) = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t), \\ p'_k(t) = -\lambda p_{k-1}(t) - (\lambda + k\mu) p_k(t) + (k+1)\mu p_{k+1}(t), \quad (0 < k < n) \\ p'_n(t) = \lambda p_{n-1}(t) + n\mu p_n(t), \\ p_1(t) + \dots + p_n(t) = 1. \end{cases} \quad (2)$$

Система имеет предельные вероятности p_k при $t \rightarrow \infty$. Найдём эти вероятности через систему уравнений

$$\begin{cases} -\lambda p_0 + \mu p_1 = 0, \\ \lambda p_0(t) - (\lambda + \mu) p_1 + 2\mu p_2 = 0, \\ \lambda p_{k-1} - (\lambda + k\mu) p_k + (k+1)\mu p_{k+1}(t) = 0, \quad (0 < k < n) \\ \lambda p_{n-2} - (\lambda + k\mu) p_{n-1} + n\mu p_n = 0, \\ \lambda p_{n-1} - n\mu p_n = 0, \\ p_1 + p_2 \dots + p_n = 1. \end{cases} \quad (3)$$

Из первого уравнения системы (3)

$$p_1 = \frac{\lambda}{\mu} p_0. \quad (4)$$

Из второго уравнения системы (3)

$$p_2 = \frac{\lambda^2}{2\mu^2} p_0. \quad (5)$$

В общем случае вероятность обслуживания k -ой заявки будет вычисляться по формуле

$$p_k = \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} p_0. \quad (6)$$

Среднее число заявок, приходящееся на время обслуживания одной заявки, будет вычисляться по формуле

$$a = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda m_{t_{об}}. \quad (7)$$

Вероятность обслуживания нулевой заявки рассчитывают по формуле

$$p_0 = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}} \quad (8)$$

Используя формулу (6), (7) и (8), канонический вид вероятности обслуживания k -й заявки будет вычисляться по формуле

$$p_k = \frac{\frac{\alpha^k}{k!}}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}}, \quad (9)$$

где $k = 0, 1, \dots, n$

Вероятность отказа в обслуживании выражается по формуле

$$P_{\text{отк}} = p_n = \frac{\frac{\alpha^n}{n!}}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}}. \quad (10)$$

Вероятность обслуживания заявки, используя формулу (10), рассчитывается по формуле

$$P_{\text{обсл}} = 1 - P_{\text{отк}} = 1 - \frac{\frac{\alpha^n}{n!}}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}} = \frac{1 + \frac{\alpha}{1!} + \dots + \frac{\alpha^{n-1}}{(n-1)!}}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}}. \quad (11)$$

Среднее время обслуживания заявки в отдельном канале рассчитывается по формуле

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{1}{\mu}. \quad (12)$$

Среднее число занятых каналов рассчитывается по формуле

$$\begin{aligned} \bar{k} = \sum_{j=0}^n j p_j &= 1 \left(\frac{\frac{\alpha}{1!}}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}} \right) + 2 \left(\frac{\frac{\alpha^2}{2!}}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}} \right) + \dots + n \left(\frac{\frac{\alpha^n}{n!}}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}} \right) = \\ &= \alpha \left(\frac{1 + \frac{\alpha}{1!} + \dots + \frac{\alpha^{n-1}}{(n-1)!}}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}} \right) = \alpha P_{\text{обсл}}. \end{aligned} \quad (13)$$

Получение экспериментальных оценок вероятностей и их сравнение с теоретическими

1. Многоканальная СМО с отказами.

Имеется трехканальная система массового обслуживания с отказами. Интенсивность потока заявок $\lambda = 125$ заявок в минуту, а время обслуживания заявки показательное с интенсивностью $\mu = 62$ заявки в минуту. Найти вероятность отказа в обслуживании.

Имеем $n = 3$, $\alpha = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{125}{62} = 2.01$.

Вероятность отказа составляет

$$P_{\text{отк}} = \frac{\frac{\alpha^n}{n!}}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}} = \frac{\frac{2.01^3}{3!}}{1 + 2.01 + \frac{2.01^2}{2!} + \frac{2.01^3}{3!}} = 0.21,$$

тогда

$$P_{\text{обсл}} = 1 - P_{\text{отк}} = 0.79.$$

В этой среде расположены 3 сервера и балансировка нагрузки (Round Robin), все запросы одинаковые, лимит выполнения запроса 2 секунды. Среднее время выполнения запроса примерно равно 1 с. На балансировку нагрузки подается 125 запросов в минуту.

Симуляция заканчивается после того, как 125 запросов будут обработаны. Ниже представлена таблица результатов моделирования, которая сравнивает среднее время ответа и процент потерянных запросов. Однако при высоких нагрузках иногда система начинает терять запросы, потому что не имеет возможности удерживать запрос до тех пор, пока нагрузка не уменьшится.

Таблица 1 – Получение результатов моделирования

	Кол-во выполненных запросов	Кол-во потерянных запросов	Кол-во всех запросов
1-я симуляция	111	14	125
2-я симуляция	114	9	125
3-я симуляция	108	17	125
Среднее, кол-во	110	15	
Среднее, %	88%	12%	

Из таблицы 1 и теоретического расчета получаем теоретическую и практическую вероятность отказа для СМО с отказами.

$$P_{\text{отк}}(\text{теор}) = 0.21,$$

$$P_{\text{отк}}(\text{оценка}) = \frac{15}{125} = 0.12.$$

В данной математической модели не учитывались очередь запросов и лимит времени, который ставился при практическом расчете (2 минуты). В итоге математическая модель получилась относительно правдоподобной, что и показало сравнение практической и теоретической вероятности обслуживания [5].

2. Многоканальная СМО с ограниченным временем ожидания.

Имеется трехканальная система массового обслуживания с отказами. За 1 минуту поступает 125 заявок, а среднее время обслуживания заявки 0.96 секунд. Очередь вмещает в себя 4 заявки. Среднее время ожидания в очереди 5 секунд.

$$\text{Имеем } n = 3, m = 4, \lambda = 125 \text{ [мин}^{-1}\text{]}, \mu = \frac{1}{t_{\text{ср.обсл.}}} = \frac{1}{0.016} = 62 \text{ [мин}^{-1}\text{]}, \rho = \frac{\lambda}{\mu} = 2.016,$$

$$t_{\text{ож}} = 5 \text{ [сек]} = 0.083 \text{ [мин]}, \nu = \frac{1}{t_{\text{ож}}} = 12, \beta = \frac{\nu}{\mu} = 0.194,$$

где n – число каналов в СМО;

m – число мест в очереди;

λ – интенсивность поступления в СМО заявок;

μ – интенсивность обслуживания заявок;

$\rho = \lambda/\mu$ – коэффициент загрузки СМО;

$t_{\text{ож}}$ – среднее время ожидания заявки в очереди;

$\nu = 1/t_{\text{ож}}$ – интенсивность потока ухода заявок из очереди.

Необходимо найти вероятность отказа в обслуживании. Найдем p_0 – вероятность того, что все мастера свободны

$$p_0 = \left(1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^n}{n!} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{\rho^i}{\prod_{l=1}^i (n + l\beta)}\right)^{-1} = 0.122.$$

Найдем вероятности занятости одного, 2-х и 3-х каналов

$$p_k = \frac{\rho^k}{k!} \cdot p_0, k = \overline{1, n},$$

$$p_1 \approx \frac{1}{1!} \cdot 2.016 \cdot 0.122 \approx 0.246,$$

$$p_2 \approx \frac{1}{2!} \cdot 2.016^2 \cdot 0.122 \approx 0.248,$$

$$p_n = p_3 \approx \frac{1}{3!} \cdot 2.016^3 \cdot 0.122 \approx 0.166.$$

Найдем вероятности того, что в очереди 4 человека

$$p_{n+i} = p_n \cdot \frac{\rho^i}{\prod_{l=1}^i (n + l\beta)}.$$

$$p_{m+4} = 0.166 \cdot \frac{2.016^4}{(3 + 1 \cdot 0.194) \cdot (3 + 2 \cdot 0.194) \cdot (3 + 3 \cdot 0.194) \cdot (3 + 4 \cdot 0.194)} = 0.0187.$$

Вероятность отказа составляет

$$P_{\text{отк}} = p_{m+4} = 0.0187.$$

Относительная пропускная способность составляет

$$P_{\text{обсл}} = 1 - P_{\text{отк}} = 0.9813.$$

Абсолютная пропускная способность равна

$$A = \lambda \cdot Q \approx 125 \cdot 0,9813 = 123 \text{ запроса в минуту.}$$

В этой среде расположены 3 сервера и балансировка нагрузки (Round Robin) с очередью вместимостью 4, все запросы одинаковые, лимит ожидания запроса в очереди 5 секунд. Среднее время выполнения запроса примерно равняется 0.96 с. На балансировку нагрузки подается 125 запросов в минуту.

Симуляция заканчивается после того, как 125 запросов будут обработаны. Ниже представлена таблица 2 результатов моделирования, которая сравнивает среднее время ответа и процент потерянных запросов. Однако при высоких нагрузках некоторая система начинает терять запросы, потому что не имеет возможности удерживать запрос до тех пор, пока нагрузка не уменьшится [6].

Таблица 2 – Получение результатов моделирования

	Кол-во выполненных запросов	Кол-во потерянных запросов	Кол-во всех запросов
1-я симуляция	123	2	125
2-я симуляция	120	5	125
3-я симуляция	125	0	125
4-я симуляция	121	6	125
5-я симуляция	120	2	125
Среднее, кол-во	122	3	
Среднее, %	98%	2 %	

Из таблицы 2 и теоретического расчета получаем теоретическую и практическую вероятность отказа для СМО с ограниченной очередью и ограниченным временем ожидания.

$$P_{\text{отк}}(\text{теор}) = 0.0187,$$

$$P_{\text{отк}}(\text{оценка}) = \frac{15}{125} = 0.02.$$

Практические данные полученные по результатам моделирования, в общем и целом, согласовываются с данными, полученными теоретически. И хотя на практике марковские процессы в чистом виде обычно не встречаются, нередко приходится иметь дело с процессами, которые можно приближенно считать марковскими.

В данной математической модели учитывалось ограничение времени ожидания запроса, находящегося в очереди, однако, модель не учитывает задержку сети, которая составляет доли секунды. В итоге математическая модель получилась весьма правдоподобной, что и показало сравнение практической и теоретической вероятности обслуживания.

Заключение

Представленная в данной статье методика расчета отказов распределенного кластера серверов показала хорошую сходимость практических результатов с теоретическими расчетами. Следовательно, теоретическая модель расчета вероятности отказа может применяться на практике для оценки вероятности без непосредственного тестирования серверных систем.

Список литературы

1. Zhao T., He C. Supermarket Application Based on Queueing Theory // Proceedings of the International Conference on Information Engineering and Applications (IEA). – 2012. Vol. 3.
2. Grinstead C.M., Snell J. L. Introduction to Probability // American Mathematical Society, Second ed., 2003.
3. Советов Б.А., Яковлев С.А. Моделирование систем. М.: Высшая школа, 1985.
4. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и её инженерные приложения. М.: Наука, 1988.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2001.
6. Лифшиц А.Л. Статистическое моделирование СМО. М.: Советское радио, 1978.

2.3.1.

Р.Е. Копейкин канд. техн. наук, Е.А. Свистунов, Е.Ю. Русякова

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

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ
ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МАНИПУЛЯТОРАХ
С АДАПТИВНЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

В статье приводится анализ основных методов сегментации изображений. Исследуется практическое применение методов сегментации изображений в манипуляторах. Определяются оптимальные методы для решения задач, связанных с их использованием в манипуляторах с адаптивным программным управлением.

Ключевые слова: *Сегментация изображений, основные методы, манипуляторы.*

Введение

Одной из основных задач обработки и анализа изображений является сегментация. Сегментация изображений – это метод, при котором цифровое изображение разделяется на различные области, для которых выполняется определенный критерий однородности, например выделение на изображении областей с одинаковой яркостью. Данная операция помогает снизить сложность изображения и упростить его дальнейшую обработку или анализ.

В данной работе решалась задача выбора наиболее подходящего метода сегментации для использования его в манипуляторах с адаптивным программным управлением.

Выбор критериев оценки результатов

В данной работе будет производиться оценка методов сегментации по качеству подавления фона, выделения объектов или их ключевых частей, необходимых для распознавания, а также будет учитываться скорость обработки изображений.

Основные методы сегментации

Пороговый метод

Он заключается в создании бинарного или цветного изображения на основе установки порогового значения интенсивности пикселей исходного изображения. Для задания этого порога необходимо рассмотреть гистограмму интенсивности всех пикселей изображения. Пусть задано изображение $B(i, j)$ с одним объектом на нем, яркость точек которого находится на некотором отрезке $[T_1, T_2]$, в который не входят яркости точек фона. Если $B(i, j) \in [T_1, T_2]$, то точка (i, j) принадлежит области объекта, в противном случае – области фона. В случае с несколькими объектами должны быть известны отрезки $[T_1^k, T_2^k]$, в пределах которых находятся яркости всех объектов, причем эти отрезки не должны пересекаться [1][2]. Очевидным недостатком данного метода является трудное, а порой и невозможное, определение пороговых величин в случае нескольких объектов.

Выделение границ

Данный вид сегментации основан на границах, найденных на изображении с использованием различных операторов обнаружения границ, таких как оператор краев Собела, детектор краев Канни, оператор краев Кирша, оператор краев Робертса и многие другие. Эти границы отмечают места разрыва изображения в уровнях серого, цвете и текстуре [3]. Когда происходит переход из одной области в другую, уровень серого может изменяться. Если удастся найти такой разрыв, то можно найти границу. Цель сегментации изображений с помощью выделения границ заключается в получении промежуточного

результата сегментации, к которому можно применять другие виды сегментаций для получения более качественного конечного сегментированного изображения.

Анализ цвета

Сегментация изображения путем анализа цвета основана на его узнавании. Признаками могут служить три компонента от функции излучения $B(l)$ в каждой точке (i, j) : $C_1 = \int_{\lambda} B(\lambda) K_l(\lambda) d\lambda$, $l = 1, 2, 3$. Спектральные кривые чувствительности $K_1(\lambda)$, $K_2(\lambda)$, $K_3(\lambda)$ могут соответствовать функциям трех видов колбочек человеческого глаза, однако на практике используются и другие системы кодирования цветов, в том числе двух- и четырехкомпонентные системы [4][5].

Центроидное связывание

Данный метод сегментации основан на активном использовании локальной признаковой информации. Идея метода заключается в следующем: на плоскости изображения выбирается некоторое число стартовых точек, которые размечаются определенным образом, и осуществляется анализ соседних точек. Если для пары точек выполняется условие однородности, то соседняя точка получает ту же метку, что и первая. После чего рассматриваются следующие соседние точки. Процесс разметки закончится после того, как каждая точка изображения получит метку. В случае с одним объектом, критерий однородности может иметь вид: $|B(i, j) - \mu| < T$, где μ – среднее значение яркости точек, принадлежащих объекту; T – фиксированный порог. [6-8]

К очевидным недостаткам этого метода можно отнести наличие неопределенности в выборе стартовых точек; зависимость результатов сегментации изображения от порядка просмотра точек изображения; необходимость применения повторной обработки для избавления от ложных областей и для слияния частей одной области.

Волновой метод

Этот метод сегментации, по сути, является усовершенствованной версией центроидного связывания. После выбора стартовых точек проводится процесс, состоящий из итераций. На каждой из итераций рассматриваются точки множества S_i , кроме тех, которые были включены в эти множества на данной итерации. Для точки (i, j) рассматриваются ее соседние точки. Если для этих точек выполняется условие, описанное ранее, то им присваивается метка λ_i . После того как анализ выполнен для всех точек множества S_i , кроме тех, которые были включены в эти множества на данной итерации, производится анализ точек следующего множества S_{i+1} . Точки множества S_i , добавленные на k -ой итерации, называются фронтом $F_k(\lambda_i)$, объединение $\cup_i F_k(\lambda_i)$ называется волной [9].

Метод водоразделов

Данный метод ориентирован на сегментацию изображения как совокупности топологических областей вблизи локальных минимумов интенсивности пикселей. Если рассматривать интенсивность пикселей как функцию их горизонтальной и вертикальной координат, то этот алгоритм пытается найти области вблизи локальных минимумов и максимумов, называемых водосборами. Как только удастся идентифицировать эти водосборы, алгоритм пытается их выделить путем построения разделительных границ (водоразделов), вдоль высоких пиков или гребней [10].

Метод водоразделов оказывается особенно полезным для обнаружения перекрывающихся объектов. К минусам можно отнести наличие небольшого количества локальных минимумов, в противном случае возникает избыточное разбиение на сегменты, избавиться от которого можно, предварительно обработав изображение.

Слияние-расщепление

Исходное изображение некоторым образом разбивается на квадраты, после чего проводится анализ однородности этих квадратов. Если квадрат не удовлетворяет условию однородности, то он заменяется четырьмя подквадратами. Если участок из четырех соседних квадратов оказывается таким, что для него выполняется критерий однородности, то эти четыре квадрата объединяются в один [11]. Результатом слияния-расщепления может служить некоторая структура с информацией о квадратах, чаще всего – граф, но может быть

и изображение, в котором все пиксели внутри однородной области имеют одинаковую яркость.

Матрицы совпадений

Этот метод входит в группу статистических методов. Он позволяет определить, содержат ли участки изображения текстуры одного класса, путем вычисления для каждого участка матрицы совпадений. Взамен исходного изображения (матрицы) строится новая квадратная матрица, которая называется матрицей совпадения: $B(i, j) \Rightarrow G \times G$, где G – количество уровней серого на исходной матрице B [12][13]. Важно отметить, что матрица зависит от расстояния и важно правильно задать его, чтобы метод корректно работал.

На основе матрицы P_d могут быть вычислены различные характеристики:

$$\sum_{a,b} P_d^2(a, b) \text{ (энергия),}$$

$$\sum_{a,b} P_d(a, b) \log P_d(a, b) \text{ (энтропия),}$$

$$\sum_{a,b} (a - b)^2 P_d(a, b) \text{ (контрастность),}$$

$$\sum_{a,b} \frac{P_d(a, b)}{1 + (a + b)} \text{ (однородность).}$$

Метод мозаики Вороного

Сегментация с использованием этого метода состоит из трех шагов: построения примитивов (особых точек или компонент на изображении, которые имеют свои отличительные признаки), составления мозаики, анализа элементов мозаики. Чаще всего для получения примитивов к изображению применяют фильтры, как при выделении границ. Затем выбирают точки локальных максимумов, к которым применяют метод наращивания, в результате чего получают компоненты из 8-ми связанных элементов. Полученные таким образом компоненты или точки локальных максимумов определяют как примитивы. Затем строят мозаичное разбиение Вороного для примитивов.

Пусть дано множество S из трех и более примитивов. Пусть не все точки лежат на одной прямой. Рассмотрим пару точек P и Q . Построим прямую – геометрическое место точек, равноудаленных от P и Q . Получим две полуплоскости H_Q^P и H_P^Q . Для любой точки P можно провести такое разбиение со всеми $Q \in S$. Пересечение определяет многоугольник, все точки которого ближе к P , чем к какой-либо другой точке. Такой многоугольник называют многоугольником Вороного для данной точки. Рассматривают множество многоугольников, называемое диаграммой Вороного. Многоугольники с общими свойствами объединяют в области. Для вычисления свойств часто используют центр тяжести и момент площади многоугольника. Момент площади $(p + q)$ -го порядка для многоугольника относительно примитива с координатами (x, y) определяют следующим образом:

$$m_{pq} = \iint_R (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q dx dy,$$

где $\bar{x}, \bar{y}$ – координаты центра тяжести многоугольника

Часто используются признаки:

$$f_1 = m_{00};$$

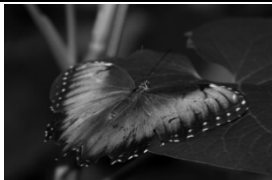
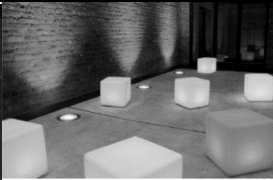
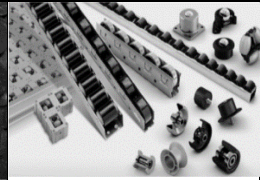
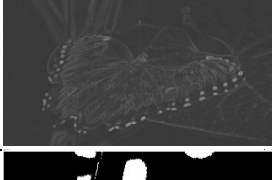
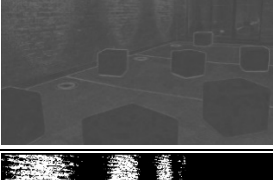
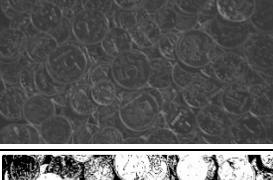
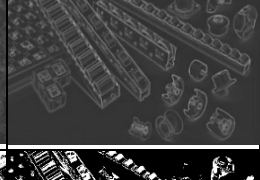
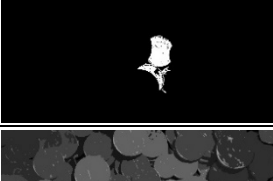
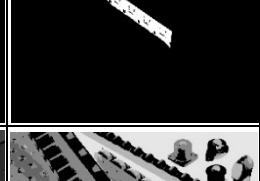
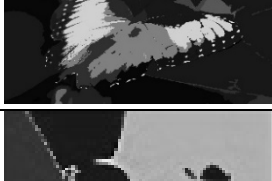
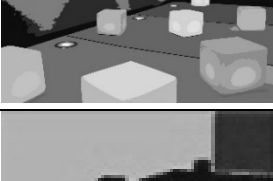
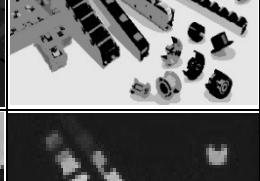
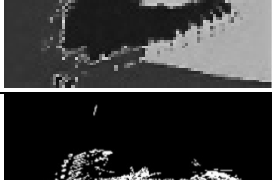
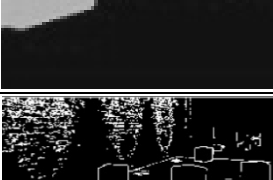
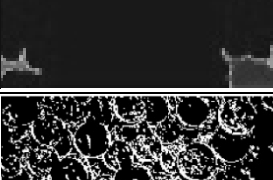
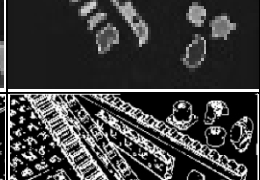
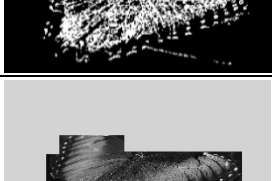
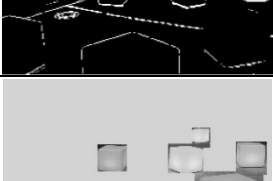
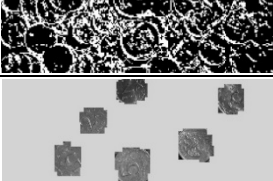
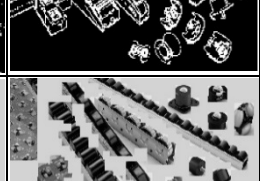
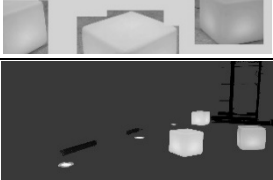
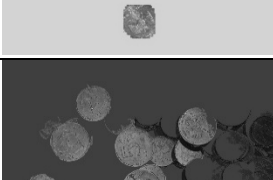
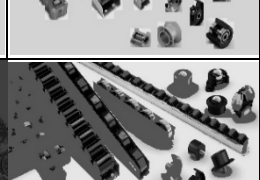
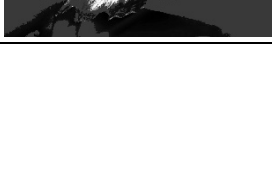
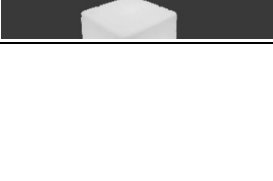
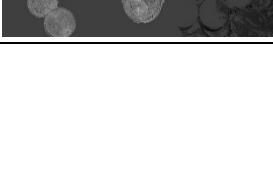
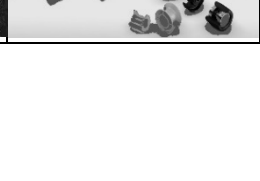
$$f_2 = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2};$$

$$f_3 = \arctg\left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}}\right).$$

Практическая реализация методов сегментации изображений:

Для выбора метода сегментации изображения для манипуляторов с адаптивным программным управлением необходимо поставить несколько задач, которые часто встречаются в данной области и являются весьма затруднительными для обработки изображений. Были поставлены следующие задачи: определение объекта на фоне; определение объекта при неравномерном свете; определение перекрывающихся друг друга объектов; определение большого числа объектов на фоне. Каждое из входных изображений содержит одно из заданий соответственно. Результаты решения поставленных задач методами сегментации приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты машинных экспериментов.

Входное изображение				
Пороговый метод				
Выделение границ				
Анализ цвета				
Центроидное связывание				
Волновой метод				
Метод водоразделов				
Слияние-расщепление				
Матрица совпадений				
Мозаика Вороного				

Заключение:

С задачей определения объекта на фоне справились все методы, кроме центроидного связывания. С задачей определения объекта при неравномерном свете не справились центроидной связывание, пороговый метод, метод водоразделов. Лучшее решение задачи определения перекрывающихся друг друга объектов решили следующие методы: выделение границ, анализ цвета и волновой метод. С задачей определения большого числа объектов на фоне не справились центроидное связывание и метод водоразделов.

Худшими по времени оказались: метод водоразделов (4.7с), матрица совпадений (5.3с), мозаика Вороного (6.1с) и выделение границ (1.1с). Лучшими – пороговый метод (231мс), анализ цвета (156мс) и слияние-расщепление (215мс).

Так как выбирается метод для манипуляторов с адаптивным программным управлением необходимо учитывать его автономность, чем не могут похвастаться методы анализа цвета и центроидного связывания.

Анализ основных методов сегментации с точки зрения практического применения в манипуляторах с адаптивной системой управления позволил выявить их основные характеристики и предложить методы слияние-расщепление и выделение границ. Данные методы автоматически качественно выделяют объекты и их ключевые части. Время работы второго метода хоть и высокое, но приемлемое для работы в манипуляторах.

Список литературы

1. *Путятин Е.П., Аверин С.И.* Обработка изображений в робототехнике. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
2. *Чичварин Н.В.* Пороговые методы (Сегментация) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.bmstu.wiki/Пороговые_методы_\(Сегментация\)](https://ru.bmstu.wiki/Пороговые_методы_(Сегментация)).
3. *Тропченко А.Ю., Тропченко А.А.* Методы вторичной обработки и распознавания изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1798.pdf>
4. *Shalkoff R.J.* Digital image processing and computer vision. – New York-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore: John Wiley & Sons, Inc., 1989. – 489 p.
5. *Романов С. А.* Анализ методов сегментации изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/17/1534>.
6. *Панченко Д.С.* Сравнительный анализ методов сегментации изображений // Д. С. Панченко, Е. П. Путятин // Радиоэлектроника и информатика. – 1999. - №4. – С.109-114.
7. *Chellapa R., Kashyap R. L., Manjunath B.S.* Model based texture segmentation and classification.//Handbook of pattern recognition and computer vision. 1993. P. 277-307.
8. *Tuceryan M., Jain A. K.* Texture analysis //Handbook of pattern recognition and computer vision. 1993. P. 235-276.
9. *Альмияхи О.М., Цветков В.Ю., Конопелько В.К.* Сегментация изображений на основе волнового выращивания областей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/6903/1/Almiyakhi_Segmentatsiya.PDF
10. *Чичварин Н.В.* Метод водоразделов (Сегментация) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.bmstu.wiki/Метод_водоразделов_\(Сегментация\)](https://ru.bmstu.wiki/Метод_водоразделов_(Сегментация)).
11. *Альмияхи О.М., Цветков В.Ю., Конопелько В.К., Гусева О.В.* Адаптивное двухпороговое квантование и сегментация изображений на основе разделения и слияния областей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnoe-dvuhporogovoe-kvantovanie-i-segmentatsiya-izobrazheniy-na-osnove-razdeleniya-i-sliyaniya-oblastey/viewer>
12. *Яковлева Е.В., Нестерова Е.П.* Сравнительный анализ методов характеристик Лавса и матриц совпадений в задачах сегментации текстурных изображений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/951/1/09.pdf>.
13. *Яковлева Е.В., Кускова И.В.* Исследование результатов сегментации изображений методом матриц совпадений // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». Харьков: НТУ «ХПИ». – 2006.–№ 39. – С.164-171.

2.3.1.

М.А. Масюк, М.Г. Доррер, Е.М. Гриценко

Сибирский государственный университет науки и технологий им. ак. М.Ф. Решетнева,
институт информатики и телекоммуникаций,
кафедра информационно-управляющих систем,
Красноярск, masuk-max@yandex.ru

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
НА ОСНОВЕ PROCESS MINING И PM4Py**

Авторами предложен подход к оценке эффективности деятельности образовательной организации, основанный на методах Process Mining, визуальном изображении карты процесса и численных метриках. С использованием Python-библиотеки PM4Py был реализован программный инструментарий, позволяющий оценить эффективность работы преподавателя и вовлеченность обучающегося в учебный процесс.

Ключевые слова: *Process Mining, Python, PM4Py, карта процесса, Directly-Follows Graph.*

Следование принципам процессного подхода предполагает, что предприятия следует анализировать не с точки зрения функций, на которые они могут быть разложены, или с точки зрения продуктов, которые они производят, а с точки зрения ключевых бизнес-процессов [1]. Из-за сложности проектирования и контроля процессов, с которыми сталкиваются современные предприятия, существует необходимость в разработке подходящих методов анализа [2, 3].

Задачей данной работы было исследовать бизнес-процессы компании, оказывающей образовательные услуги [4], на основе объективных данных – информации о событиях работы с клиентами, отраженных в базе данных CRM-системы. Компания находится в фазе достаточно активного роста, руководство компании, понимая возможные проблемы, связанные с этой стадией жизненного цикла, обратилась к авторам за помощью в анализе и выстраивании системы управления бизнес-процессами.

Идея Анализа процессов заключается в том, чтобы выявить, отследить и произвести улучшение реальных (а не предполагаемых) процессов путем извлечения знаний из журналов событий, легко доступных в современных информационных системах [5]. Таким образом, путь осознания и улучшения бизнес-процессов при помощи методов Process Mining в настоящее время является актуальным, а его приложение к реальным объектам экономики представляет как практический, так и научный интерес.

Изначально постановка задачи от заказчика (руководителя образовательной организации) была стандартной [6] для области управления бизнес-процессами и включала в себя:

- 1) построение ожидаемой модели бизнес-процесса на основе собранной информации о компании;
- 2) обработка журнала событий, обнаружение реальных процессов и нахождение отклонений от ожидаемых, поиск узких мест и «дефектов»;
- 3) консалтинг по вопросам оптимизации бизнес-процессов с целью увеличения ключевых показателей эффективности работы, таких как прибыль, использование временных ресурсов, арендуемых помещений и т.д.

На рисунке 1 изображена BPMN-модель бизнес-процессов организации, составленная на основе проведенных обследований, интервью, сбора информации и изучения нормативной документации.

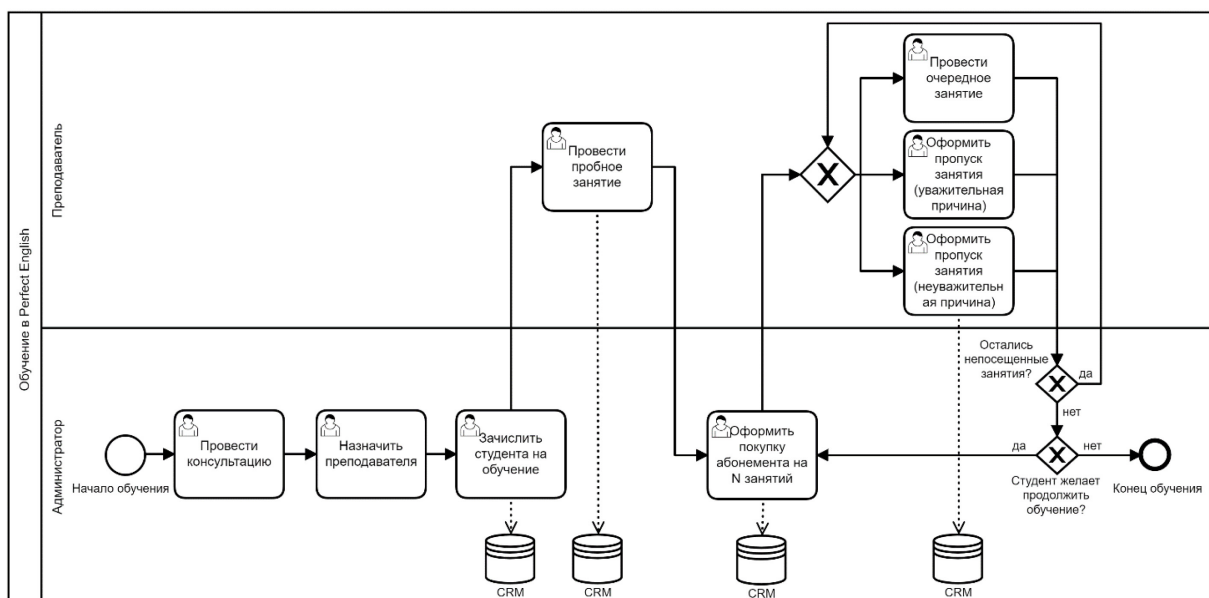


Рис. 1 – BPMN-модель основного процесса «Обучение в Perfect English»

Как видно из модели, жизненный цикл начинается с проведения предварительной консультации, подбора преподавателя, проведения пробного занятия для определения уровня владения языком. Далее обучающийся приобретает абонемент на определенное количество занятий, как правило 8, и приступает к обучению по утвержденному графику. В процессе обучения ожидаемо возникают различные ситуации, когда обучающийся пропускает учебные занятия. В договоре, заключенном между клиентом и образовательной организацией, подробно описаны причины, по которым занятие может быть пропущено по уважительной причине с предоставлением соответствующих документов. К таким причинам относятся болезнь, отъезд в командировку, участие в спортивных соревнованиях и др. В этом случае занятие считается не проведенным, оплата за него не взимается. В случае отсутствия уважительной причины, занятие отмечается в абонементе как проведенное и оплата взимается. При завершении абонемента клиент приобретет следующий, если хочет продолжить обучение.

Очевидно, что стабильность посещения занятий и отсутствие пропусков оптимально как с точки зрения прибыли организации, так и с точки зрения результатов обучения для клиента. Однако, на практике этот показатель может существенно различаться от клиента к клиенту, причины пропусков могут быть разными, зависеть от преподавателя и других факторов.

Для автоматизации своей деятельности и управления взаимоотношениями с клиентами образовательная организация использует корпоративную информационную систему, разработанную на платформе HCL Notes [7]. С использованием стандартных для данной платформы средств, через LotusScript агент, возможен доступ к журналу событий в виде файла формата CSV. На рисунке 2 изображен фрагмент журнала событий, объем которого на момент написания статьи составлял более 10 тысяч строк.

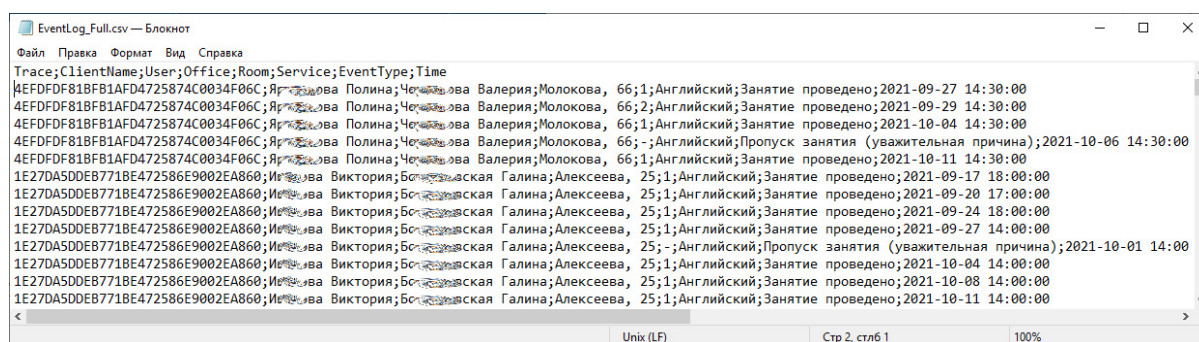


Рис. 2 – Журнал событий в виде файла формата CSV

В качестве идентификатора экземпляра процесса (Trace) используется уникальный номер клиента в корпоративной информационной системе, что позволяет корректно сгруппировать отдельные события в цепочки. Последующие столбцы отражают фамилию и имя клиента (ClientName), преподавателя (User), адрес филиала (Office), номер учебной аудитории (Room), вид оказываемой услуги (Service), тип события (EventType) и момент начала совершения события (Time). Содержащиеся в журнале типы событий соответствуют представленной на рисунке 1 модели.

Следующим этапом стало применение методов Process Mining к имеющемуся журналу событий. В данном проекте для интеллектуального анализа журнала событий авторами была выбрана разработанная институтом прикладных информационных технологий Фраунгофера (FIT) платформа PM4Py [8], представляющая собой Python-библиотеку с открытым исходным кодом и свободной лицензией GPL. Библиотека PM4Py имеет следующие отличительные особенности, обуславливающие ее выбор: высокая скорость работы алгоритмов, легкость кодирования и интеграции в существующие информационные системы.

В последнее время популярность PM4Py значительно возросла [9, 10] библиотека используется в академических кругах и в решении прикладных задач в различных отраслях. Не последнюю роль в этом играет наличие качественной документации.

Кроме всего прочего библиотека PM4Py позволяет генерировать в формате PNG важные с точки зрения бизнес-аналитика модели: дерево процесса, модель процесса в нотации BPMN, карту процесса на основе графа прямого следования (Directly Follows Graph), карту процесса на основе эвристического алгоритма (улучшенная версия предыдущего).

Все полученные с применением PM4Py изображения оказались достаточно информативными для бизнес-аналитиков. Для краткости изложения на рисунке 3 продемонстрируем только карту процесса на основе эвристического алгоритма.

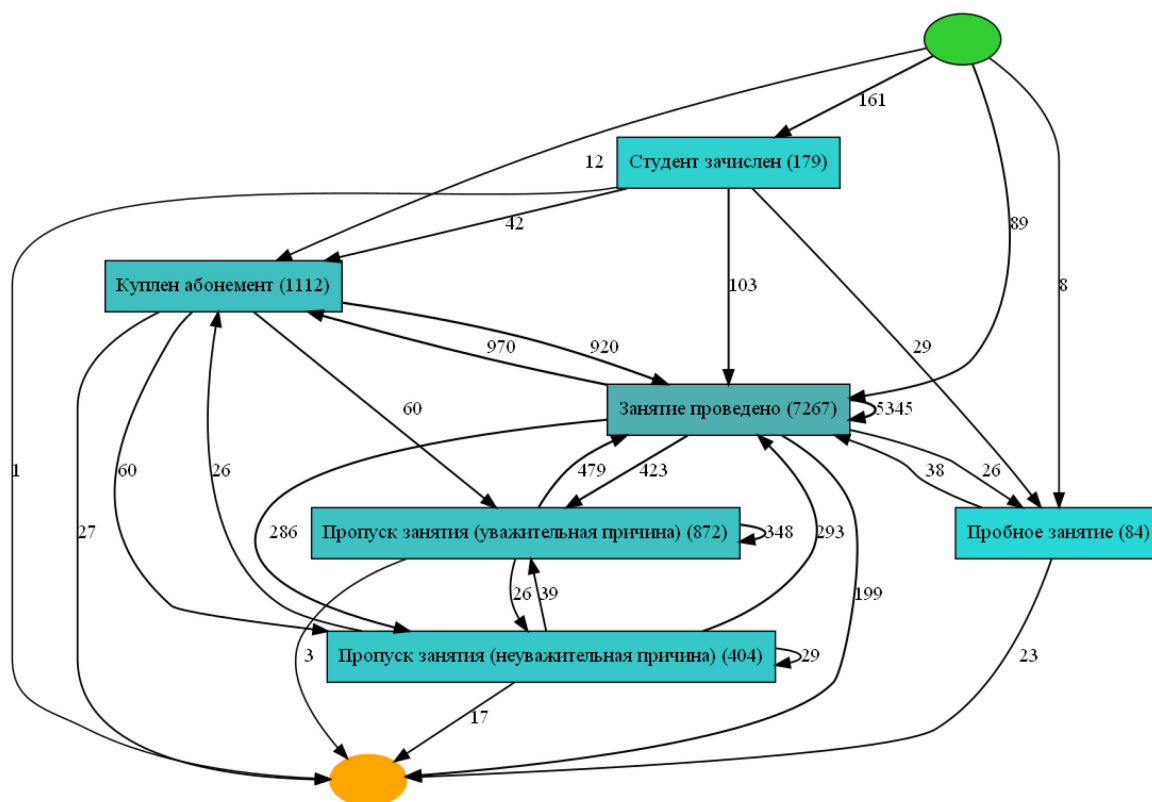


Рис. 3 – Карта бизнес-процесса, построенная эвристическим алгоритмом

Карта процесса в целом соответствует ожидаемой модели (рис. 1). Имеют место лишь незначительные по своему числу отличия. Например, на практике не всегда соблюдается последовательность «Зачислить Студента» – «Провести пробное занятие» – «Оформить

покупку абонеента». Пробное занятие может быть проведено в первую очередь или может быть не проведено вовсе. Это объясняется различными рабочими ситуациями, не влияющими на общую эффективность учебного процесса. Также имеют место случаи, когда занятие было проведено до момента зачисления студента и покупки абонеента. С формальной точки зрения, это невозможно, однако этому факту было найдено объяснение, заключающееся в том, что преподаватель вносил информацию в систему уже после завершения событий в связи со своей занятостью.

Внимание аналитиков привлекли следующие существенные особенности карты процесса, представленной на рисунке 3:

- некоторые события чаще предшествуют завершению обучения;
- 23 клиента не записались на обучение после пробного занятия;
- 27 клиентов окончили обучение сразу после покупки абонеента;
- отношение общего числа занятий (проведенных и пропущенных) к числу оформленных абонеентов (далее M1, фактор эффективности использования ресурсов);
- отношение числа пропущенных по уважительной причине занятий к общему числу занятий (далее M2, фактор прибыльности клиента для организации, меньше – лучше);
- отношение числа пропущенных по неуважительной причине занятий к общему числу занятий (далее M3, фактор вовлеченности клиента в образовательный процесс, меньше – лучше).

По 2 и 3 пунктам заказчику были переданы данные для изучения причин этих ситуаций и принятия нужных мер в случае необходимости. По итогам общего анализа стало очевидным, что значительный интерес представляло бы рассмотрение карты бизнес-процесса в разрезе конкретного клиента, преподавателя или филиала с учетом описанных выше факторов. Авторами был разработан модуль, результаты работы которого, а именно сгенерированные карты процессов, представлены ниже. Для коэффициента M2 и M3 в скобках указано среднее значение по всему журналу событий.

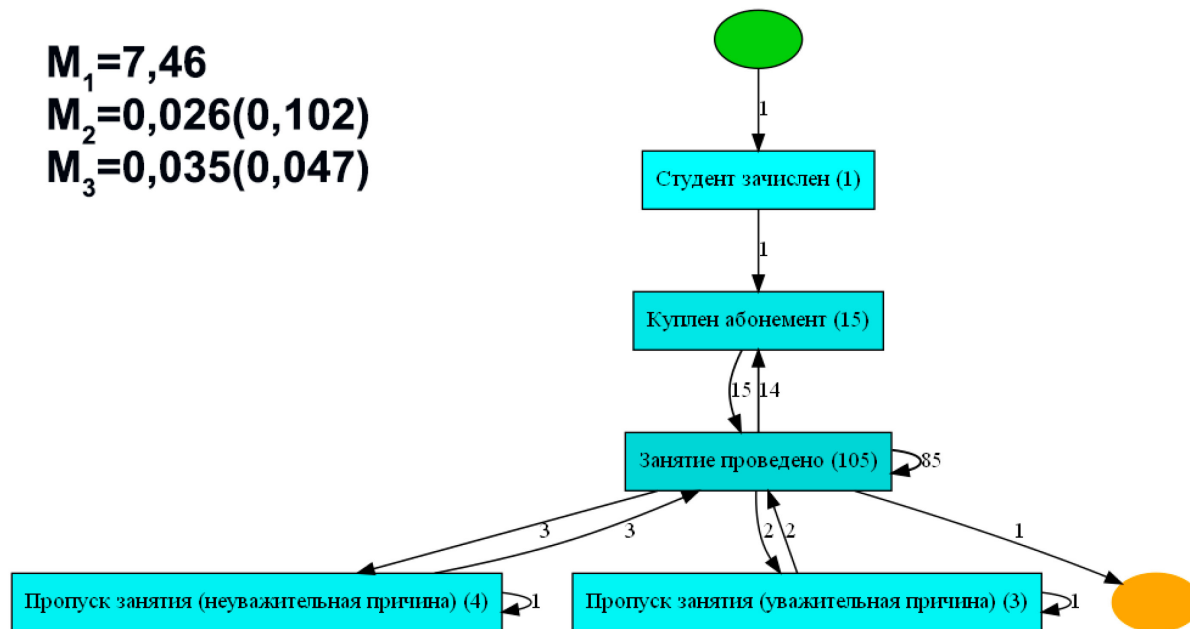


Рис. 4 – Карта процесса для клиента с низким количеством пропусков

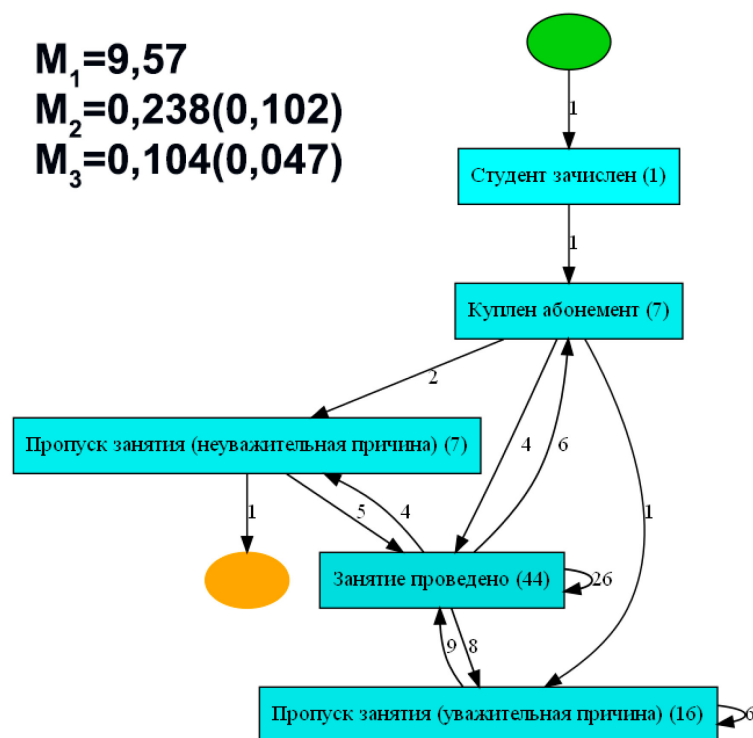


Рис. 5 – Карта процесса для клиента с высоким количеством пропусков

Поставленные перед авторами задачи были выполнены в полном объеме. Руководитель образовательной организации не только получил информацию о нескольких десятках «аномальных» траекторий, анализ которых поможет выявлению имеющихся системных проблем, но и в любой момент может воспользоваться созданным инструментом непосредственно из корпоративной информационной системы, что будет способствовать повышению ключевых показателей эффективности.

Также, на практике были подтверждены достоинства PM4Py, заключающиеся в простоте использования (для визуализации необходимо всего порядка 20-ти строк кода), открытом исходном коде и GPL лицензии, высокой скорости работы с данными.

Список литературы

1. Irani Z., Hlupic V., Giaglis G. Guest Editorial: Business Process Reengineering: An Analysis Perspective // Int. J. Flex. Manuf. Syst. 2002. Vol. 14. P. 5–10.
2. VAN DER AALST W.M.P. THE APPLICATION OF PETRI NETS TO WORKFLOW MANAGEMENT // J. Circuits, Syst. Comput. 1998. Vol. 08, № 01. P. 21–66.
3. Tuyakova Z., Cheremushnikova T. ANALYSIS OF BUSINESS PROCESSES IN THE SYSTEM OF TOOLS FOR ASSESSING THE ACTIVITIES OF A COMPANY // Bull. South Ural State Univ. Ser. "Economics Manag. 2021. Vol. 15, № 1. P. 144–157.
4. Английский языковой центр Perfect English, г. Красноярск: [Электронный ресурс]. URL: <http://perfecteng.ru> (Дата обращения: 14.10.2022).
5. Van der Aalst W.M.P. Process Mining. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011.
6. Dumas M., La Rosa M., Mendling J. & Reijers H.A. (2018): Fundamentals of Business Process Management, Second Edition. Springer, doi:10.1007/978-3-662-56509-4.
7. Mobile and Web-Based Instant Messaging App for Enterprise - HCL Notes: [Электронный ресурс] // HCL Digital Experience software. URL: <https://www.hcltechsw.com/notes/> (Дата обращения: 14.10.2022).
8. PM4Py - Process Mining for Python: [Электронный ресурс]. URL: <https://pm4py.fit.fraunhofer.de> (Дата обращения: 14.10.2022).
9. Berti A., van Zelst S. J., van der Aalst W. Process Mining for python (PM4Py): bridging the gap between process-and data science //arXiv preprint arXiv:1905.06169. – 2019.
10. Schneider, Enzo. (2020). Integrating resource and workload awareness in the PM4Py Distributed Engine.

2.3.1.

В.В. Попцов канд. техн. наук, Н.О. Сапоженков канд. техн. наук

Тюменский индустриальный университет,
Институт Транспорта,
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
Тюмень, satm_tsogu@mail.ru

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АВТОМОБИЛЕЙ**

Усовершенствованные инженерные разработки, технологические достижения и высокая точность изготовления составных элементов определяют качество и увеличенный срок службы современных автомобилей, что является одной из причин увеличения продолжительности эксплуатации на протяжении всего жизненного цикла. Статистика показывает, что с каждым годом парк легковых автомобилей в России стареет – средний возраст пассажирских автомобилей на дорогах за последние 5 лет увеличился в среднем на 2,5 года и в 2022 году превысил 12 лет. Цена на вторичном рынке ежегодно падает, а стоимость обслуживания растёт, поэтому владельцы продолжают искать способы извлечь максимальную выгоду из эксплуатации автомобилей, что способствует увеличению продолжительности циклов замены. В этой связи исследования по определению экономически целесообразного срока службы автомобилей на основе оценки стоимости жизненного цикла актуальны.

Ключевые слова: Срок службы, жизненный цикл, затраты, ремонт, технико-экономический метод, оптимизация, техническое обслуживание, остаточная стоимость.

Технологический прогресс влияет на принятие решений о замене автомобиля. Производители продолжают внедрять технологические усовершенствования, которые улучшают экономию топлива, повышают уровень выбросов, модернизируют оборудование безопасности и упрощают требования к техническому обслуживанию. Средства безопасности, такие как система контроля тяги и устойчивости, тормоза с ABS, индикаторы давления в шинах и боковые подушки безопасности, всё чаще входят в стандартную комплектацию даже базовых моделей. Средства безопасности снижают аварийность и защищают пассажиров. Кроме того, производители предоставляют более длительные гарантии на некоторые модели, продолжая повышать их надёжность. В этой связи количественная оценка степени износа автомобилей является важным индикатором при определении момента замены автомобиля на основе показателей эксплуатации, степени технологического совершенства и критериев безопасности [1–3].

На формирование остаточной стоимости автомобиля влияет множество показателей потребительских свойств:

- пробег (наработка);
- топливная экономичность;
- популярность и изменение потребительских предпочтений на рынке;
- техническое состояние;
- надёжность.

Наибольшее влияние на уменьшение стоимости оказывают повреждение автомобиля, как снаружи, так и внутри, возникшие в результате дорожно-транспортных происшествий, в которых мог побывать автомобиль, даже если последствия от них были устранены. Изначально спроектированные с приоритетом на длительный срок службы модели имеют большую ценность в отличие от новых брендов с неоднозначной репутацией в плане надёжности. При этом независимо от типа и модели новые автомобили обесцениваются намного быстрее, чем подержанные.

Ниже приведены наиболее популярные методы определения сроков замены автомобилей:

- замена через установленные интервалы времени в зависимости от возраста и пробега;
- замена в случаях, когда стоимость ремонта превышает стоимость автомобиля;
- интуитивный метод;
- метод минимальных затрат;
- метод максимальной прибыли;
- технико-экономический метод на основе стоимости жизненного цикла.

Замена через установленные интервалы основана на установлении руководящих принципов по классам автомобилей в зависимости от возраста или пробега. В соответствии с этим методом транспортное средство заменяется по достижении установленного возраста или пробега. Преимуществом метода интервальной замены является простота его применения, поскольку он устраняет субъективность и суждения из процесса принятия решения о замене. Недостатком является то, что он может не привести к наиболее экономичным затратам, поскольку не учитывает изменчивость условий эксплуатации транспортных средств. В частности, некоторые модели исторически более надёжны и долговечны и, как правило, могут эксплуатироваться дольше без капитального ремонта по сравнению с менее надёжными аналогами.

Замена при превышении стоимости ремонта позволяет поддерживать автомобиль в рабочем состоянии до тех пор, пока он не потребует капитального ремонта, стоимость которого превышает стоимость автомобиля. Как правило, это происходит, когда выходит из строя какой-либо крупный компонент, например, трансмиссия или двигатель.

Интуитивный метод зависит от опыта и профессионального суждения при принятии решений о замене оборудования. При таком методе оборудование часто заменяется, когда требуется капитальный ремонт или когда подписывается новый контракт с жёстким графиком и небольшим количеством возможностей для простоя оборудования. Этот метод не позволяет принять экономически выгодное решение, так как не предполагает учёт фактических затрат в составе жизненного цикла модели.

Метод минимальных затрат учитывает затраты на эксплуатацию и обслуживание, а также амортизацию транспортного средства. Решение о замене принимается, когда расчётная годовая стоимость автомобиля на следующий год превышает годовую стоимость эксплуатации нового автомобиля.

Метод максимизации прибыли основан на принятии решения о замене, когда предполагаемая прибыль в следующем году падает ниже среднегодовой кумулятивной заменяемого транспортного средства. Этот метод применяют только тогда, когда точно известны производительность, эксплуатационные расходы и рентабельность выполненной транспортной работы на одно транспортное средство.

Метод оценки стоимости жизненного цикла в сравнении с изложенными имеет минимум недостатков и при наличии аналитических данных является наиболее достоверным и точным (Рис. 1).

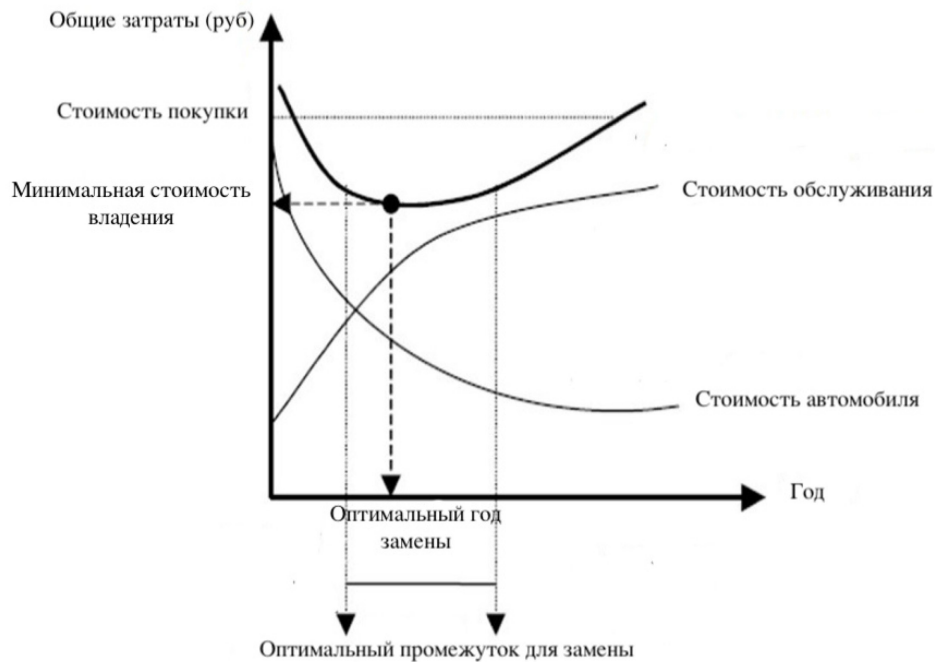


Рис.1 – Техничко-экономический метод определения срока службы

По мере приращения наработки транспортных средств затраты на техническое обслуживание (ТО) и ремонт имеют тенденцию к увеличению, в то время как амортизация снижается. Экономически целесообразный срок службы соответствует минимуму суммы затрат на владение и эксплуатацию. Анализ жизненного цикла может применяться в качестве инструмента управления тремя способами. Во-первых, анализ может быть использован для разработки рекомендаций по классам транспортных средств на основе критериев замены по возрасту или пробегу до ввода транспортных средств в эксплуатацию. Во-вторых, анализ может быть использован для оценки отдельных транспортных средств, чтобы определить, следует ли продолжать их эксплуатацию либо требуется замена. В-третьих, анализ может применяться для оценки экономической эффективности программ капитального ремонта больших грузовиков и единиц оборудования, чтобы определить, является ли экономически эффективным восстановление единицы и продление её срока службы в сравнении с заменой на новую. Исходными данными для анализа являются затраты на амортизацию, страхование, топливо, ТО и ремонт (Рис. 2).

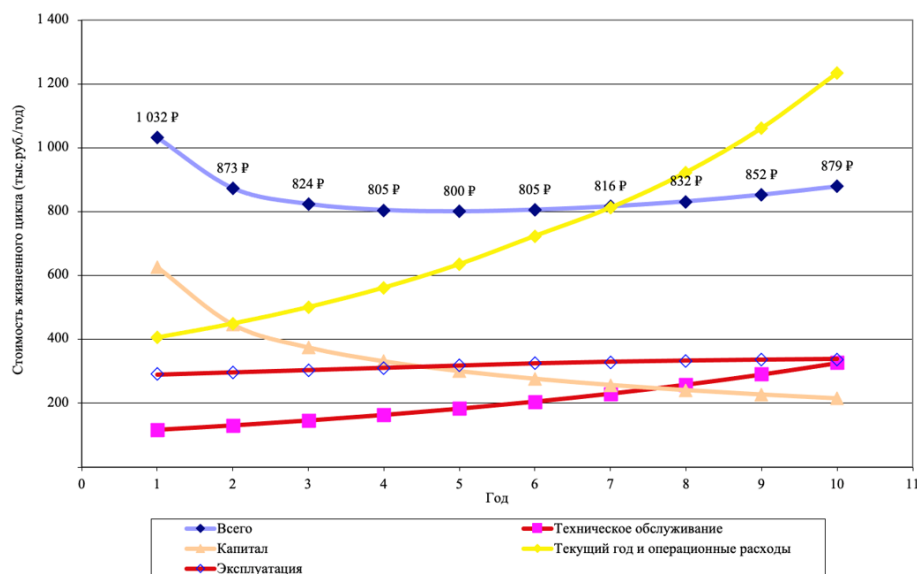


Рис. 2 – Определение оптимального срока службы автомобилей

Одно из основных допущений в оценке заключается в том, что предполагаемые затраты на ТО могут быть спрогнозированы только на основе опыта эксплуатации. Поэтому при интерпретации результатов необходимо учитывать степень достоверности данных, на основе которых производилась оценка. Более того, формирование затрат на ТО в ретроспективе подвержено тенденции занижения истинных расходов, поскольку старые автомобили эксплуатируются менее интенсивно, капитальный ремонт может откладываться или не проводиться вовсе, а технически неисправные модели уже не поступают в ремонт и, как правило, к моменту сбора статических данных фактически выведены из эксплуатации.

Таким образом, установлено, что достоверность оценки стоимости жизненного цикла на основе технико-экономического метода существенно зависит от численных значений показателей эксплуатационных свойств, поэтому исходные данные для аналитической обработки должны отображать действительные расходы на ТО и ремонт с учётом показателей инфляции и снижения интенсивности эксплуатации по мере приращения наработки, что позволяет принимать объективные решения при управлении затратами на обслуживание автомобилей.

Список литературы

1. *Захаров Н.С.* Определение оптимальной периодичности заряда автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период / Н. С. Захаров, Н. О. Сапоженков // Материалы Международной научно-технической конф.: ТТС. – 2016. – С. 134–139.
2. *Сапоженков Н.О.* Влияние сезонных условий на работу автомобильных аккумуляторных батарей [Текст] / Н. О. Сапоженков, Н. С. Захаров // В сборнике ПФСТ. – 2013. С. 307–309.
3. *Сапоженков Н.О.* Влияние уровня заряженности аккумуляторной батареи на пуск двигателя легковых автомобилей в зимний период [Текст] / Н.О. Сапоженков // Материалы МНПК.: Новые технологии – нефтегазовому региону. – 2016. – С. 253–256.

2.3.1.

А.М. Самойлов, А.А. Блохин, А.А. Сатаев, В.В. Андреев

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»,
Образовательно-научный институт ядерной энергетики и технической физики
им. академика Ф.М. Митенкова,
Нижний Новгород, blokhin-2016@list.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ОДНОТРУБНОЙ МОДЕЛИ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В работе представлено исследование неустойчивости процесса переноса тепла и массы в контуре с естественной циркуляцией теплоносителя. В результате проведения экспериментальных работ было выявлено, что на относительно низких мощностях возникают существенные отклонения теплофизических параметров от среднего значения. Полученные результаты могут быть использованы для разработки расчетных методик для проектирования систем, работающих на принципе естественной циркуляции.

Ключевые слова: естественная циркуляция, гидродинамическая неустойчивость, судовые ЯЭУ, внешнее воздействие.

Введение. В настоящее время во всем мире активно развивается тематика судовых ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Так, в Российской Федерации за последние два года были введены в эксплуатацию два новых атомных ледокола проекта 22220, одно судно находится на стадии заводских ходовых испытаний. Еще два ледокола проекта 22220 планируется ввести в эксплуатацию до 2026 года. Помимо ледокольного флота активно развивается направление плавучих атомных станций, известно, что в разработке находятся три таких объекта.

В соответствии с федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии НП 001-15 к проектируемым ЯЭУ предъявляются повышенные требования с точки зрения безопасной эксплуатации, включая режимы с нарушением нормальной эксплуатации и аварийные режимы. Устойчивость процессов переноса массы и тепла является определяющим параметром при расчетном обосновании конструкции активных зон и теплообменного оборудования [1]. При проектировании систем атомных станций и реакторных установок должно отдаваться предпочтение системам, устройство которых основано на пассивном принципе действия (саморегулирование, естественная циркуляция и другие естественные процессы). Вопросы исследований естественной циркуляции актуальны не только с точки зрения обеспечения безопасности, но и с точки зрения проектирования установок с реализацией ЕЦ как основного способа отвода тепла от активной зоны реакторной установки, что особенно актуально для корабельных ЯЭУ.

Таким образом, современные подходы при проектировании ЯЭУ и требования нормативных документов по обеспечению безопасности повысили актуальность исследований вопросов естественного тепломассопереноса с точки зрения его устойчивости.

Методика эксперимента. Исследование процессов неустойчивости проводилось на однострунной модели-имитаторе одной из петель циркуляции судовых ядерных энергетических установок на базе кафедры «Ядерные реакторы и энергетические установки» НГТУ им. Р.Е. Алексеева [2]. Установка включает в себя следующие основные элементы: нагреватель (1), охлаждаемый канал (2), теплообменник типа «труба в трубе» (3), буферная емкость, в характерных точках установлены датчики термометрии ($T_1 - T_4$). Принципиальная схема установки приведена на рисунке 1.

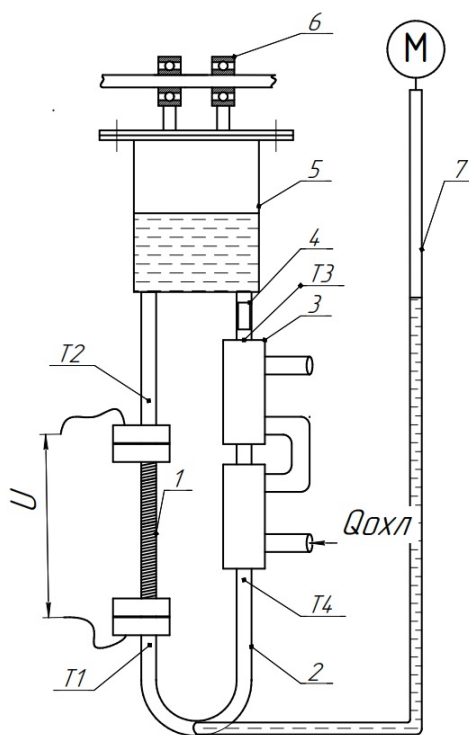


Рис. 1 – Принципиальная схема стенда

Эксперимент проводился на четырех уровнях мощности: 1,5 кВт, 2 кВт, 2,5 кВт и 3 кВт. Так как рассматривается однотрубная модель (не система параллельных каналов), то с достаточной точностью процесс переноса массы и темпа может быть описан одномерной математической моделью, включающей в себя уравнения сохранения количества движения (1) и уравнения баланса тепловой энергии (2, 3). На всех исследуемых режимах отсутствует объемное кипение теплоносителя. Исходными данными для расчета являются температуры, полученные по сигналам датчиков термометрии T1-T4:

$$\frac{d}{dt}(L_{\text{общ}} \cdot M) = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} (H_{\text{ец}} - H_{\text{ном}}) \quad (1)$$

где $H_{\text{пот}}$ – гидравлическое сопротивление контура, Па; $H_{\text{ец}} = \oint g \rho(x) dh(x)$ – движущий напор ЕЦ, Па; $h(x)$ - проекция контура на направление вектора силы тяжести

$$l_1 \frac{\pi \cdot d^2}{4} C_p \cdot \rho \frac{d\bar{t}_1}{d\tau} = N + M \cdot C_1 \cdot t_1 - M \cdot C_1 \cdot t_2 \quad (2)$$

$$l_3 \frac{\pi \cdot d^2}{4} C_p \cdot \rho \frac{d\bar{t}_3}{d\tau} = M \cdot C_1 \cdot t_3 - M \cdot C_1 \cdot t_4 - kF(\bar{t}_3 - t_{\text{охл}}) \quad (3)$$

где C_p и ρ – удельная теплоёмкость и плотность воды; $\bar{t}_1, \bar{t}_3$ – средние по участкам температуры воды; $t_{\text{охл}}$ – температура охлаждаемой воды; kF – коэффициент теплопередачи и поверхность теплопередачи.

Результаты эксперимента.

Основными параметрами, свидетельствующими о наличии неустойчивости, являются температурные напоры в нагреваемом и охлаждаемом каналах, а также массовая скорость теплоносителя [3]. На рисунках 2 и 3 представлено распределение температурных напоров на нагреваемом и охлаждаемом участке, соответственно. На рисунке 4 представлено распределение массового расхода теплоносителя, который оценивался в соответствии с уравнениями (1, 2, 3). Прослеживается, что в начале развития процесса естественной циркуляции имеет место существенное отклонение температурного напора на охлаждаемой ветви, также, анализируя поведение массового расхода среды, можно заключить, что на малых мощностях имеет место существенный разброс по расходу (порядка 10%), при повышении мощности разброс уменьшается.

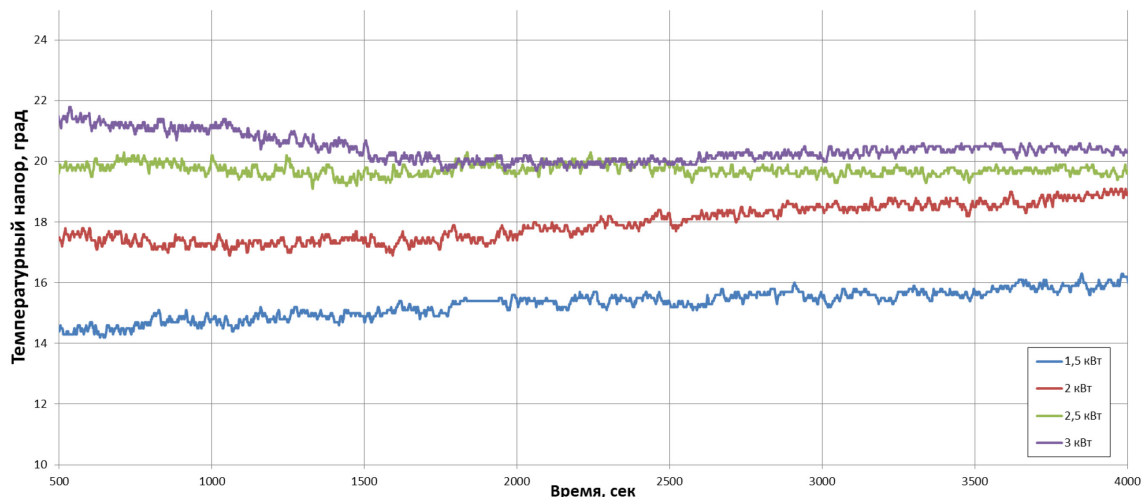


Рис. 2 – Температурный напор на нагреваемом участке

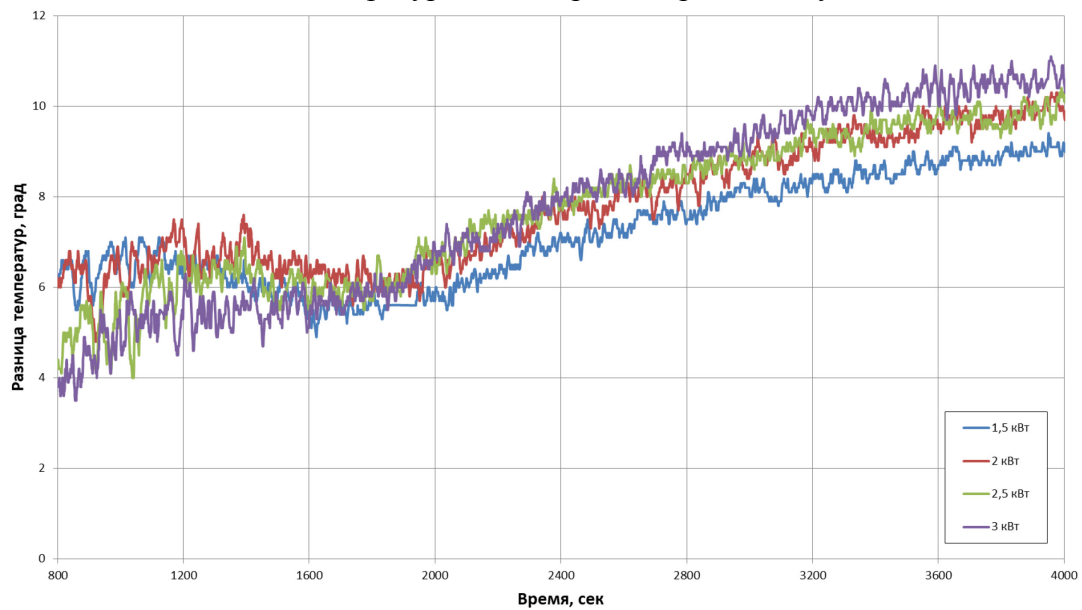


Рис. 3 – Температурный напор на охлаждаемом участке

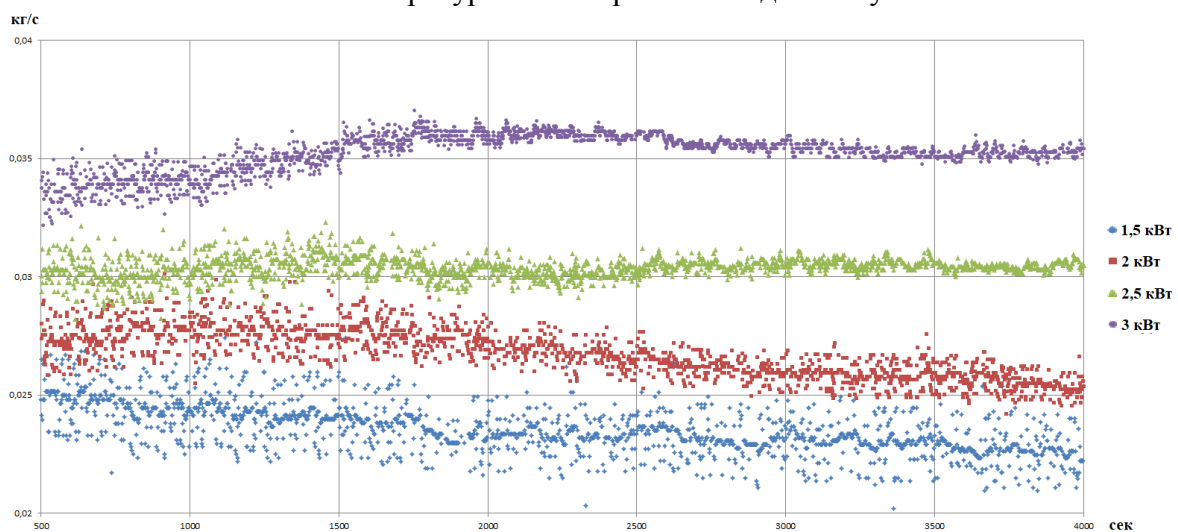


Рис. 4 – Массовый расход теплоносителя при различных мощностях

На максимально исследуемой мощности отклонения можно обусловить погрешностью измерительных приборов. Пульсации температурного напора на нагреваемой ветви также свидетельствуют о наличии неустойчивости, при этом с ростом мощности амплитуда пульсаций уменьшается.

Заключение. На основании результатов экспериментальной работы было выявлено, что при работе на относительно низких уровнях мощности в контурах с естественной циркуляцией возникают процессы гидродинамической неустойчивости. Причем амплитуда отклонения массового расхода составляет величину порядка 10%. Наибольшие отклонения температуры охлаждаемой ветви имеют место в начале развития процесса ЕЦ, при этом максимальное отклонение составляет приблизительно 1 °С, что в относительных единицах составляет приблизительно 20%.

Список литературы

1. Баттерворс Д., Хьюитт Г. Теплопередача в двухфазном потоке. - 2-е изд. - М.: Энергия, 1980. - 328 с.
2. Сатаев А.А., Самойлов А.М., Андреев В.В., Блохин А.А. Патент на полезную модель № 206341 U1 Российская Федерация, МПК G01N 25/58. Стенд для испытаний на качку и статический крен гидравлических контуров с естественной циркуляцией: № 2021111425 : заявл. 22.04.2021; опубл. 06.09.2021; заявитель ФГБОУ ВО НГТУ им. Р.Е. Алексеева"
3. Митенков Ф.М., Моторов Б.И. Механизмы неустойчивых процессов в тепловой и ядерной энергетике. - М.: Атомиздат, 1981. - 88 с.

2.3.1.

А.А. Сатаев, А.М. Самойлов, А.А. Блохин, В.В. Андреев

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»,
Образовательно-научный институт ядерной энергетики и технической физики
им. академика Ф.М. Митенкова,
Нижний Новгород, sancho_3685@mail.ru

**МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА
К ЗАДАЧЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ**

В статье рассматривается постановка задачи применения методов системного анализа к вопросам экспериментального моделирования процессов неизотермического смешения и естественной циркуляции при воздействии на данные процессы внешних динамических сил. Основной целью является системное рассмотрение влияния воздействия внешних динамических сил, создание инструментов идентификации, визуализации и моделирования данных процессов для повышения точности оценки и прогнозирования теплогидравлических процессов, применительно к оборудованию судовых ЯЭУ.

Ключевые слова: *системный анализ, внешние динамические силы, судовая энергетическая установка, теплогидравлические процессы.*

Введение. Современная энергетическая установка стационарного или транспортного назначения представляет из себя единый технический комплекс разнородных элементов оборудования связанных сложной схемой технологических связей. В ней осуществляются взаимосвязанные и непрерывные процессы получения, преобразования, передачи и перераспределения различных видов энергии и теплоносителя (рабочего тела) [1]. Поэтому при проектировании таких объектов учитываются большое разнообразие элементов оборудования, параметров, характеризующих каждый элемент оборудования, структурные соединения элементов оборудования в технологическую схему [2] и соответственно система его автоматического управления.

Практика автоматизации ядерных энергетических установок и других технических устройств, с введением не зависящих от действий оператора схем и режимов и появляющиеся возможности её технической реализации заставляют непрерывно модифицировать старые постановки задач анализа и синтеза систем управления и генерировать новые. Однако, требования к системам и качеству их функционирования, надежности, способности работать в условиях неполноты априорной и текущей информации постоянно растут. При этом ключевой целью, определяющей успех всей разработки системы управления, была и остается идея поиска оптимальных параметров. Данная постановка задачи подразумевает применение методов системного анализа [3].

Дальнейшее совершенствование конструкций ядерных энергетических установок, улучшение расчетных методик, выбор экономичных и безопасных режимов работы неразрывно связано с получением новой, все более полной информации о теплофизических процессах в оборудовании реакторной установки. При создании судовых реакторных установок нового поколения основным требованием является максимально повышенная ресурсная характеристика элементов оборудования, а в особенности активной зоны. С точки зрения проектирования, необходимо минимизировать факторы воздействия на ресурсную характеристику для повышения технико-экономических показателей.

Неравномерность процессов неизотермического смешения потоков во внутриреакторном тракте оказывает существенное влияние на материал корпуса, вызывая термоциклические пульсации. Их определение как по амплитуде, так и по местонахождению необходимо для оценки прочности и надежности элементов реакторной установки.

Также не менее важной проблемой для ядерной энергетики, а в частности судовых ЯЭУ является проблема учета воздействия внешних динамических сил. К таким силам относятся силы, вызванные воздействием на все судно (а также все его элементы, включая ЯЭУ) вынужденных и свободных колебаний – качки.

Исходя из этого имеется два пути нивелирования или управления данным фактором – рациональное размещение ЯЭУ относительно судна и дополнительный учет, и исследование данного фактора [4].

Если рассматривать вопрос по размещению ЯЭУ относительно судна, то здесь есть ряд особенностей. Они напрямую связаны со спецификой этого типа установок. При определении положения ЯЭУ относительно судна необходимо учитывать наличие следующих важнейших факторов, таких как: наличие проникающего радиоактивного излучения и необходимости радиационной защиты персонала, вероятность радиоактивного загрязнения окружающей среды, возможность возникновения аварии, в том числе с утечкой теплоносителя. Данные факторы определяют значительные (включая биологическую защиту) массогабаритные показатели ЯЭУ.

Но, с другой стороны, использование ядерной энергоустановки позволяет практически полностью отказаться от запасов топлива на судне (кроме запаса топлива для энергетической установки вспомогательного назначения), но возможно наличие и постепенное накопление радиоактивных отходов, а также необходимость проведения периодической перезарядки активных зон реакторов.

Поэтому наиболее рациональным представляется размещение ЯЭУ в средней части судна. Это связано с обеспечением оптимальной продольной остойчивости и меньшей уязвимости при аварийных ситуациях. Однако в проектах танкеров и крупных рудовозов, в силу особенностей архитектуры данного класса судов в проектах заложено применение кормового размещения ЯЭУ.

Исходя из этого формальная постановка задачи (рисунок 1) по исследованию новой синтезированной системы включает в себя задание параметров из двух различных фундаментальных разделов физики. Основными (но не исчерпывающими) входными теплогидравлическими параметрами при испытаниях моделей являлись расходы и характерные температуры по петлям циркуляции. Основные параметры колебательного движения модели удобно задавать в виде матрицы параметров качки, основными компонентами которой являются период колебаний, амплитуда, а также разность фаз (начальная фаза).

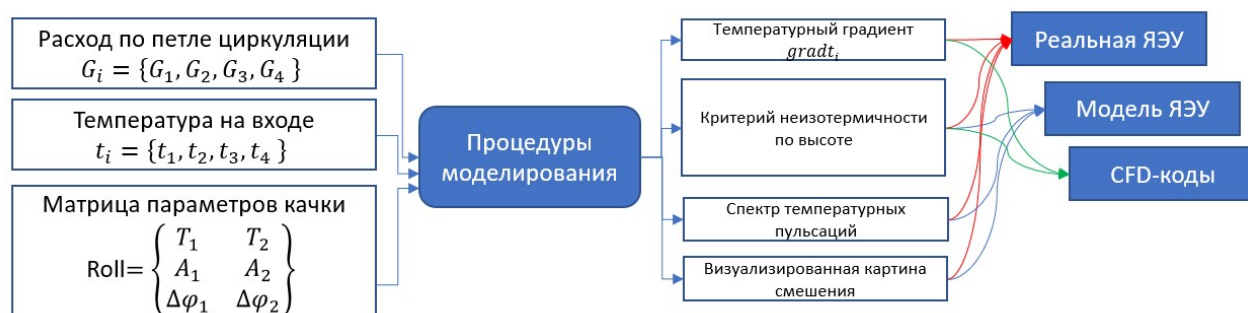


Рис. 1 – Формальная постановка задачи по моделированию системы теплогидравлика+воздействие внешних сил

Системный анализ – итеративный процесс, состоящий из оценки альтернативных решений, полученных в процессе синтеза системы.

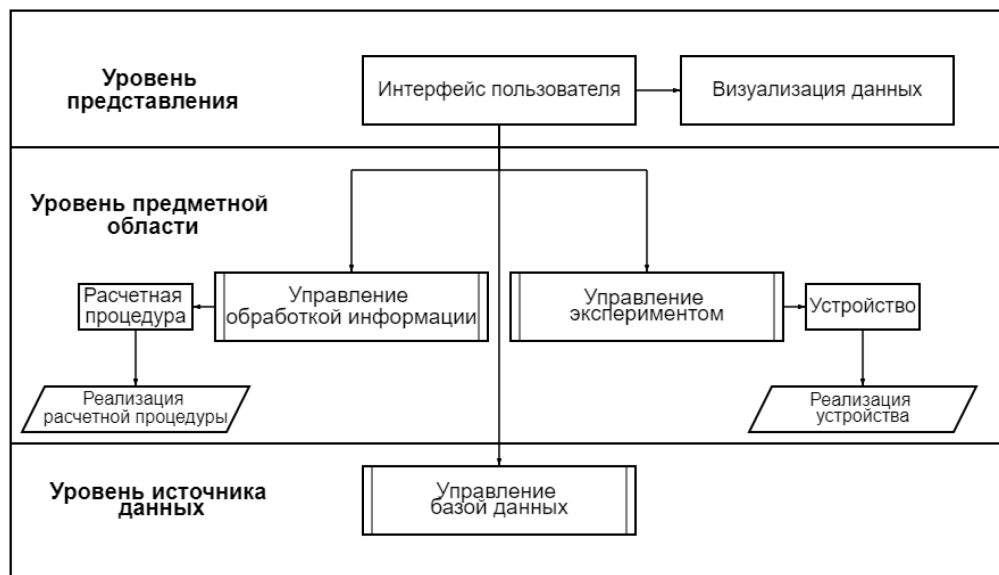


Рис. 2 – Блок-схема послойного представления технической системы

На рисунке 2 представлена процедура синтеза новой системы на основе послойного представления элементов. Практически для любой технической системы можно выделить три взаимосвязанных уровня: уровень представления, в котором осуществляется интерпретация и визуализация данных, пользовательский интерфейс; уровень предметной области, включающий основные элементы технической системы (экспериментальный подход (устройства) и расчетный подход (расчетные процедуры)); уровень источника данных, включающий базы и банки данных. Именно такой подход и был использован при синтезе новой системы в рамках данной работы.

Таким образом при разработке новых проектов и модернизации уже созданных реакторных установок необходимо подходить комплексно, учитывая все возможные связи между элементами различных систем.

Кроме того, с развитием современных компьютерных технологий большая роль уделяется цифровым аналогам и моделям – «Цифровым двойникам» [5]. При рассмотрении всех этих аспектов в комплексе у инженера появляется возможность выбрать правильное управляющее воздействие на реакторную установку (как в процессе ее проектирования, так и в процессе эксплуатации) и достичь повышения надежности, экономичности и безопасности.

Список литературы

1. Сериков Э.А. Теплоэнергетические системы и энергоиспользование в теплотехнологическом производстве: Учебное пособие для вузов. –2-ое издание, дополненное. – Алматы. 2017
2. Целемечкий В.А. Основы технической системологии. Т. 2. // СПб. Высшее военно-морское инженерное училище, 1996.
3. Вдовин В.М. Теория систем и системный анализ: учебник для вузов / В.М. Вдовин, Л. Е. Суркова, В. А. Валентинов. —Москва: Дашков и К, 2010. — 640 с
4. Системное исследование процессов теплообмена в условиях принудительной и естественной циркуляции при внешнем динамическом воздействии / А. А. Сатаев, А. М. Самойлов, А. А. Блохин, В. В. Андреев // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – № 2-1(56). – С. 155-161.
5. Виртуальная математическая модель контура с естественной циркуляцией теплоносителя в программном комплексе Simintech / В. В. Андреев, А. А. Блохин, А. М. Самойлов, А. А. Сатаев // Информационные системы и технологии. – 2022. – № 3(131). – С. 5-13.

2.3.1.

А.Ю. Унгер

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

ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛЬНЫХ ГРАММАТИК ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПОИСКА

В работе предложено использовать аппарат формальных грамматик для решения задач оптимизации. Вместо традиционного поиска решения с помощью методов наследования, мутации, селекции и кроссинговера, предложено модифицировать грамматику так, чтобы она генерировала более приспособленные решения. Введено понятие качества грамматики, являющегося аналогом функции приспособленности. Приведен генетический оператор, который по дереву разбора строки модифицирует грамматику, на каждом шаге добавляя новое правило вывода. Показано, как использовать данный генетический оператор для получения грамматики максимального качества.

Ключевые слова: *формальная грамматика, дерево разбора, эволюционный поиск, генетический алгоритм.*

Введение. Формальная грамматика является мощным инструментом для описания языков [1]. В задачах оптимизации, решаемых с помощью эволюционных алгоритмов, решениями-кандидатами являются строки, состоящие из нулей и единиц, моделирующие цепочки генов («генотип»).

Предпосылкой данной работы является тот факт, что один и тот же язык может быть описан множеством (в общем случае, бесконечным) эквивалентных грамматик [2]. Каждая грамматика генерирует одно и то же множество строк, однако вопрос выбора подходящей грамматики может оказаться ключевым для решения конкретной задачи оптимизации [3].

Основные теоретические положения. Будем рассматривать исключительно контекстно-свободные грамматики [4], которые представляют собой четверку множеств $G = \{T, N, S, P\}$, где T – множество терминалов, или алфавит нашего языка; N – множество нетерминалов, причем $N \cap T = \emptyset$, S – символ предложения, с которого начинается генерация любой строки языка, P – множество правил вывода, каждое из которых состоит из одного нетерминала в правой части и строки, состоящей из терминалов и нетерминалов, в левой.

Можно сказать, что любая строка s может быть сгенерирована в результате последовательного применения следующего алгоритма. В начале строка ставится в соответствие стартовому символу $S \rightarrow \alpha$. Далее, до тех пор пока в строке не останутся только терминалы каждый N_0 нетерминал в α заменяется на правую часть того правила вывода, в левой части которого стоит N_0 . При этом соответствующее правило вывода выбирается с равной вероятностью $1/|R_\alpha|$. Здесь R_α – количество правил вывода с нетерминалом N_0 в левой части. С помощью данной процедуры с различной вероятностью может быть сгенерирована любая строка, принадлежащая языку [5]. Введем следующее определение.

Функция вероятности для грамматики G , определенной для данного языка $L(G)$, есть вероятность $p_G(s)$ сгенерировать строку s , используя G . Очевидно следующее утверждение: $\sum_s p_G(s) = 1$, которое говорит о том, что любая строка, генерируемая данной грамматикой G , принадлежит языку L [6].

Данная функция вероятности играет ключевую роль в генерировании решений-кандидатов в задачах оптимизации. Определим *качество грамматики*, как ожидаемую

приспособленность строки-кандидата, сгенерированной данной грамматикой. Формально, при заданных грамматике и функции приспособленности $f(s)$, качество грамматики определяется так

$$q_f(G) = \sum_s p_G(s) f(s) \quad (1)$$

Таким образом, среднее значение функции приспособленности для строк, генерируемых грамматикой G , есть $q_f(G)$. Данное положение говорит о том, что, если две эквивалентные грамматики G_1 и G_2 таковы, что для них $q_f(G_1) > q_f(G_2)$, то решения, генерируемые грамматикой G_1 будут иметь лучшую приспособленность, чем решения, генерируемые G_2 .

Эволюции грамматик. Определим класс изменений («мутаций»), приводящих к эквивалентной грамматике G' , отличающейся от исходной функцией вероятности, т.е. $p_{G'} \neq p_G$. При этом важно, чтобы в результате мутаций не изменился язык $L(G)$. Воспользуемся таким понятием, как *дерево разбора* строки по данной грамматике [7]. Для примера рассмотрим дерево разбора для некоторой грамматики $G = \{(0,1), (A, B, C, D, E, S), S, P\}$, алфавитом в которой являются нули и единицы (рисунок 1).

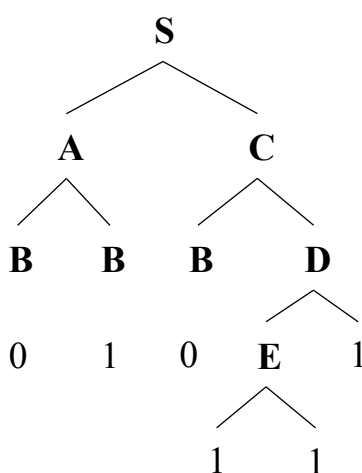


Рис. 1 – Дерево разбора строки «010111»

Выберем из дерева некоторый узел и сделаем его корневым для дерева высотой равной 1. Например, на рисунке 2 выбран узел D , которому соответствует грамматическое правило: $D \rightarrow E1$. Из определения дерева разбора следует, что данное поддерево всегда соответствует правилу, которое уже содержится в исходной грамматике.

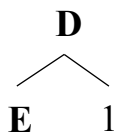


Рис. 2 – Поддерево, которому соответствует правило $D \rightarrow E1$

Из данного утверждения следует, что введение нового правила не может повлиять на язык, задаваемый исходной грамматикой [8]. Определим генетический оператор, переводящий грамматику G в грамматику G' .

1. Исходная строка генерируется грамматикой G , и для нее строится дерево разбора.
2. Из дерева разбора выбирается поддерево, начиная с некоторого узла N , включающее всех его прямых потомков. Данное поддерево само по себе становится деревом с корнем в узле N .
3. Новое грамматическое правило формируется так, чтобы в его левой части стоял нетерминал N , а в правой – последовательность листьев (терминалов) данного поддерева, записанных слева направо.

4. Грамматика G' формируется из грамматики G добавлением нового правила вывода.

При соблюдении правил 1-4 мутации не могут изменить исходный язык, но могут изменить качество грамматики. В самом деле, добавление нового правила, генерирующего некоторую строку, повышает вероятность появления данной строки в качестве решения-кандидата исходной задачи эволюционного поиска.

Рассмотрим пример. Простейшая тривиальная грамматика G , которая включает только два правила вывода и с равной вероятностью генерирует ноль или единицу: $A \rightarrow 0$ и $A \rightarrow 1$. В данном случае, $p_G(1) = p_G(0) = 1/2$. Мутуруя исходную грамматику, можно продублировать первое правило, таким образом, вероятность выпадения 0 станет больше $p_G(0) = 2/3$, а $p_G(1) = 1/3$. То же самое относится к дублированию правила для единицы. Таким образом, описанные мутации грамматики влияют на ее *качество*: некоторые решения появляются с большей вероятностью, чем другие.

В листинге ниже приводится эволюционный алгоритм (1+1) для преобразования грамматик. Здесь в качестве функции приспособленности выступает качество грамматики, а в роли генетического оператора – мутация грамматики, приведенная выше.

Исходные данные: Грамматика G , задающая язык L , функция приспособленности f , ставящая каждой строке вещественное число, заданное число итераций l .

Выходные данные: грамматика G' , эквивалентная грамматике G , такая что $q_f(G) \geq q_f(G')$.

```
1 foreach  $i \in \{1 \dots l\}$  do  
2    $G' \leftarrow \text{Mutate}(G)$   
3   if  $q_f(G') \geq q_f(G)$  then  
4      $G \leftarrow G'$   
5   end if  
6 end
```

Заключение. Основным результатом работы является применение контекстно-свободных грамматик для генерации решений-кандидатов некоторой задачи оптимизации. В отличие от других аналогичных работ в данной работе впервые предложено модифицировать не сами строки-решения на каждой итерации, а грамматику, которая эти строки генерирует. В идеале, можно предположить, что, располагая грамматикой, способной с высокой вероятностью генерировать решения вблизи глобального оптимума, можно вообще обойтись без сложного эволюционного поиска.

Список литературы

1. O'Neill M., Ryan C. Grammatical evolution // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2001. V.5, n.4. pp.349-358.
2. Unger A.Y. A formal pattern of information system design // Journal of Physics: Conference Series. 2021. V.2094. pp.032045.
3. Bartoli A., Castelli M. Weighted hierarchical grammatical evolution // IEEE Transactions on Cybernetics. 2020. V.50, n.2. pp.476-488.
4. Whigham P.A., Dick G., Maclaurin J. Examining the best of both worlds of grammatical evolution // Proceedings of the 2015 Genetic and Evolutionary Computation Conference. 2015. pp.1111-1118.
5. Malan K.M. A Survey of Advances in Landscape Analysis for Optimization // Algorithms. 2021. V.14. pp.1-16.
6. Michalski R.S. Learnable evolution model: Evolutionary processes guided by machine learning. Machine Learning. 2000. V.38. pp.9-40.
7. Shan R., McKay R., Abbass H. Program evolution with explicit learning // The 2003 Congress on Evolutionary Computation. 2003. V.3. pp.1639-1646.
8. 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.

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

2.3.3.

Г.А. Алексеев, В.Н. Кудашов, Е.Г. Селина

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики,
факультет ПИиКТ,
Санкт-Петербург, lena_selina@mail.ru

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЦЕССА
ОБРАЗОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННОГО РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА
УДАЛЕНИЕМ ПОКРЫТИЙ**

Рассмотрены особенности обеспечения качества автоматизированного процесса образования прецизионного регулярного микрорельефа удалением слоя в делительных машинах на основе рационального сочетания технологических, конструктивных и эксплуатационных параметров.

Ключевые слова: микрорельеф, резцовое устройство, гравирование, устойчивость.

При образовании штрихов, делений, рисунков, окон снятием покрытий резец в виде усеченного конуса или четырехгранной пирамиды с прямоугольным основанием снимает металлическое покрытие или грунт, нанесенный на поверхность заготовки. Этот вид образования прецизионного регулярного микрорельефа осуществляется при изготовлении таких изделий, как линейные и круговые штриховые меры, шкалы, сетки, лимбы испытательные таблицы и тесты, телевизионные таблицы и подобные им изделия. При изготовлении этих изделий применяются разные виды гравирования, в том числе гравирование по металлическим покрытиям на металлических заготовках с дальнейшим травлением или выращиванием штрихов, гравирование по различным грунтам на стекле и металлах с дальнейшим травлением и заполнением штриха и т. д. На точность выполнения профиля микрогеометрии снятием покрытий влияют такие факторы, как механические свойства материалов покрытия и заготовки, геометрическая форма профиля микрорельефа, точность установки и динамические процессы, связанные с процессом образования микрорельефа [1]. Как показывает анализ дефектов, возникающих при гравировании, наиболее существенное значение оказывает нестабильность процесса, вызывающая скалывание поверхности заготовки, пропуск участков с неснятым покрытием, образование микронеровностей на краях штрихов. Для анализа в процессе образования микрорельефа удалением пленочного покрытия рассмотрим упрощенную схему резцового устройства, предполагая, что ось вращения резцедержателя совершает плоскопараллельное движение в направлении образования штриха. Соответственно выполняются условия устойчивости системы при наличии неконсервативных позиционных сил, определяющих линейную координатную связанность. При этом учитываем, что влияние динамических процессов в кинематической цепи резцового устройства делительной машины сводится к наличию возмущающей силы, действующей на качающуюся часть суппорта и изменяющуюся по гармоническому закону с известными амплитудой и частотой.

При удалении слоя в процессе образования прецизионного микрорельефа осуществляется пластический контакт резца со снимаемым слоем и упругий контакт с подложкой. Вертикальная составляющая силы, действующей на резец, складывается из силы нормального давления на поверхность контакта P (s , q), где s — глубина упругого вдавливания, q — угол, характеризующий ориентацию резца относительно заготовки, и вертикальной

составляющей силы резания при снятии слоя. Горизонтальная составляющая силы складывается из силы трения по поверхности контакта $\mu P(\varphi, q)$, где μ - коэффициент трения между резцом и материалом подложки и горизонтальной составляющей силы резания при снятии слоя.

Так как при снятии слоя сила резания мала по сравнению с нормальным давлением, то мы можем пренебречь ее нелинейным характером изменения при колебаниях. Экспериментальные данные по вдавливанию индентора, имеющего форму резца, позволяют сделать допущение, что глубина вдавливания является линейной функцией силы вдавливания, но нелинейно зависит от угла ориентации резца относительно заготовки.

При отсутствии автоколебаний резцедержателя он может совершать вынужденные колебания под действием внешних сил и свободные колебания, вызванные начальными возмущениями в момент опускания резца на заготовку, также возмущениями, возникающими вследствие микронеровностей поверхностей заготовки, твердых включений в снимаемом слое, царапин и т. д. Для их исключения необходимо определить критическую глубину упругого вдавливания, при превышении которой движение будет носить апериодический характер, обусловленный демпфированием, возникающим в процессе взаимодействия резца с заготовкой. Зависимость силы нормального давления резца на заготовку имеет вид:

$$P(\varphi, q) = G\varphi_0^n cd \quad (1)$$

где G, n постоянные, определяемые экспериментально; φ_0 - угол наклона передней грани резца к плоскости заготовки в положении равновесия; d ширина штриха.

Минимальное значение P , соответствующее критической глубине упругого вдавливания определяется из соотношения

$$P_{min}(\varphi, q) = \frac{2V\varphi_0}{l^2 n} 2J\omega \quad (2)$$

где V - скорость движения резца; J - момент инерции качающейся части суппорта; ω - собственная частота резца; l - расстояние от вершины резца до оси качающейся части суппорта.

Таким образом, из (2) определяется минимально допустимая нагрузка, необходимая для стабилизации процесса образования микрорельефа, которая прямо пропорциональна скорости образования микрорельефа, величине заданного угла наклона качающейся части суппорта к плоскости заготовки, моменту инерции и собственной частоте колебаний качающейся части суппорта, и обратно пропорциональна квадрату расстояния от оси вращающейся части до оси резца.

При колебаниях резца в процессе образования микрорельефа изменяется как глубина упругого вдавливания, так и ориентация резца относительно заготовки. В определенных случаях может нарушиться процесс снятия слоя. Это произойдет в том случае, когда при сохранении контакта резца с заготовкой в процессе колебаний угол φ превысит критическое значение

$$\varphi = \varphi_0 + Y + \frac{l}{V} Y \geq \varphi_{kp} \quad (3)$$

где Y - амплитуда колебаний резцедержателя; φ_{kp} - критический угол установки резца, при котором происходит нарушение снятия покрытия, определяемый экспериментальным путем. При свободных колебаниях и при $P > P_{min}$, определяемой из (2) изменение угла φ имеет апериодический характер. При совместном воздействии свободных и вынужденных колебаний происходит периодическое изменение угла φ . Таким образом, при установке резца вблизи критического значения φ следует ожидать нарушение снятия слоя, которое может проявляться в образовании периодически повторяющихся дефектов штриха. Наиболее существенное уменьшение приращения угла φ при колебаниях достигается уменьшением момента инерции качающейся части суппорта, амплитуды и частоты возмущающей силы и увеличением нормальной нагрузки на резец. Таким образом, вынужденные колебания приводят к дефектам образования штриха в том случае, если их амплитуда достигает такого значения, при котором будет превышено критическое значение угла φ . Следовательно, из

этого условия можно найти допустимую амплитуду вынужденных колебаний и допустимый при прочих заданных условиях уровень возмущающих сил, действующих на резец в процессе снятия слоя. Рассмотрим процесс образования штриха, когда произойдет случайное нарушение условия (3), при возмущающих воздействиях, соответствующих давлению в зоне контакта резца с заготовкой, значение которого близко к твердости подложки и к твердости слоя, снимаемого царапанием.

В первом случае при отклонении резца от положения равновесия будут появляться микроразрушения подложки, что приведет к переменной глубине штриха. Во втором случае при отклонении резца от положения равновесия произойдет нарушение снятия, и резец будет двигаться по поверхности покрытия. В этом случае возникнут участки, на которых не снято покрытие. Для обоих случаев устойчивость процесса определяется из линейного уравнения второго порядка, в котором собственная частота и коэффициент линейного демпфирования периодически изменяются в соответствии с зависимостями $k_0^2(1 \pm \delta)$ и $2n_0(1 \pm \nu)$, где

$$k_0^2 = \frac{2B - \Delta B}{2J}, \quad n_0 = \frac{(2B - \Delta B)l \cos q}{4VJ}, \quad \nu = \frac{\Delta B}{(2B - \Delta B)l \cos q}, \quad \delta = \frac{\Delta B}{(2B - \Delta B)}$$

$$B = \left[\left(\frac{\partial F_x}{\partial q} \right) + \left(\frac{\partial F_x}{\partial c} \right) l \cos q \right] l \sin q + \left[\left(\frac{\partial F_z}{\partial q} \right) + \left(\frac{\partial F_z}{\partial c} \right) l \cos q \right] l \cos q$$

$$\Delta B = \left[\left(\frac{\partial F_x}{\partial q} \right) - \left(\frac{\partial l \cos q}{\partial q} \right) + \left(\frac{\partial F_x^*}{\partial c} \right) l \cos q \right] l \sin q + \left[\left(\frac{\partial F_z}{\partial q} \right) - \left(\frac{\partial F_z^*}{\partial c} \right) l \cos q + \left(\frac{\partial F_z^*}{\partial q} \right) l \cos q \right] l \cos q$$

$F_x^*, \partial F_z^*$ - реакции, действующие на резец при нарушении процесса снятия слоя.

Для обеспечения устойчивости необходимо выполнения условия:

$$\cos \frac{\pi k_1}{k_0} \cos \frac{\pi k_2}{k_0} \frac{k_1^2 + k_2^2}{2k_1 k_2} \sin \frac{\pi k_1}{k_0} \sin \frac{\pi k_2}{k_0} \left[\frac{n_0^2(1 + \nu)^2}{2k_1 k_2} \sin \frac{\pi k_1}{k_0} \sin \frac{\pi k_2}{k_0} - \frac{n_0^2(1 - n_0^2)}{2k_1 k_2} \sin \frac{\pi k_1}{k_0} \cos \frac{\pi k_2}{k_0} \right] \sin \frac{\pi k_2}{k_0} < 1 \quad (4)$$

$$\text{где } k_1 = \sqrt{(1 + \delta)k_0^2 - n_0^2(1 + \nu)^2}; \quad k_2 = \sqrt{(1 - \delta)k_0^2 - n_0^2(1 - \nu)^2}$$

Неустойчивость возникает при отличной от нуля глубине пульсации δ , зависящей от параметров n_0 и ν . Зависимость критической глубины пульсации $\delta_{кр}$, при которой возникает неустойчивость, от отношения $\frac{n_0}{\nu}$ может быть рассчитана из условия (4) для различных значений ν . Из равенства $\delta_{кр} = \frac{n_0}{(2B - \Delta B)}$, зная зависимость реакции от глубины вдавливания, можно определить нагрузку на резец, при которой движение устойчиво при прочих равных условиях.

Таким образом качество образования микрорельефа удалением покрытий определяется рациональным сочетанием технологических, конструктивных и эксплуатационных параметров, среди которых следует отметить следующие:

- параметры резцового устройства: момент инерции качающейся части суппорта, жесткость пружин подвеса, демпфирование резцедержателя, расстояния от оси подвеса до резца и до демпфера;
- параметры привода делительной машины – жесткость соединения привода с резцовой балкой, а также уровень возмущающих воздействий, проникающих со стороны привода на резцедержатель;
- геометрия применяемого инструмента: угол наклона граней, ширина и притупление режущей кромки, износостойкость;
- механические свойства материала слоя, коэффициенты трения между резцом и материалом слоя и подложки;
- режимы работы и параметры настройки делительной машины: скорость привода, и ее изменение по длине штриха, нагрузка, устанавливаемая на резец, точность его ориентации и т. д.

Делительная машина работает в автоматическом режиме, а процесс изготовления изделия может занимать значительное время, то вследствие большой суммарной протяженности штрихов должна быть обеспечена высокая износостойкость инструмента, так как его перестановка или замена в процессе изготовления одного изделия недопустимы. На износ резца наиболее существенное влияние оказывает нагрузка, устанавливаемая в процессе

настройки делительной машины. Поэтому при рациональном сочетании перечисленных выше параметров обеспечивается устойчивость системы под действием неконсервативных позиционных сил, обусловленных процессом обработки, нагрузка, устанавливаемая, на резец превышает минимально допустимое значение, при котором глубина упругого вдавливания резца превышает критическую, а механические свойства слоя и подложки выбраны с таким расчетом, чтобы при случайном нарушении процесса удаления слоя дефект не распространялся по длине штриха.

Список литературы

1. *Алексеев Г.А.* Обеспечение качества процесса образования прецизионного регулярного микрорельефа. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. СПб.: СПбГПУ, 2012.- № 2-1.(147) - с.131 -137.
2. *Селина Е.Г.* Точность формообразования прецизионного регулярного микрорельефа. // Материалы XVIII международной научно-технической конференции «Современное образование: содержание, технологии, качество», СПб: СПбГЭТУ, 2012, т.1 с 206-208.
3. *Алексеев Г.А., Кудашов В.Н., Селина Е.Г.* Обеспечение качества автоматизированного процесса образования прецизионного регулярного микрорельефа комбинированным методом // Научно-технический вестник Поволжья - 2021. - № 4. - С. 73-76

2.3.3.

¹Д.В. Байков канд. техн. наук, ²И.С. Юшков канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,
институт электроники и светотехники,
¹кафедра электроники и электротехники,
²кафедра электроники и нанoeлектроники,
Саранск, bdv2304@mail.ru, is-1985@yandex.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБКАТКИ И ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОГАБАРИТНЫХ ТРАКТОРОВ

В работе рассмотрены вопросы автоматизации технологического процесса обкатки и испытаний двигателей малогабаритных тракторов. Предложена конструкция автоматизированного стенда для обкатки и испытаний таких двигателей. Представлены результаты скоростных испытаний автоматизированной системы.

Ключевые слова: автоматизация, технологический процесс, обкатка, испытания, стенд.

Обкатка и испытания двигателей является обязательным этапом технологического процесса. Основной целью обкатки является приработка трущихся поверхностей и выявление возможных дефектов, возникающих вследствие каких-либо ошибок или отклонений от технических требований, допущенных при ремонте. Главная цель испытаний – это комплексная оценка качества ремонта двигателей и обеспечение обратной связи с технологическим процессом ремонта [1, 2].

Типовые технологии обкатки двигателей, применяемые в ремонтных предприятиях и научно-исследовательских центрах, обычно включают в себя три этапа: холодная обкатка, горячая обкатка без нагрузки (на холостом ходу) и горячая обкатка под нагрузкой [2, 3]. Однако мнения по назначению этапов обкатки и их содержанию являются весьма противоречивыми [4].

В настоящее время не существует общепринятой методики, обеспечивающей оптимальный режим обкатки и приработки двигателя внутреннего сгорания [2], поэтому весьма актуальным остается вопрос влияния характеристик изменения скоростных режимов на процесс приработки сопряженных деталей. Назначение нагрузочно-скоростных режимов для проведения обкатки и испытаний производится ремонтными предприятиями для каждого типа двигателя индивидуально.

Процесс обкатки и испытаний двигателей производится на специализированных стендах, выполненных по различным конструкциям и характеризующимися своими достоинствами и недостатками [2, 3]. Кроме того, на сегодняшний день, отмечается практически полное отсутствие на рынке автоматизированных технических средств, предназначенных для обкатки и испытаний двигателей малогабаритной сельскохозяйственной техники, что влечет к существенному сокращению производственного ресурса данных двигателей ввиду недообкатанности новых и отремонтированных двигателей внутреннего сгорания [2]. Стоимость ремонтов в период эксплуатации может превышать стоимость двигателя примерно в 5-6 раз.

Для решения данной проблемы предлагается новая конструкция обкаточно-тормозного стенда [5] (рисунок 1), позволяющая автоматизировать процесс обкатки и испытаний двигателей малогабаритных тракторов.

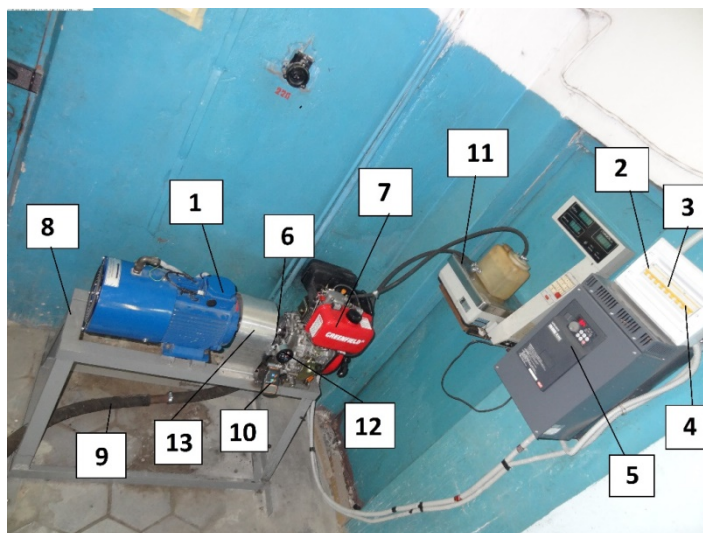


Рис. 1 – Стенд для обкатки и испытаний двигателей малогабаритных тракторов:

- 1 – асинхронный двигатель с принудительной вентиляцией;
 2, 3, 4 – автоматические выключатели; 5 – двухзвенный рекуперативный преобразователь частоты; 6 – соединительная муфта; 7 – дизельный четырехтактный двигатель;
 8 – рама обкаточно-тормозного стенда; 9 – система отвода отработавших газов;
 10 – цифровой тахометр; 11 – устройство массового измерения расхода топлива;
 12 – датчик давления в системе смазки дизельного двигателя; 13 – защитный кожух

Предложенный обкаточно-тормозной стенд позволяет проводить автоматизированную обкатку и испытания двигателей малогабаритных тракторов в широком нагрузочно-скоростном режиме [2], обеспечивая контроль следующих параметров: скорость вращения коленчатого вала, давление в системе смазки, нагрузочный момент, развиваемую мощность, расход топлива.

Двухзвенный рекуперативный преобразователь частоты подключен к персональному компьютеру, представляющего собой операторную панель, посредством встроенного в преобразователь частоты интерфейса RS-485. Задание скорости вращения и нагрузочного момента испытываемого двигателя в режимах холодной и горячей обкатки под нагрузкой производится в специально разработанном программном обеспечении, позволяющем обеспечить фиксацию контрольных выходных данных в виде числовых значений и нагрузочно-скоростных диаграмм.

Экспериментальные исследования разработанного испытательного стенда проводились в различных режимах работы. В качестве испытуемого двигателя был использован дизельный двигатель GREENFIELD GF178 F.

На рисунке 2 представлен график ступенчатого изменения скорости вращения дизельного двигателя в декомпрессорном режиме.

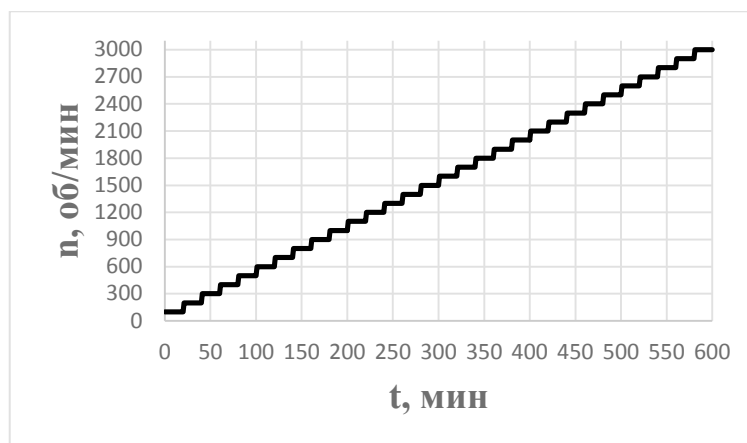


Рис. 2 – График ступенчатого изменения скоростного режима при холодной обкатке дизельного двигателя (декомпрессор открыт)

Из графика рисунка 2 видно, что во всем диапазоне испытаний разработанный стенд обеспечивает высокую стабильность скоростных режимов на каждой ступени обкатки.

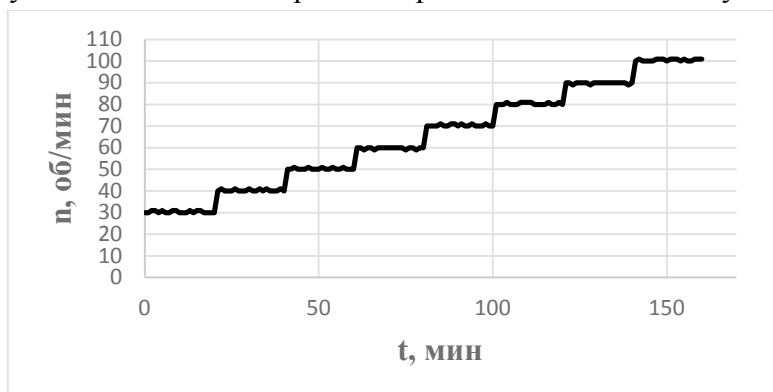


Рис. 3 – График ступенчатого изменения скоростного режима при холодной обкатке дизельного двигателя на низких скоростях вращения (декомпрессор открыт)

На рисунке 3 показана возможность ступенчатого задания скорости вращения электрического двигателя испытательного стенда на низких скоростях вращения.

Из графика рисунка 3 видно, что с течением всего времени обкатки скорость вращения электрического двигателя испытательного стенда поддерживалась на уровне ± 1 об/мин. С увеличением скорости вращения асинхронного короткозамкнутого двигателя от 100 до 3000 об/мин (рисунок 2) данный показатель возрастал с ростом частоты вращения и достиг своего максимума на 3000 об/мин – ± 6 об/мин. При этом отклонение в поддержании скорости вращения асинхронного двигателя составило 3,3% при 30 об/мин и 0,2% при 3000 об/мин, что объясняется трудностью обеспечения поддержания скорости вращения асинхронного электропривода с векторным алгоритмом управления без использования датчика скорости именно на низких оборотах [2, 6].

Результаты эксперимента также показали, что разработанный испытательный стенд способен обеспечить ступенчатую обкатку ДВС малогабаритной сельскохозяйственной техники тягового класса 0,1 и 0,2 при открытом декомпрессоре в диапазоне от 30 до 3000 об/мин с шагом задания 1 об/мин. Верхняя граница скоростного режима испытательного стенда ограничивается значением 3000 из-за примененного в конструкции стенда асинхронного двигателя с числом пар полюсов 2 и ограниченными функциональными возможностями регулировки частоты вращения преобразователем (от 0 до 120 Гц), а нижняя граница 30 об/мин – возможностями бездатчикового векторного алгоритма управления. При необходимости расширение верхней границы регулирования скорости испытательного стенда возможно установкой на стенд асинхронного короткозамкнутого двигателя с числом пар полюсов 1.

Результаты исследования скоростного режима испытательного стенда при закрытом декомпрессоре отображены на рисунке 4.

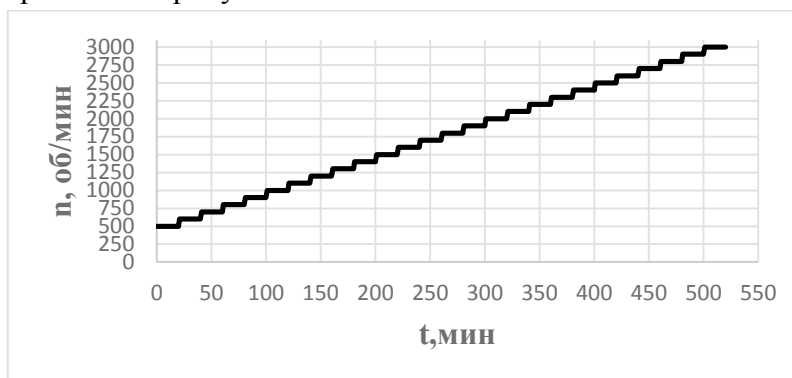


Рис. 4 – График ступенчатого изменения скоростного режима при холодной обкатке дизельного двигателя (декомпрессор закрыт)

В ходе проведения данного эксперимента было установлено, что стенд способен обеспечить холодную обкатку дизельного двигателя при закрытом декомпрессоре с 500 об/мин до 3000 об/мин с шагом задания 1 об/мин. Падение нижней границы диапазона регулирования скорости вращения испытательного стенда двигателей малогабаритных тракторов с закрытым декомпрессором объясняется возрастанием нагрузки на валу электрического двигателя, что влечет за собой необходимость увеличения вращающего момента электродвигателя, необходимого на прокрутку коленчатого вала испытуемого двигателя.

Таким образом, разработанный автоматизированный обкаточно-тормозной стенд двигателей малогабаритных тракторов позволяет проводить автоматизированную холодную обкатку и испытания двигателей малогабаритных тракторов тягового класса 0,1 и 0,2 при их создании и техническом сервисе.

Список литературы

1. *Храмцов Н.В.* Полная обкатка автотракторных двигателей / Н.В. Храмцов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2012. – №12-2. – С. 179-185.
2. *Байков Д.В.* Совершенствование технологий и технических средств для обкатки и испытаний двигателей малогабаритных тракторов : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Д.В. Байков. – Саранск, 2018. – 156 с.
3. *Тимохин С.В.* Совершенствование технологии и средств холодной обкатки автотракторных ДВС / С. В. Тимохин, И. С. Королев // Нива Поволжья. – 2015. – № 1 (34). – С. 61-65.
4. *Десяев С.С.* К вопросу реализации методов обкатки автотракторных дизелей / С.С. Десяев, А.П. Иншаков, Д.В. Байков // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. – Саранск : изд-во Мордов. ун-та, 2016. – С. 214-217.
5. Пат. 171449 Российская Федерация, МПК F02B 79/00, G01M 15/04. Стенд для обкатки и испытаний двигателей внутреннего сгорания мобильной сельскохозяйственной техники малой мощности / Д. В. Байков, А. П. Иншаков, И. И. Курбаков, А. Н. Кувшинов, С. С. Десяев, патентообладатель ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». – №2016115292 ; заявл. 19.04.2016 ; опубл. 01.06.2017; Бюл. № 16.
6. *Hassanzadeh F.* Stability analysis and optimal state feedback control of back-to-back converter / F. Hassanzadeh, A. Hajizadeh, F. Abbasi // Journal of Technology Innovations in Renewable Energy. – 2013. – vol. 2. – P. 139.

2.3.3.

¹Д.В. Байков канд. техн. наук, ²И.С. Юшков канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,
институт электроники и светотехники,
¹кафедра электроники и электротехники,
²кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, bdv2304@mail.ru, is-1985@yandex.ru

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ЭЛЕКТРОВОЗА

В статье предложена имитационная модель системы автоматизированного управления тяговым электроприводом электровоза. Рассмотрена работа предложенной системы при выходе из строя одного из тиристорных выпрямительно-инверторного преобразователя, а также работа системы при возникновении короткого замыкания обмотки трансформатора на землю.

Ключевые слова: имитационная модель, аварийный режим, система управления, тяговый электропривод, электровоз.

Условия эксплуатации электровозов на территории Российской Федерации характеризуются большими перепадами температур, влажности, давления, а также иными негативными факторами. Все это вызывает периодические отказы оборудования в составе силового тягового электропривода электровоза [1].

В научных работах [1,2,3,4] проводился анализ отказов оборудования электровозов различных производителей. Обобщив данные исследования можно сделать вывод, что наибольшее количество отказов приходится на тяговой электропривод электровоза (более 20%). На второе место можно поставить электронное и электрическое оборудование (около 20%).

Основной причиной выхода из строя тяговых двигателей является низкий ресурс изоляции их обмоток. Изоляция является наиболее дорогостоящим и в то же время самым уязвимым элементом в конструкции тягового электродвигателя. На нее оказывают влияние температурные и механические воздействия, повышенная влажность и запыленность, а также внутренние и грозовые перенапряжения [3].

Для питания тяговых двигателей электровозов используются выпрямительно-инверторные преобразователи. Наиболее часто возникающая аварийная ситуация в выпрямительно-инверторном преобразователе – это выход из строя тиристора в каком-либо плече. Пробой одного тиристора влечет за собой повышение напряжения на других тиристорах, последовательно включенных с ним. Через тиристоры, включенные параллельно пробитому, начинает протекать большой ток [2].

Другие причины отказов электрооборудования электровозов, в том числе тягового электропривода, трансформатора и выпрямительно-инверторного преобразователя подробно описаны в научных публикациях [1-5]. Рассмотрим некоторые из них на примере разработанной имитационной модели системы автоматизированного управления тяговым электроприводом электровоза, представленной на рисунке 1.

Имитационная модель создана в программном обеспечении Powersim и отличается от реального агрегата по ряду пунктов. Прежде всего представлена не полная силовая схема электровоза, а только его часть, необходимая для рассмотрения процессов. Она включает в себя: тяговый трансформатор, один из каналов выпрямительно-инверторного

преобразователя, сглаживающий реактор, один тяговый двигатель и механическую нагрузку. Данное допущение обусловлено тем, что остальные части силовой схемы идентичны рассматриваемой.

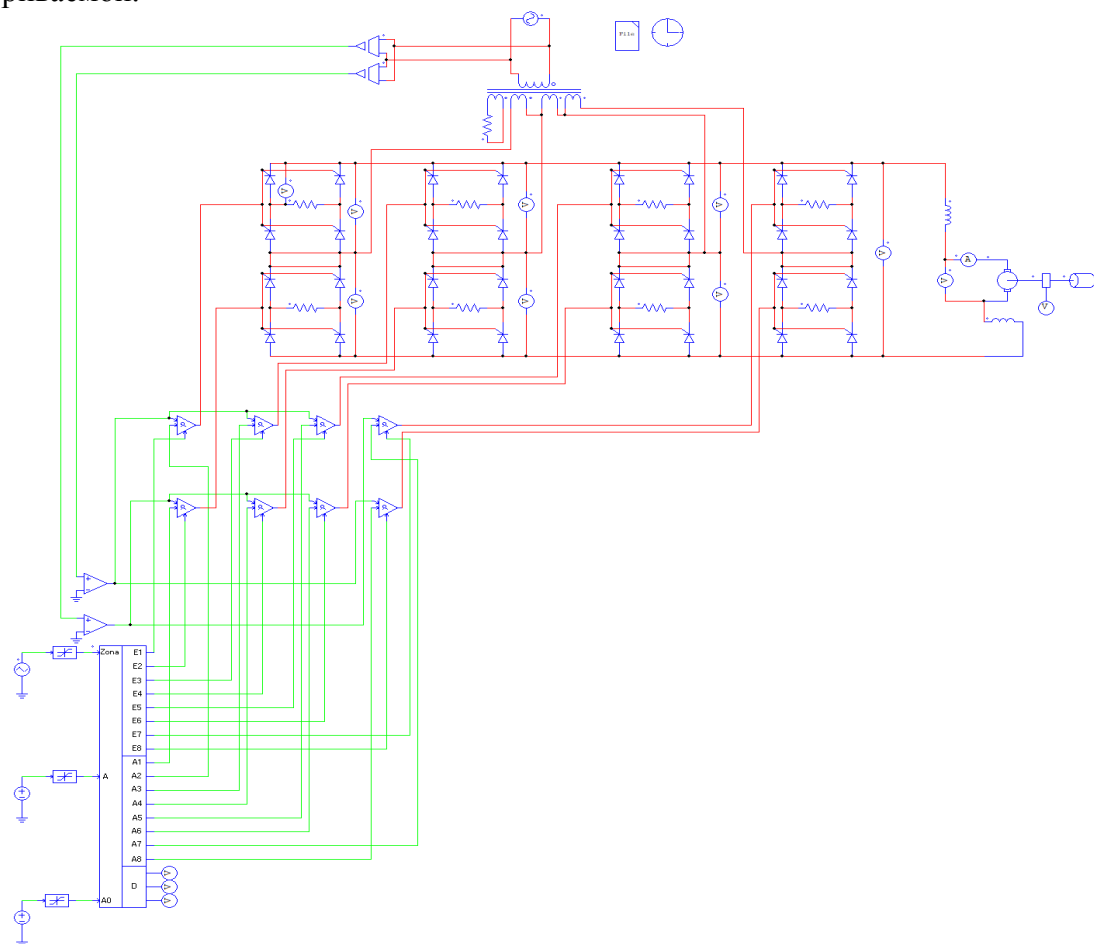


Рис. 1 – Имитационная модель системы автоматизированного управления тяговым электроприводом электровоза

Контактная питающая сеть в имитационной модели рисунка 1 представлена блоком «Sinusoidal voltage source» с напряжением 25 кВ и частотой 50 Гц, что соответствует средним реальным параметрам железнодорожной питающей сети.

Тяговый трансформатор ОНДЦЭ-4350/25-У2, представлен блоком «1-ph 5-w Transformer» с идеализированными параметрами. Не рассматривается напряжение питания обмотки собственных нужд электровоза, так как оно не относится к тяговому электрическому приводу.

Наиболее детально рассмотрен канал выпрямительно-инверторного преобразователя электровоза. Его имитационная модель состоит из восьми групп, по четыре тиристора, каждый из которых представлен блоком «Thyristor» с идеализированными параметрами. Одна группа называется плечом преобразователя. Каждая из групп так же содержит сопротивление связи между параллельно включенными тиристорами, представленное блоком «Resistor». Управляющие сигналы поступают на тиристоры от блока управления, в котором для каждого из плеч преобразователя задаётся время открытия в электрических градусах.

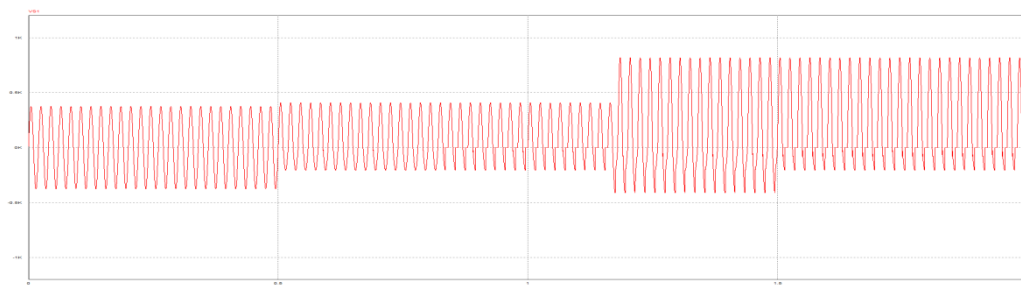
Параметры, заданные в имитационной модели системы, обеспечивают четыре зоны регулирования тяги. Тяговый электродвигатель пульсирующего тока НБ-514, устанавливаемый на электровоз, представлен блоком «DC Machine».

Механическая нагрузка, оказываемая на один тяговый двигатель, представлена блоком «Mechanical Load».

Исследование аварийных режимов работы автоматизированной системы управления тяговым электроприводом электровоза с использованием разработанной имитационной

модели проводилось для двух случаев: 1. Выход из строя одного из тиристоров выпрямительно-инверторного преобразователя; 2. Возникновение короткого замыкания обмотки трансформатора на землю. Диаграммы работы системы представлены на рисунках 2 и 3.

а)



б)

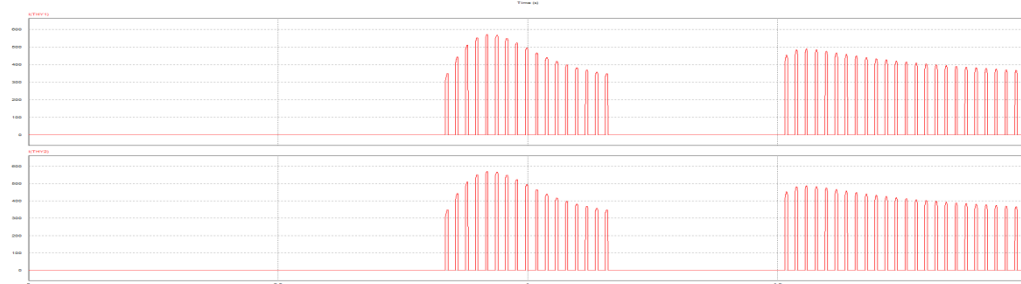
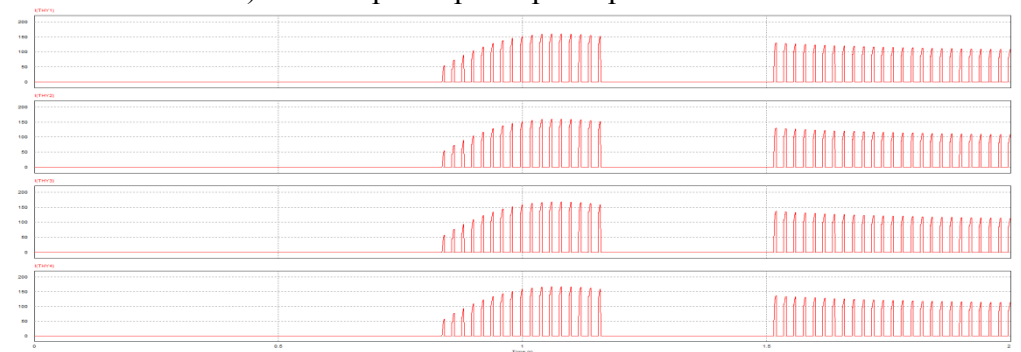


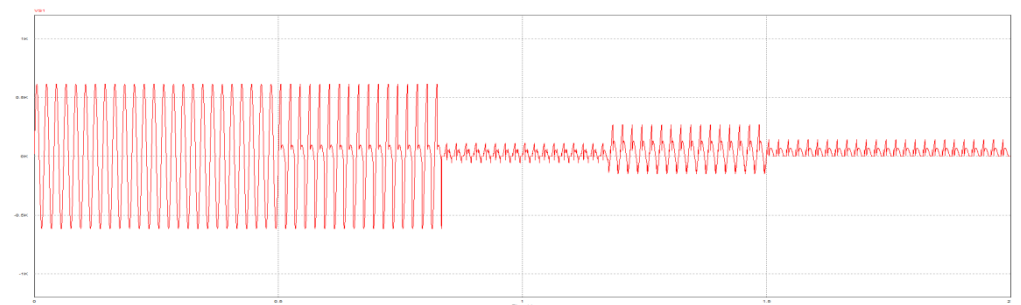
Рис. 2 – Аварийный режим работы: выход из строя одного из тиристоров выпрямительно-инверторного преобразователя: а) Напряжение на первом тиристоре первого плеча;

б) Токи через тиристоры первого плеча

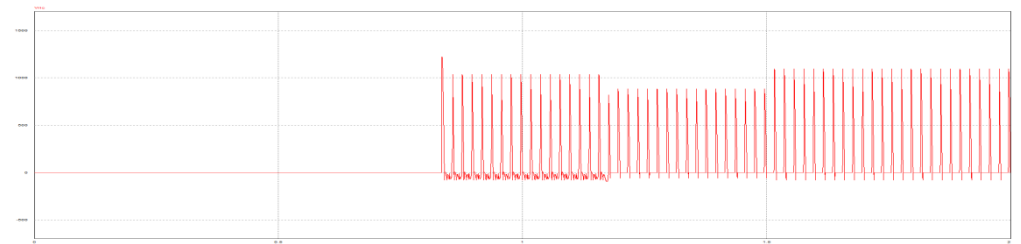
а)



б)



в)



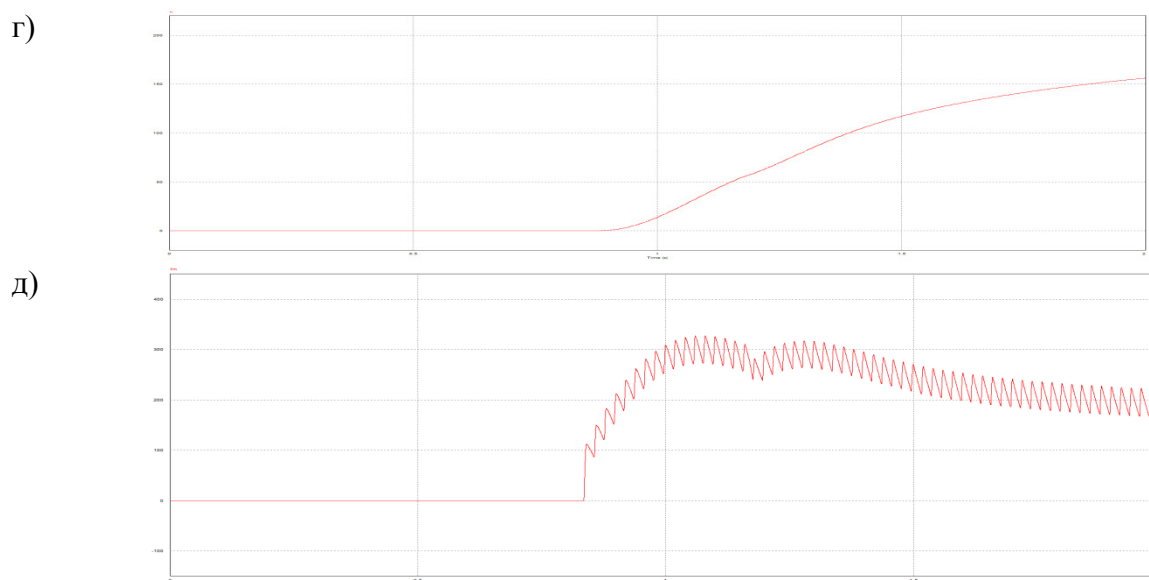


Рис. 3 – Аварийный режим работы: возникновение короткого замыкания обмотки трансформатора на землю: а) Токи через тиристоры первого плеча;

- б) Напряжение через тиристор первого плеча; в) Напряжение на выходе выпрямительно-инверторного преобразователя; г) Скорость вращения тягового электродвигателя;
д) Ток тягового электродвигателя

Анализ результатов имитационного моделирования показал, что выход из строя одного тиристора выпрямительно-инверторного преобразователя не является критичным повреждением, так как не приводит к полной неработоспособности электровоза. Конструкцией преобразователя предусмотрено возникновение данных ситуаций. Даже не используя все зоны регулирования на преобразователе, частично потерявшем работоспособность, электровоз способен завершить маршрут.

Возникновение неисправности в тяговом трансформаторе (замыкание на землю или межвитковые замыкания), в свою очередь, приводят к неработоспособности целой тяговой секции электровоза. Функционирование электропривода электровоза в данном случае становится практически невозможным.

Список литературы

1. Голиков М.К. Анализ отказов силовой части электропривода электровоза серии "Ермак" / М.К. Голиков, Д.В. Байков // XLIX Огарёвские чтения : материалы научной конференции: в 3 частях, Саранск, 07–13 декабря 2020 года. Том Часть 1. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2021. – С. 482-486.
2. Воробьев А.А. Методика анализа надежности оборудования электровозов 2ЭС10 / А.А. Воробьев, Р.С. Сметанин // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 1(49). – С. 28-39.
3. Губарев П.В. Анализ надежности узлов электровозов по Северо-Кавказской железной дороге за 2016 - 2019 / П.В. Губарев, А.С. Шапшал, А.С. Курочкин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 3. – С. 69-73.
4. Хромова Г.А. Пути повышения надежности тяговых электрических двигателей электровозов / Г.А. Хромова, М.Н. Туйчиева // Комплексные проблемы техносферной безопасности : Материалы V Международной научно-практической конференции, Воронеж, 16–17 ноября 2018 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2019. – С. 330-333.
5. Иньков Ю.М. Эксплуатация и ремонт электроподвижного состава магистральных железных дорог : учеб. пособие для вузов по специальности «Электрический транспорт железных дорог» / Ю.М. Иньков, В.П. Феоктистов, Н.Г. Шабалин ; ред. Ю.М. Иньков . – М. : Издательский дом МЭИ, 2011 . – 384 с.

2.3.3.

**Д.А. Башмаков канд. техн. наук, З.Г. Сайфутдинов,
В.И. Ильин канд. техн. наук, С.К. Савицкий канд. педагог. наук**

Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО Казанского (Приволжского) федерального университета»,
кафедра «Электроэнергетика и электротехника»,
Набережные Челны, bashmakovda@yandex.ru,
saifutdinow97@mail.ru, vilin43@mail.ru, savitsky_s@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ РАБОЧЕГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДКИ АВТОМОБИЛЯ

В данной статье рассмотрена техническая диагностика рабочего состояния электрической проводки автомобиля. Основной целью данной работы является повышение точности контроля рабочего состояния электрической проводки автомобилей, путем разработки нового способа диагностики. В рамках статьи рассмотрены основные неисправности, связанные с электрической проводкой, такие как: разрыв, замыкание, старение изоляции, а также схема и составные части электропроводки автомобилей. Применение данного способа диагностики позволит избежать внезапных пробоев изоляции и поддерживать необходимую степень надежности работы электрооборудования, от чего в свою очередь зависит возможность дальнейшей эксплуатации автомобиля.

Ключевые слова: электропроводка автомобиля, электрические жгуты, диагностика электрооборудования, изоляция, катушки индуктивности.

В настоящее время известны различные устройства и способы контроля рабочего состояния электрической проводки автомобиля, однако они имеют ограниченный функционал и недостаточную точность контроля.

Электропроводка автомобиля выполняется по однопроводной схеме, то есть к потребителям питание подходит по одному плюсовому проводу. Вторым, минусовым, проводом при этом является корпус автомобиля. Но последнее время в автомобилестроении применяется всё больше и больше пластика. Поэтому к потребителям сейчас уже подходит не один, а два провода, при этом минусовой провод крепится к кузову автомобиля в ближайшем месте.

На большинстве автомобилей проводка состоит из круглых жгутов. Эти жгуты образуются путём сбора отдельных проводов в один жгут, перемотанный, киперной лентой или другим материалом (рис.1). Современные жгуты укладываются в гофрированные пластиковые трубки, что несколько лучше защищает от повреждения изоляции.

Жгут – это набор электрических проводов и кабелей, которые используются для связи различных элементов электромеханических или электронных систем. Назначение жгутов – обеспечивать питанием или передавать электронные сигналы различным периферийным устройствам. Жгут состоит минимум из двух проводов[1].

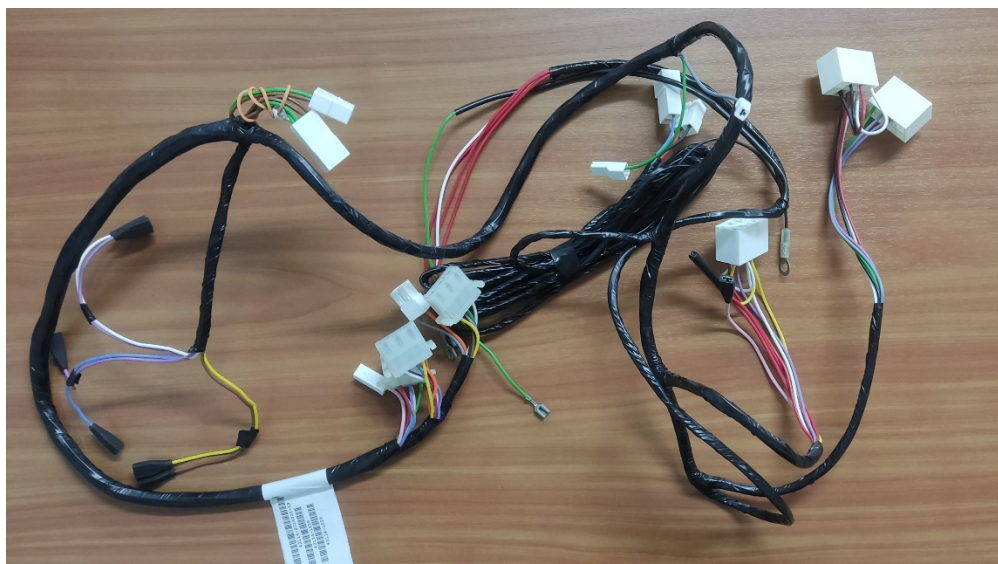


Рис. 1 – Автомобильный жгут

Основными причинами сбоев в работе электрооборудования автомобиля является нарушение целостности проводки и ненадежный контакт в электрической цепи. Последующие за тем неисправности могут не позволить продолжить поездку, а в критичных случаях привести к фатальному повреждению автомобиля. Поэтому стоит отслеживать состояние электропроводки в режиме реального времени.

В данной статье рассматривается один из способов контроля рабочего состояния электрической проводки. Под рабочим состоянием кабеля понимается его нормальный режим работы, при котором значения параметров электрической проводки автомобиля не выходят за пределы, допустимые при заданных условиях эксплуатации. К нарушению параметров нормального режима работы электрической проводки относятся: механические повреждения изоляции, изменение сечения проводов вследствие их перегрева, возникновение коротких замыканий ввиду нарушения состояния изоляции.

Реализация способа контроля осуществляется с помощью двух катушек индуктивности внутри которых расположен кабель выполняющий роль сердечника, изменение параметров сердечника оказывает непосредственное влияние на их индуктивность. Под изменением параметров сердечника понимается изменение его длины, сечения, состояния изоляции. Диагностика автомобильной электропроводки производится в момент поворота ключа в замке зажигания до запуска двигателя, так как после запуска системы зажигания автомобиля на систему могут повлиять дополнительные помехи от проводки, а также это необходимо для предупреждения сбоев в работе систем электрооборудования автомобиля в связи с нарушением рабочего состояния электропроводки.

Последовательно включенные катушки индуктивности, генератор высокой частоты (ГВЧ), конденсатор и дифференцированный датчик тока (ДДТ) образуют электрическую цепь, как это показано на рисунке 2.

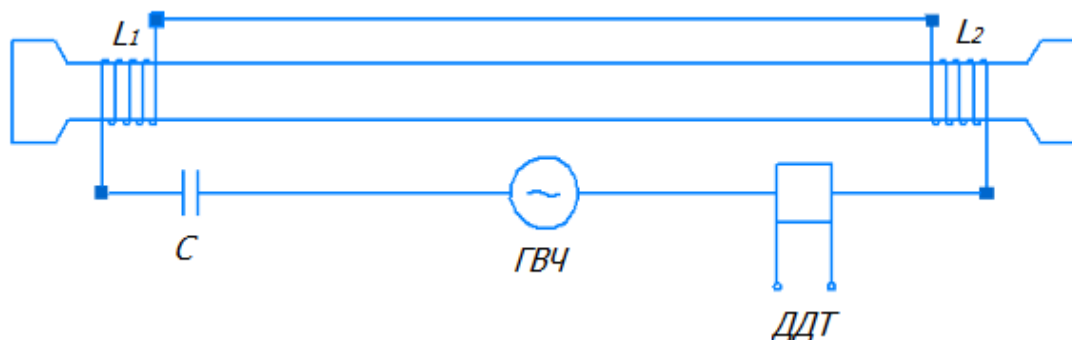


Рис. 2 – Функциональная схема

На рисунке 3 изображена резонансная кривая изменения тока в зависимости от состояния кабеля, которая определяется функцией[2]:

$$I(\omega) = \frac{U}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 - (X_{L1} + X_{L2} - 2X_M - X_C)^2}} \quad (1)$$

где U - подаваемое напряжение в В, R_1 и R_2 - активные сопротивления катушек индуктивности в Ом; X_{L1} и X_{L2} - реактивные сопротивления катушек индуктивности в Ом; $2X_M$ - сопротивление взаимной индуктивности катушек в Ом; X_C - реактивное сопротивление конденсатора в Ом [3].

В приведенной выше функции выражение:

$$\sqrt{(R_1 + R_2)^2 - (X_{L1} + X_{L2} - 2X_M - X_C)^2} \quad (2)$$

является полным сопротивлением цепи Z . Изменяющейся составляющей выражения является только индуктивная составляющая:

$$X_{L1} + X_{L2} - 2X_M \quad (3)$$

при изменении рабочего состояния электропроводки автомобиля, будут изменяться индуктивные составляющие, соответственно и ток.

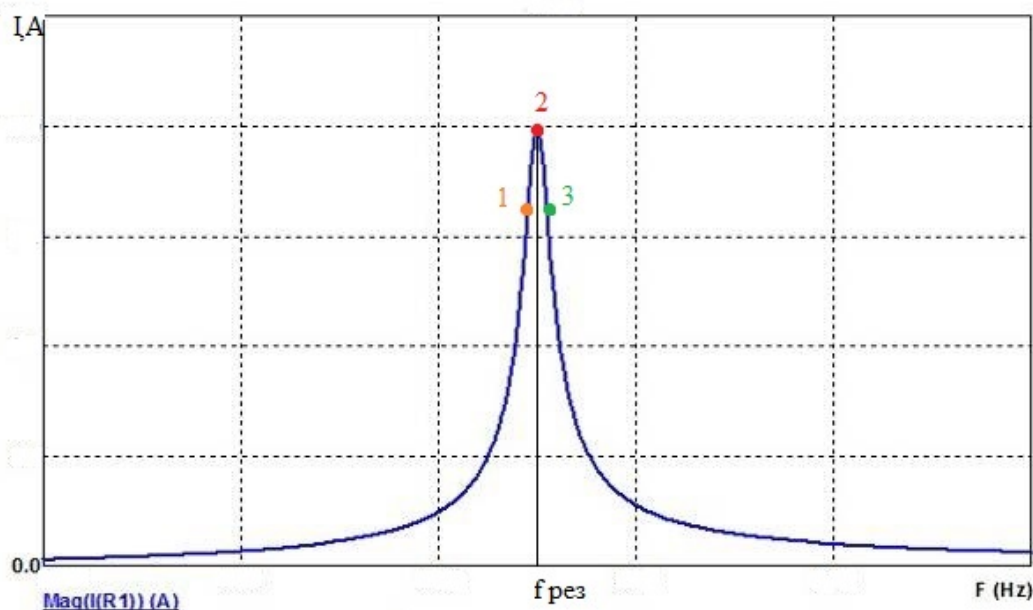


Рис.3 – Резонансная кривая

Контроль рабочего состояния кабеля и состояния изоляции выполняется с помощью индуктивно связанных элементов, а именно двух катушек индуктивности, которые включены встречно, и последовательно с соединенной емкостью, с помощью генератора высокой частоты цепь настраивается в резонанс, так как в режиме резонанса реактивное сопротивление равно нулю ($X_L - X_C = 0$), где X_L - реактивное сопротивление катушки индуктивности в Ом, X_C - реактивное сопротивление конденсатора в Ом, то полное сопротивление Z в цепи при резонансной частоте f_p оказывается наименьшим и будет зависеть только от активного сопротивления катушки индуктивности и формула будет иметь вид:

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2} \quad (4)$$

Так как по закону Ома сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на его концах и обратно пропорциональна сопротивлению этого проводника [4]:

$$I = \frac{U}{Z} \quad (5)$$

то при неизменном подаваемом напряжении с увеличением частоты ток увеличивается и при резонансной частоте f_p достигает максимума I_p (т.2 рис.2).

При изменении рабочего состояния кабеля на котором установлены две взаимно связанные индуктивности, произойдет изменение индуктивности катушек, а, следовательно, вся система выйдет из режима резонанса и значение тока уменьшится, это говорит о том, что

произошло изменение рабочего состояния электрической проводки. Это явление наблюдается на резонансной кривой. Ток достигает своего максимального амплитудного значения (т. 2 рис. 3) это обусловлено тем, что система находится в режиме резонанса, на остальных же участках кривой резонанс не наблюдается и соответственно ток будет меньше, для примера показаны т.1 и т.3 на рис.3. При уменьшении тока при помощи ДДТ есть возможность подать сигнал на электронный блок управления автомобиля о том, что рабочее состояние кабеля изменилось.

В результате применения описанного выше способа контроля рабочего состояния электрической проводки автомобиля, появляется возможность избежать возникновения неисправностей в системе электрооборудования автомобиля, которые в свою очередь могут не позволить дальнейшее передвижение, а в критичных случаях привести к фатальному повреждению автомобиля.

Список литературы

1. ГОСТ 23586-96. Монтаж электрический радиоэлектронной аппаратуры и приборов. Технические требования к жгутам и их креплениям / Беларусь, Минск: ИПК «Издательство стандартов», 2001 г.
2. Шандарова Е.Б. Теоретические основы электротехники: учебное пособие / Е.Б. Шандарова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 111 с.
3. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники, ч. 1 Линейные электрические цепи, - М.: Энергия, 178. - 592 с.
4. Нейман Л.Р. Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники т. 1. - М.: Энергоиздат, 1981 - 536 с.

2.3.3.

И.А. Ильченко, В.Ф. Пегашкин, Г.А. Осипенкова

Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина,
Нижнетагильский технологический институт,
Нижний Тагил, v.f.pegashkin@urfu.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРЕДМЕТ ТРУДА

В работе представлены результаты разработки методики определения технологического профиля производства на основе классификации технологий по результатам воздействия на предмет труда в условиях применения систем автоматизированного проектирования технологических процессов.

Ключевые слова: *систем автоматизированного проектирования, технико-экономический профиль, технология машиностроения.*

Применений систем автоматизированного проектирования технологических процессов требует обеспечения однообразного универсального подхода к оценке технологических возможностей производства и построения технологического профиля предприятия [1, 2].

Для построения технологического профиля производства необходимо упорядочить всё его технологическое оборудование, а также специализированные рабочие места в соответствии с предложенной в [3] классификацией технологий. При этом должны быть определены суммарные временные ресурсы, имеющиеся по группам и типам технологий. Основной задачей при этом будет являться приведение ряда характеристик к одному единому показателю временных ресурсов. Кроме того, при векторном сложении ресурсов оборудования сходного технологического назначения наглядно будет представляться степень резервирования оборудования, однако данный вопрос выходит за рамки настоящей работы.

На современном уровне развития металлорежущего оборудования, как основного в машиностроении, одно и то же оборудование может обеспечивать как черновую обработку, входящую в группу технологий «формообразование», так и входить в группу технологий «формирование свойств поверхности», обеспечивая требуемую чистоту или точность поверхности. Технологические ресурсы, потребные для формообразования являются функцией объёма удаляемого материала и мощности главного привода. Технологические ресурсы, потребные для обеспечения требуемых свойств поверхностей являются функцией обрабатываемой площади и степени точности, что достаточно легко приводится к затратам временных ресурсов. Очевидно, что упомянутое металлорежущее оборудование должно быть учтено в обеих группах технологий.

Тип технологии «литьё» в первую очередь обеспечивает формообразование заготовки, обеспечивая минимальную механическую обработку в дальнейшем. Кроме того, литьё влияет на шероховатость поверхности и структуру материала. Следовательно, производственные возможности предприятия по литью необходимо учитывать в трёх группах технологии. Данные возможности будут являться функцией суммарной мощности плавильного оборудования.

Технологии, обеспечивающие сварные и паяные соединения включаются в группы изменения структуры материала, формирования свойств поверхности и закрепления. При этом необходимо отметить, что влияние на материал и заготовку может быть как положительным, так и отрицательным, поэтому оборудование, обеспечивающее сварку и пайку должно учитываться по основному назначению по группам технологий. Так,

например, сварочное оборудование кроме изготовления сварных соединений может обеспечивать наплавку материалов на поверхность заготовки с целью получения более стойкого к истиранию покрытия. Таким образом, производственные возможности предприятия по сварке и пайке будут являться функцией электрической мощности оборудования. Экзотические виды сварки, например сварка взрывом или сварка трением, являются узкоспециализированными технологиями, использование которых заведомо планируется при разработке КД, поэтому в данной работе такие технологии учитываться не будут.

Ресурсы технологий, обеспечивающих объёмную термообработку в технико-экономическом профиле предприятия, являются величиной, определяемой тепловой мощностью и рабочими объёмами оборудования. При этом, кроме временных ресурсов, получаемых пересчётом мощности и объёмов, в расчёте профиля также необходимо учитывать время технологического цикла. Подход к определению ресурсов типа технологий «поверхностная термообработка» аналогичен определению ресурсов, обеспечивающих объёмную термообработку.

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что построение технологического профиля производства должно заключаться в выявлении однотипного технологического оборудования (рабочих мест), определении требуемых от него характеристик, их систематизации и суммировании.

Металлорежущие станки являются наиболее распространённым технологическим оборудованием в машиностроении. Металлорежущее оборудование в соответствии с классификацией технологий [3], одновременно относится к группам технологий, обеспечивающим формообразование и формирование свойств поверхности (табл. 1).

В первом случае при черновой обработке с невысокими требованиями к допускам и качеству поверхности строгие требования к точности обработки не предъявляются. Во втором случае на первый план выходят требования к технологической точности оборудования, обеспечивающей требуемую шероховатость обрабатываемых поверхностей. С учётом вышеизложенного, отнесение каждой конкретной единицы металлорежущего оборудования к той или иной группе технологий должно производиться в зависимости от степени технологической точности.

Таблица 1 – Группы технологий

Тип технологии	Размерные группы					
	Малая 1	Малая 2	Средняя 1	Средняя 2	Большая 1	Большая 2
I. Мехобработка	T_I^{M1}	T_I^{M2}	T_I^{C1}	T_I^{C1}	T_I^{B1}	T_I^{B1}
II. Литьё	T_{II}^{M1}	T_{II}^{M2}	T_{II}^{C1}	T_{II}^{C1}	T_{II}^{B1}	T_{II}^{B1}
III. Сварка, пайка	T_{III}^{M1}	T_{III}^{M2}	T_{III}^{C1}	T_{III}^{C1}	T_{III}^{B1}	T_{III}^{B1}
IV. Объёмная ТО	T_{IV}^{M1}	T_{IV}^{M2}	T_{IV}^{C1}	T_{IV}^{C1}	T_{IV}^{B1}	T_{IV}^{B1}

Нормативы по отнесению оборудования к группам технологий могут разрабатываться на каждом предприятии отдельно. Вариант отнесения металлорежущего оборудования к группе технологий «формирование свойств поверхности» в зависимости от срока использования представлен в табл. 2.

Таблица 2 – Классификация металлорежущего оборудования по группе технологий

Класс точности оборудования	Срок использования, лет				
	0...2	2...4	4...6	6...8	8...10
Особо точные С	100%	90%	80%	70%	60%
Особо высокой точности А	90%	80%	70%	60%	50%
Высокой точности В	80%	70%	60%	50%	40%
Повышенной точности П	70%	60%	50%	40%	30%
Нормальной точности Н	60%	50%	40%	30%	20%

Схематично алгоритм построения технологического профиля производства представлен на рис. 1.

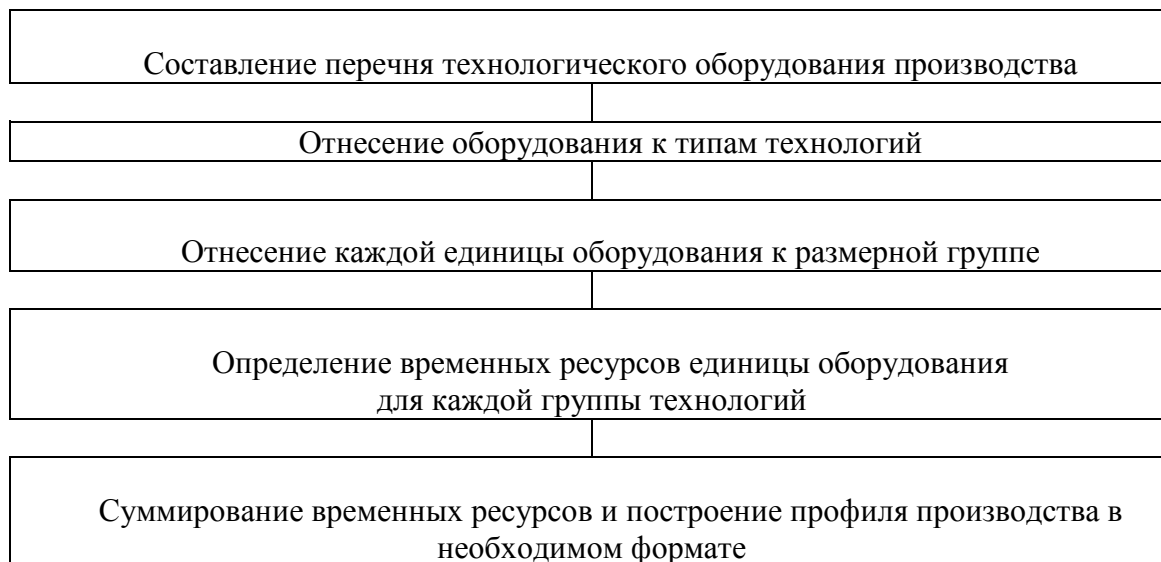


Рис. 1 – Укрупнённый алгоритм построения технологического профиля производства

Отнесение оборудования к различным размерным группам может осуществляться стандартами предприятия в зависимости от специфики производства.

Поскольку на любом предприятии, за исключением вновь созданных, процесс производства изделий ведётся непрерывно, технологический профиль производства является гибким инструментом, отображающим состояние производственных возможностей в зависимости от стоящих перед предприятием задач: полный технологический профиль производства; технологический профиль производства с учётом занятости текущим выпуском; технологический профиль производства, предназначенного к развёртыванию изготовления вновь разрабатываемого изделия; технологический профиль производства с учётом планируемой модернизации и др.

Список литературы

1. Пегашкин В.Ф., Ильченко И.А. Оптимизация процесса конструкторско-технологической подготовки производства // Молодежь и наука : мат-лы международной науч.-практ. конф. – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2021, С. 50-53.
2. Мельников А.С., Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э., Азарова А.И. Научные основы технологии машиностроения : учебное пособие // – Санкт-Петербург : Лань, 2018 – 418 с.
3. Ильченко И.А., Пегашкин В.Ф. Классификация технологий в системе автоматизированного проектирования изделий машиностроения // Научно-технический вестник Поволжья – 2022, №3. – С. 73-76

2.3.3.

А.Р. Куделько, А.И. Пугачева

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
факультет энергетики и управления,
кафедра управления инновационными процессами и проектами,
Комсомольск-на-Амуре, kudanrom@mail.ru

**ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ КОМПОНЕНТОВ
ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ**

В работе рассматриваются вопросы обеспечения инновационной деятельности хозяйствующего субъекта, например, предприятия. Для формирования структуры компонентов и/или оценки полноты (достаточности) соответствующей инновационной системы предлагается использовать логику инновационной деятельности хозяйствующего субъекта

Ключевые слова: инновационная система, инновационная деятельность, логика инновационной деятельности, хозяйствующий субъект, структура, компоненты.

До настоящего времени при совершенствовании научных концепций, связанных с формированием, эволюцией и исследованием структур инновационных систем разных уровней, внимание в основном уделяется особенностям построения и функционирования национальных [1, 2, 3] и региональных [4, 5] инновационных систем. Вместе с тем, учитывая несомненную, прежде всего, системообразующую значимость компонентов инновационных систем государственного уровня (национальной и региональных), следует отметить, что процессы разработки, освоения производства, реализации инновационных продуктов и процессов (технологий), их трансформации (при необходимости) и практического использования непосредственно осуществляются хозяйствующими субъектами с соответствующими типами инновационных систем, к которым относятся инновационные системы предприятий (ИСП), организаций, учреждений (например, инновационная система университета), производственных комплексов (ИСПК), территориальными (ТИС) [6] и другими инновационными системами.

Следует отметить, что имеющаяся в настоящее время теоретическая и методологическая база по вопросам формирования структуры и обеспечения эффективного функционирования инновационных систем, перечисленных и других хозяйствующих субъектов недостаточна для того, чтобы отследить, идентифицировать и сформировать пути совершенствования структуры и инновационных процессов системы соответствующего уровня. Устранение или снижение степени влияния этой проблемы будет способствовать более эффективной реализации стратегий инновационного развития как отдельных хозяйствующих субъектов, так и соответствующего региона, Российской Федерации в целом.

Указанные и другие обстоятельства определяют актуальность и необходимость разработки и/или уточнения концепций и принципов построения, моделей, поиска путей и методов повышения эффективности организационно-технологических и других аспектов функционирования инновационных систем хозяйствующих субъектов.

В результате, целью материала статьи является разработка и демонстрация концепции формирования структуры компонентов, а также ее использование в качестве одного из подходов к анализу полноты, результативности и эффективности функционирования как отдельных компонентов, так и в целом инновационных систем хозяйствующих субъектов.

Инновационная система уровня хозяйствующего субъекта, как и любая другая инновационная система, для ее успешного функционирования должна содержать необходимую совокупность функциональных подсистем, а также компоненты (подсистемы)

обеспечивающей инфраструктуры, которые способствуют реализации отдельных или совокупности инновационных проектов и развитию инновационной деятельности в целом хозяйствующего субъекта. В работе для формирования структуры и связей компонентов инновационной системы, а также системы управления инновационной деятельностью хозяйствующего субъекта предлагается руководствоваться логикой (или алгоритмом) инновационной деятельности при реализации соответствующей модели инновационного процесса, как это представлено на рисунке 1.



Рис. 1 – Концепция формирования и/или анализа структуры инновационной системы хозяйствующего субъекта

Здесь следует также отметить, что инновационная деятельность в современных условиях выступает в качестве основного направления, способствующего совершенствованию, повышению эффективности деятельности хозяйствующих субъектов на современной техническо-технологической основе, а также развитию структур и систем управления хозяйствующими субъектами, в том числе, компонентами его инновационной системы.

При этом, ряд как функциональных, так и инфраструктурных (обеспечивающих) компонентов или подсистем инновационной системы, в том числе, для исключения дублирования функций, характерных и для основной (например, производственной, образовательной, научной и т.п.), и для инновационной деятельности, будут определяться (или совмещаться) составляющими организационной структуры и структуры управления хозяйствующего субъекта. Система управления инновационной деятельностью (инновационной системой) должна быть интегрирована в структуру управления и в АСУ (при наличии) хозяйствующим субъектом, как это представлено на рисунке.

Вариант структуры компонентов инновационной системы виртуального хозяйствующего субъекта, которая сформирована на основе принципа соответствия логике инновационной деятельности, представлен таблицей. В соответствующих ячейках таблицы обозначены основные функциональные компоненты, реализующие производство новых знаний и их практическое использование при разработке, освоении производства, производстве и распространении инноваций. В большинстве своем эти функции реализуются соответствующими существующими (при их наличии) или вновь созданными для и в

процессе развития инновационной деятельности структурными подразделениями хозяйствующего субъекта. Как следует из таблицы (левая колонка), функции инфраструктурных компонентов инновационной системы целесообразны к реализации, как правило, соответствующими уже существующими структурными подразделениями хозяйствующего субъекта. При необходимости (при отсутствии возможности реализации отдельных функций) хозяйствующий субъект может воспользоваться услугами компонентов внешней среды (правая колонка таблицы), которые в этом случае можно рассматривать как функциональные, так и инфраструктурные компоненты рассматриваемой инновационной системы.

Таблица – Обобщенная структура компонентов инновационной системы субъекта, соответствующая логике инновационной деятельности

Компоненты инновационной системы в структуре хозяйствующего субъекта		Логика инновационной деятельности	Компоненты системы в структуре внешней среды
Инфраструктурные	Функциональные		
1	2	3	4
Менеджмент хозяйствующего субъекта	Аналитические и стратегического развития подразделения	Идентификация проблемы (совокупности проблем)	Специализированные консалтинговые компании
Финансовые подразделения	Научно-исследовательские компоненты структуры	Проведение исследований. Разработка инновационной идеи (идей)	Специализированные исследовательские организации (подразделения). Гранты
Финансовые, кадровые и другие структуры	Подразделение стратегического развития	Проектирование стратегий развития	Специализированные консалтинговые компании
Финансовые, кадровые и другие обеспечивающие компоненты структуры	Подразделение стратегического развития и другие компоненты структуры	Формирование программы и/или проекта, плана инновационных мероприятий	Специализированные консалтинговые компании
Обеспечивающие подразделения и структуры хозяйствующего субъекта	Подразделения ОКР, производства, маркетинга и другие	Реализация компонентов и плана мероприятий в целом	Специализированные организации (подразделения) по проведению ОКР. Гранты, инвесторы
--	Подразделения маркетинга, трансфера	Диффузия (распространение) инноваций	Центры трансфера технологий и инноваций
Менеджмент хозяйствующего субъекта	Аналитические, маркетинговые и стратегического развития подразделения	Анализ результатов инновационной практики	Специализированные консалтинговые компании
Менеджмент хозяйствующего субъекта	Аналитические и стратегического развития подразделения	Идентификация проблем (возврат к началу)	Специализированные консалтинговые компании

Рассмотренный подход может быть также использован при анализе и оценке степени полноты или структурной достаточности совокупности компонентов инновационной системы на предмет ее возможной готовности и/или способности к эффективной инновационной деятельности конкретного хозяйствующего субъекта.

В результате, в качестве выводов можно определить, что рассмотренный выше принцип соответствия структуры компонентов инновационной системы логике инновационной деятельности может быть использован как при формировании, так и в процессе оценки потенциальных возможностей инновационной системы конкретного хозяйствующего субъекта.

Кроме того, следует отметить, что важным аспектом повышения эффективности инновационной деятельности и, как следствие, хозяйствующего субъекта в целом является необходимость формирования и реализации комплекса мероприятий по повышению его инновационной, восприимчивости и инновационной активности. Это определяет целесообразность модернизации содержания компонентов и процессов управления организационной культурой [7] в направлении формирования и обеспечения функционирования инновационной корпоративной культуры [8], что планируется в качестве одного из предметов дальнейших исследований и разработок авторов работы.

Список литературы

1. Голиченко О.Г. Национальная инновационная система России: состояние и пути развития. – М.: Наука, 2006. – 396 с.
2. Дежина И.Г., Киселева В.В. Государство, наука и бизнес в инновационной системе России. – М.: ИЭПП, 2008. – 227 с.
3. López-Rubio P., Roig-Tierno N., Mas-Verdú F. Assessing the origins, evolution and prospects of national innovation systems. // Journal of the Knowledge Economy. – 2022. – № 13(1). – P.161 – 184.
4. Монастырный Е.А. Методологическое обеспечение процессов формирования региональной инновационной системы // Инновации. – 2006. – №8. – С. 98-101.
5. Weck M., Humala I., Tamminen P., Ferreira F. A. F. Knowledge management visualization in regional innovation system collaborative decision-making. // Management Decision. – 2022. – № 60(4). – P.1017 – 1038.
6. Куделько А.Р. Роль и основные направления деятельности вуза по формированию и обеспечению функционирования системы и инфраструктуры инновационного развития территории // Проблемы высшего образования: материалы международной научно-методической конференции. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского государственного университета, 2019. – С. 26 – 30.
7. Kudelko A.R., Finogeev M.A. Managing the organizational culture of an enterprise is one way to improve its efficiency (DOI 10.1007/978-3-030-69421- 0_90) // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – Vol. 200. – P. 826-834.
8. Котельников В.Ю. Управление инновациями: стратегический подход. Гибкие корпоративные стратегии выживания и лидерства в новой экономике. – М.: Эксмо, 2007. – 96 с. (с. 59 – 63).

2.3.3.

¹И.В. Плохов, ²О.А. Егоров¹Псковский государственный университет,
НОЦ «Северо-Западного центра математических исследований
имени Софьи Ковалевской»,²ООО «СКТ – групп»,
Псков, igor_plohov@list.ru, oleg.egorov2013@bk.ru**СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ АНАЛИЗА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АСУ ТП ТЕПЛОВОЙ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

В статье рассмотрена система диагностики автоматической системы управления технологическими процессами (АСУТП) тепловой электростанции (ТЭС) на базе искусственной нейронной сети (ИНС). Такая, предварительно обученная нейронная сеть, будет вычислять выходные сигналы АСУТП на основе входных сигналов с датчиков процессов. Полученные сигналы будут сравниваться с реальными выходными сигналами АСУТП с оповещением о несоответствиях.

Ключевые слова: электростанция, автоматическая система управления технологическими процессами, нейронная сеть.

Введение

Технические модели, как правило, являются жесткими и полностью детерминированными. Они могут быть негибкими к возникновению новых ситуаций, которыми, могут быть: использование несанкционированного доступа, кибер-атаки, случайные сбои, аварии линий связи, датчиков и т.п.

Оборудование, применяемое в АСУТП ТЭС, содержит уязвимости, большая часть которых (64%) может использоваться удаленно. Также, 82% промышленных организаций не готовы противостоять проникновению в технологическую сеть из корпоративной. Этими уязвимостями может воспользоваться нарушитель для совершения кибер-атаки [1, 2].

Например, при заражении системы АСУТП вирусом типа «Stuxnet», он маскирует свое присутствие, изучает технологический процесс. Затем он разрабатывает: алгоритмы и программное обеспечение разрушения энергоблока, фиктивные видеотренды в SCADAS на замену действительных аварийных и ждет команды на пуск [3]. Подобные кибер-атаки были осуществлены в 2010 в Иране на заводе по обогащению урана в г. Натанзе, где были выведены из строя 1368 из 5000 работающих центрифуг по обогащению урана [4, 5]. Массовые кибер-атаки на объекты теплоэнергетики могут приводить к отключению от электроэнергетики целых районов страны.

Цель данной работы: создать систему, которая будет контролировать правильность работы АСУ ТП с применением ИНС, специально обученной распознаванию и классификации нештатных ситуаций. В случае выявления ложных сигналов, поступающих на регуляторы технологического процесса (ТП) ИНС осуществляет перевод системы управления в ручной режим.

Все технологические процессы взаимосвязаны. Необходимо обучить ИНС выявлению несоответствий. Аномальными будут являться значения выходных параметров АСУ ТП, выходящие за пределы рассчитанных ИНС величин без динамической взаимосвязи с другими параметрами.

Экспертная система с блоком сравнения

Сигналы с датчиков технологического процесса (ТП) $X = \{x_1 \dots x_n\}$ – подаются на входные устройства связи с объектом АСУ ТП, ИНС ($UCO_{асутп.вх}$ и $UCO_{инс.вх}$) и на блок

дифференцирования (БД) (Рис. 1). Далее АСУТП вычисляет выходные сигналы, с помощью которых производится управление регуляторами ТП и исполнительными устройствами, действующими на перевод ЭБ в режим ручного управления $Y_{асутпн} = \{y_{асутпн1} \dots y_{асутпнn}\}$, которые через собственные выходные устройства связи с объектом $УСО_{асутпн.вых}$ подаются на регуляторы технологического процесса, либо на исполнительные устройства (ИУ), действующие перевод ЭБ в режим ручного управления.

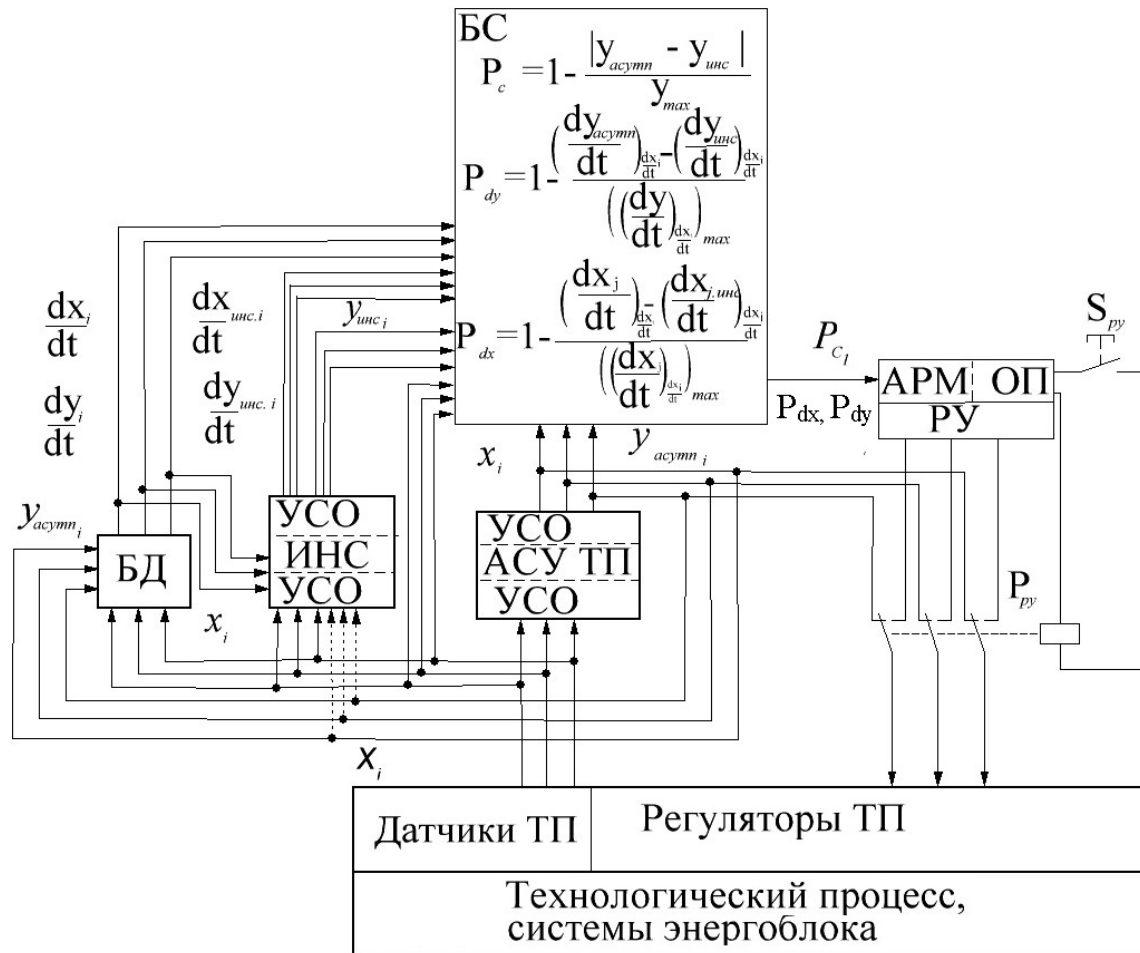


Рис. 1 – Блок-схема экспертной системы для анализа функционирования АСУ ТП ТЭС с блоком сравнения (БС).

В БД входные параметры $y_{асутпн1} \dots y_{асутпнn}$ и $x_1 \dots x_n$ преобразуются в производные и подаются на входы ИНС и БНЛ.

Обученной ИНС формируются выходные сигналы $y_{инс.1} \dots y_{инс.n}$ и их производные. Сигналы формируются ИНС в зависимости от входных параметров $x_1 \dots x_n$, и далее подаются на блок сравнения (БС).

Далее в БС на основе входящих в него сигналов вырабатываются выходные сигналы $P_{c1} \dots P_{cn}$, $P_{dy1} \dots P_{dyn}$ и $P_{dx1} \dots P_{dxn}$.

Сигналы $P_{c1} \dots P_{cn}$ есть оценки вероятностей правильности выходных сигналов АСУТП $y_{асутпн1} \dots y_{асутпнn} \in [0 \dots 1]$. Для проверки статических параметров $Y_{асутпн}$ при известном максимуме выходного сигнала Y_{max} , P_c :

$$P_c = |1 - \frac{Y_{асутпн} - Y_{инс}}{Y_{max}}|, \quad (1)$$

где: $Y_{асутпн}$ – выходной сигнал, рассчитанный системой АСУТП как нормированная величина $[0, 1]$, 0 – норма, 1 – аварийное отклонение;

$Y_{инс}$ – выходной сигнал, рассчитанный ИНС в форме нормированной величины (для случая противоаварийной защиты $[0 \dots 1]$),

Y_{max} – максимальное значение выходного сигнала. Значения данных параметров берутся из базы данных АСУТП ТЭС при обучении ИНС.

Аналогично, сигналы $P_{dy_1} \dots P_{dy_n}$ и $P_{dx_1} \dots P_{dx_n} \in [0 \dots 1]$ служат для оценки адекватности изменения выходных $\left(\frac{dy_{acymn.1}}{dt}\right)_{(dx_i)} \dots \left(\frac{dy_{acymn.n}}{dt}\right)_{(dx_i)}$ и взаимосвязанных входных $\left(\frac{dx_1}{dt}\right)_{(dx_i)} \dots \left(\frac{dx_n}{dt}\right)_{(dx_i)}$ параметров в зависимости от изменения i -ого входного параметра $\left(\frac{dx_i}{dt}\right)$, на основании сравнения их с вычисленными ИНС параметрами $\left(\frac{dy_{unc.1}}{dt}\right)_{(dx_i)} \dots \left(\frac{dy_{unc.n}}{dt}\right)_{(dx_i)}$

$$P_{dy} = \left| 1 - \frac{\left| \left(\frac{dy_{acymn}}{dt}\right)_{(dx_i)} - \left(\frac{dy_{unc}}{dt}\right)_{(dx_i)} \right|}{\left(\left(\frac{dy}{dt}\right)_{(dx_i)}\right)_{max}} \right|, \quad (2)$$

где: $\left(\frac{dy_{acymn}}{dt}\right)_{(dx_i)}$ – скорость изменения выходного сигнала y_{acymn} ;

$\left(\frac{dy_{unc}}{dt}\right)_{(dx_i)}$ – рассчитанная ИНС, скорость изменения выходного сигнала;

$\left(\left(\frac{dy}{dt}\right)_{(dx_i)}\right)_{max}$ – максимум скорости изменения выходного сигнала.

Тогда оценки вероятностей правильности выходных сигналов:

$$P_{dx} = \left| 1 - \frac{\left| \left(\frac{dx_j}{dt}\right)_{(dx_i)} - \left(\frac{dx_{j,unc}}{dt}\right)_{(dx_i)} \right|}{\left(\left(\frac{dx_j}{dt}\right)_{(dx_i)}\right)_{max}} \right| \quad (3),$$

$\left(\frac{dx_j}{dt}\right)_{(dx_i)}$ – скорость изменения входного сигнала x_j ;

$\left(\frac{dx_{j,unc}}{dt}\right)_{(dx_i)}$ – рассчитанные ИНС скорости изменения входного сигнала;

$\left(\left(\frac{dx_j}{dt}\right)_{(dx_i)}\right)_{max}$ – максимум скорости изменения входного сигнала.

Далее выходные сигналы P_c , P_{dy} и P_{dx} подаются на автоматизированное рабочее место оператора. На основании этого можно перевести АСУТП на ручное управление (РУ) тумблером S_{py} .

Заключение

В статье рассмотрена возможность создания экспертной системы для оценки функционирования АСУТП ТЭС с применением ИНС. Предварительно обученная распознаванию нештатных ситуаций ИНС может классифицировать аварийные и предаварийные ситуации, выполнять диагностику оборудования и давать рекомендации по техническому обслуживанию.

Список литературы

1. Уязвимости в АСУТП: итоги 2018 года // Positive Technologies URL: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/ics-vulnerabilities-2019/?sphrase_id=90074 (дата обращения: 30.09.21).
2. Актуальные киберугрозы: II квартал 2020 года // Positive Technologies URL: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2020-q2/?sphrase_id=90075 (дата обращения: 30.09.21).
3. Безопасность SCADA: Stuxnet – что это такое и как с ним бороться? // Security Lab URL: <https://www.securitylab.ru/analytics/400024.php> (дата обращения: 30.09.21).
4. Кибератаки: вирус-диверсант Stuxnet в ядерной энергетической программе Ирана. Часть 1 // Наука и техника URL: <https://naukatehnika.com/kiberataki-virus-diversant-stuxnet-v-yadernoj-energeticheskoy-programme-irana-chast1.html> (дата обращения: 30.09.21).
5. Промышленные компании: векторы атак // Positive Technologies URL: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/ics-attacks-2018/?sphrase_id=90076 (дата обращения: 30.09.21).

2.3.3.

Д.А. Пудов, Д.А. Груздков, А.А. Рачишкин

Тверской государственный технический университет,
факультет информационных технологий,
кафедра автоматизации технологических процессов,
Тверь, pudov.dmit@mail.ru

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ПОТОКА И ФОРМИРОВАНИЯ ПАКЕТОВ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ДАТЧИКОВ МАШИНЫ ТРЕНИЯ

В работе описан процесс обработки потока данных, получаемого с датчиков машины трения. Описывается способ разбиения потока на исходные пакеты данных. Разработан алгоритм фильтрации пакетов данных, позволяющий избежать попадание поврежденной последовательности к последующей обработке. Он значительно сокращает вероятность ошибки в дальнейших расчетах, повышая отказоустойчивость системы. Представлена схема алгоритма, наглядно показывающая последовательность действий при его выполнении.

Ключевые слова: *алгоритмизация, система мониторинга, машина трения, триботехнические испытания.*

Введение. В современном мире существует множество методов мониторинга, контроля и анализа лабораторных испытаний, которые могут значительно различаться в зависимости от целей и масштабов исследований. Зачастую проведение опытов сопровождается получением большого объема информации, часть из которой может быть повреждена, что ухудшает чистоту экспериментальных исследований. Для мониторинга фрикционных характеристик материалов, твёрдосмазочных и функциональных покрытий в процессе лабораторных триботехнических испытаний по средствам машины трения, описанной в работах [1-3], необходимо считывать и обрабатывать большой поток данных, передаваемый с датчиков через CAN-шину [4]. Количество полученных данных достигает от нескольких десятков тысяч до нескольких миллионов значений за малый период времени. Рассматриваемая установка спроектирована на платформе плат Nucleo и датчиков ZetLab [5].

Описание проблематики. Основной причиной разработки алгоритмов обработки потока данных и формирования пакетов послужила необходимость исключения поврежденных участков потока данных из дальнейших вычислений, проводимых системой мониторинга. Данные, поступающие с рассматриваемой машины трения, представляют собой поток байт, закодированный в соответствии с таблицей ASCII. Байты последовательно собираются в пакеты, каждый из которых представляет собой строку длиной в 10 байт, структура которых подробнее описана в работе [6]. На начальном этапе данные, получаемые с датчиков машины, представляют собой постоянный поток байт от датчиков, приходящих на большой скорости. Поскольку подключение машины на данном этапе осуществляется посредством последовательного порта (COM Port) некоторые передаваемые пакеты, формирующие поток могут доходить с искажением. По этой причине первостепенной задачей при разработке системы мониторинга является реализация алгоритма обработки потока данных.

Фильтрация потока пакетов играет значительную роль в построении ПО системы мониторинга проведения испытаний. Простейшим методом его реализации является отслеживание байтов-разделителей, расположенных в начале и конце пакета, что позволит игнорировать неполные последовательности. В результате такого подхода к фильтрации снижается как вероятность появления ошибки при вычислении, так и количество данных поступающих на обработку.

Цель работы. Создание алгоритма обработки потока данных с помощью разбиения потока на пакеты и оптимизация их дальнейшей обработки посредством исключения искаженных последовательностей.

Алгоритм обработки потока данных. Основной задачей алгоритма является разделение потока данных на пакеты длиной 10 байт, с фильтрацией неполных последовательностей. В ходе исследования было выявлено, что оптимальным вариантом является создание буфера данных из которого будут последовательно отбираться 10 байт и проверяться на целостность. Данный способ позволяет проверить каждый байт полученный с датчиков машины трения со скоростью обработки достаточной для проведения лабораторных испытаний. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 2.

Алгоритм формирует первоначальный буфер (DataBuffer), представленный в виде очереди и состоящий минимум из 4096 элементов. Данный метод был выбран по тому, что реализация посредством очереди позволяет последовательно проверить каждый поступающий в систему байт, исключая дополнительное искажение их последовательности. Далее создаётся дополнительный буфер длиной 10 байт (Строковый Буфер – «СБ»), для формирования пакета и его дальнейшей проверки. Ограничителем длины СБ служит буфер-индекс (БИ) позволяющий ограничить его в соответствии с заранее определенным размером буфера (РБ). СБ заполняется путем переноса первого байта из DataBuffer в начало собственной очереди до тех пор пока не нарушено условие добавления (УД). Само УД имеет следующий вид: *если (БИ = 0 и СБ[БИ] = 255) или (БИ > 0 и БИ < РБ - 1)*, что позволяет избежать переполнения СБ. Структура данного алгоритма представлена на рисунке 1.

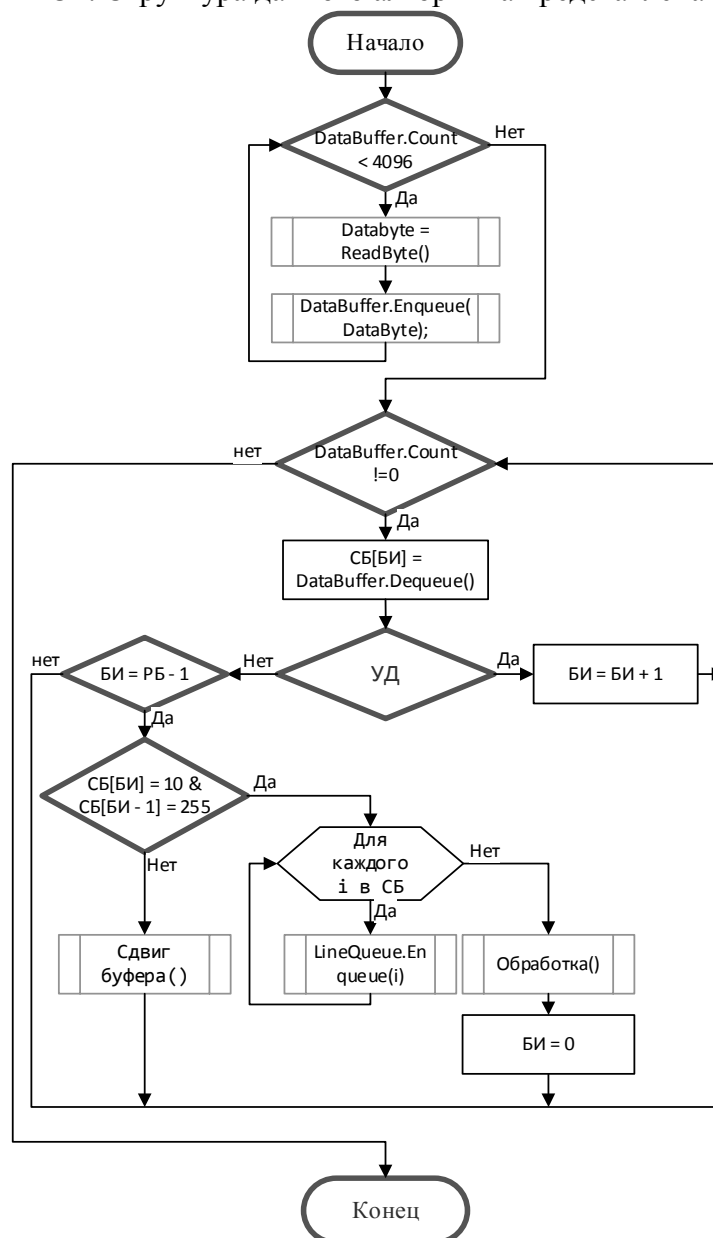


Рис. 1 – Схема алгоритма обработки потока данных.

После содержимое буфера проверяется на наличие искажений в соответствии с изначальной схемой кодирования пакета данных: последний байт пакета соответствует символу переноса строки (10 в соответствии с ASCII), а предпоследний – символу разделителю в соответствии с изначальной структурой пакета (255 в ASCII). Если сформированный пакет соответствует условиям, то он отправляется на последующую обработку, в противном случае происходит вызов метода сдвига буфера (Сдвиг буфера()) до тех пор пока не будет сформирован полноценный пакет данных.

Алгоритм сдвига буфера. Алгоритм сдвига буфера работает по следующему принципу:

1. Весь СБ проверяется на наличие байта-разделителя, расположенного в начале каждого пакета (255 в ASCII);
2. Как только байт-разделитель найден определяется его индекс (next_i). Если данный байт отсутствует, то next_i получает значение 1;
3. В БИ сохраняется значение сдвига равное РБ – next_i. Данное действие позволит сдвинуть буфер на определенное количество байт, что позволит дополнить его значениями из DataBuffer (все значения находящиеся после позиции БИ будут перезаписаны);
4. Байты, записанные в буфер, будут сдвинуты в начало буфера, начиная с позиции next_i.

Блок-схема алгоритма сдвига буфера обозначена на рисунке 2.

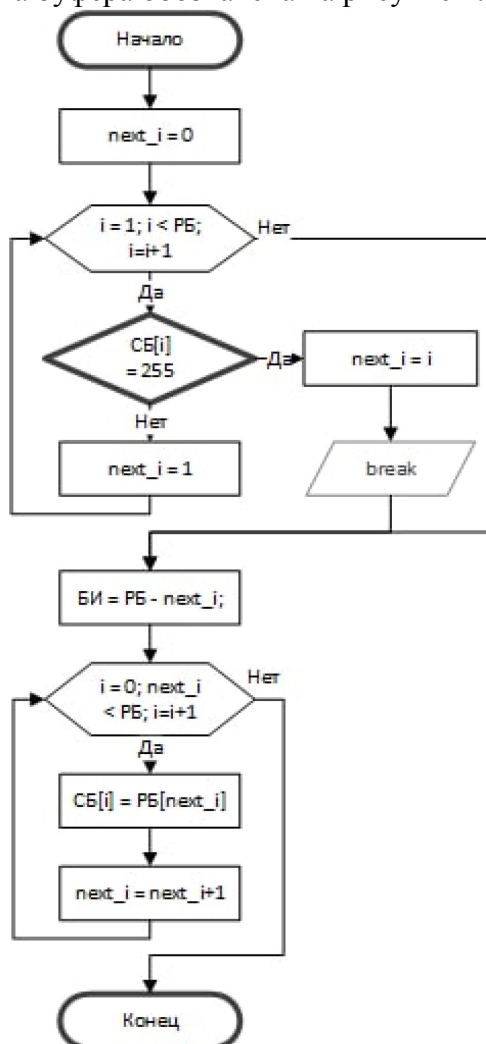


Рис. 2 – Схема алгоритма сдвига буфера

Заключение. Разработанный алгоритм позволяет разбить поток данных, полученных в ходе лабораторных триботехнических испытаний конструкционных материалов, на пакеты данных, что позволит оптимизировать их дальнейшую обработку посредством значительного сокращения количества информации в результате фильтрации искаженных последовательностей.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-326.2021.4.

Список литературы

1. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: справочник / В.С. Комбалов; Под ред. К.В. Фролова, Е.А. Марченко.- М.:Машиностроение, 2008. -384 с.
2. *Сутягин О.В.* Установка для лабораторных триботехнических испытаний ТС-2. // О.В. Сутягин, А.А. Рачишкин, Д.А. Груздков // Межвуз. сб. науч.тр. Тверь: ТвГТУ, 2021. № 14. С. 85-90.
3. *Сутягин О.В., Тихомиров В.А., Рачишкин А.А.* Лабораторные триботехнические испытания твёрдосмазочных покрытий // Трибология-машиностроению: XIII Международная научно-техническая конференция. Сборник трудов. – М., 2020. – С. 290-295.
4. Интерфейс CAN в ZETSENSOR // ZETLAB URL: <https://zetlab.com/podderzhka/tsifrovyye-datchiki-semeystva-zetsensor/programmirovaniye/interfeys-can-v-zetsensor/> (29.10.2022)
5. *Груздков Д.А., Рачишкин А.А.* Применение плат Nucleo и датчиков ZetLab в системах автоматизации технических процессов // Мехатроника, Автоматика и Робототехника, 2022. №9. С. 63-66.
6. *Пудов Д.А.* Разработка алгоритма формирования выходных данных с датчиков машины трения // Д.А Пудов, А.А. Рачишкин, Д.А. Груздков // Журнал передовых исследований в области естествознания. 2022. № 17. С. 49-52.

2.3.3.

А.В. Репина

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
факультет наноматериалов и нанотехнологий,
кафедра физики

ВИБРАЦИОННОЕ ГОРЕНИЕ В АКУСТИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ СИСТЕМАХ

В работе изучено влияние отдельных элементов топочных устройств на характер вибрационного горения. Показано, что при приближении собственных акустических частот отдельных элементов установки в последней возникают биения значительной амплитуды.

Ключевые слова: *вибрационное горение, акустические системы, биения.*

Вибрационное горение как автоколебательный процесс часто реализуется в системах, сжигающих топливо [1]. При его возникновении возбуждаются колебания значительной амплитуды, наличие которых могут приводить к механическому разрушению всего горелочного устройства. Наиболее значительно это явление проявилось при разработке космических ракетносителей [2].

Как правило, конструкция горелочных устройств включает в себя отдельные элементы, обладающие собственными резонансными частотами. При совпадении резонансных частот элементов конструкции амплитуда колебаний возникающего вибрационного горения достигает экстремальные значения амплитуд.

Целью настоящей работы явилось экспериментальное исследование возбуждение вибрационного горения в акустически связанных системах.

Эксперименты проводились на установке, схема которой представлена на рисунке 1 и условно состоит из трех частей: камера сгорания – 2, в которой осуществлялся процесс сжигания предварительно подготовленной газо-воздушной смеси (пропан-бутан с воздухом), предтопок – 3, в который по касательной непрерывно с заданным расходом подавалась газо-воздушная смесь, и горелка – 12.

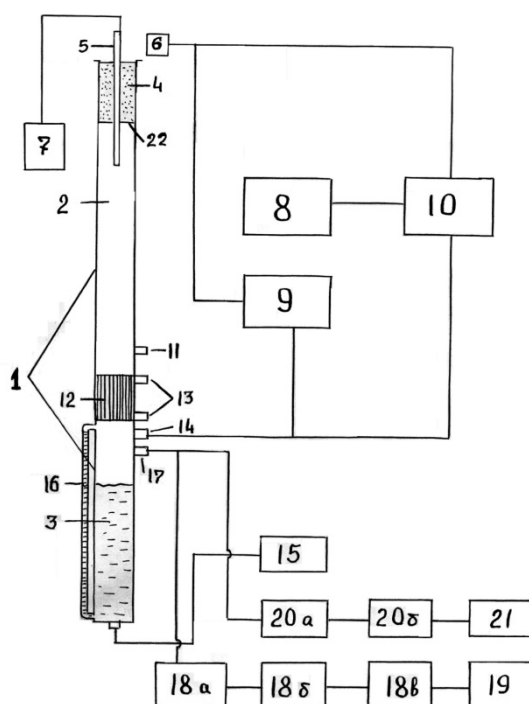


Рис. 1 – Схема экспериментальной установки

Топка и предтопок изготовлены из нержавеющей трубы наружным диаметром $57 \times 3,5$ мм. Труба секционирована, что позволяло ступенчато изменять ее длину с шагом 100 мм в пределах – для топки $400 < L < 1900$ мм, для предтопка – $100 < H < 600$ мм. Установка всегда располагалась вертикально.

Горелка представляла собой полый цилиндр, внешний диаметр которого равнялся диаметру нержавеющей трубы, внутри которой параллельно образующей размещались 130 латунных трубок диаметром 2 мм. В пространстве между трубками циркулировала охлаждающая вода, которая непрерывно подавалась и отводилась через патрубки 13. Длина горелки также, как и длина трубочек равнялась 100 мм. Площадь живого сечения трубочек горелки сохранялась постоянной и равной 408 мм^2 . Пережим живого сечения всей камеры из-за присутствия горелки составлял величину равную 0,208, т.е. площади живого сечения горелки и камеры сгорания отличались почти в пять раз. На выходном конце камеры сгорания располагался акустический глушитель 4, который представлял собой засыпку из шариков, которые удерживались сеткой 22. Высота засыпки выдерживалась постоянной и равной 200 мм. Использовались шарики из керамзита, диаметр которых составлял 5-6 мм. Наличие такого глушителя позволяло снизить уровень излучаемых звуковых колебаний на 30-35 дБ.

Для изменения объема, предтопок заполнялся водой. Уровень воды изменяли с помощью внешнего сосуда с водой 15, перемещая который по вертикали можно было плавно изменять степень заполнения предтопка. Высота заполнения определялась с помощью мерного стекла 16. При изменении расхода газо-воздушной смеси давление в предтопке изменялось, что приводило к вытеснению части жидкости обратно во внешний сосуд. Для исключения этого в линию, соединяющую внешний сосуд с предтопком, помещали пробковый кран (на рисунке не показан), наличие которого в закрытом положении позволяло фиксировать степень заполнения предтопка водой при изменении режима подачи газо-воздушной смеси в установку. В дальнейшем длина предтопка свободная от воды обозначалась H .

При измерении пульсаций давления, возникающих при возбуждении вибрационного горения, использовался акустический зонд, выполненный на базе микрофона МД-200 6, а также датчик ЛХ-610 не охлаждаемый 14 ввинчивался в боковую стенку предтопка на расстоянии 30 мм от нижнего торца горелки. Сигналы с датчиков давления 6 и 17 подавались на двух лучевой осциллограф С1-18 10 и фиксировался на фотопленку с помощью фоторегистратора ФОР-2 8.

При необходимости сигнал с датчиков давления подавался на терц-октавный анализатор спектра 9. Предварительные эксперименты показали, что эргонесущие компоненты изучаемого сигнала фиксируются в полосах 100, 200 и 315 Гц. Остальные полосы частот дают существенно меньший вклад в уровень звука, поэтому измерения на остальных полосах частот не производились.

Газо-воздушная смесь подавалась в холодную часть установки (предтопок) через патрубок 17 по касательной. Патрубок располагался на расстоянии 25 мм от нижнего торца горелки напротив датчика давления. Воздух в камеру сгорания нагнетался газодувкой. Расход воздуха измерялся ротаметром. В качестве газообразного топлива использовался пропан, который подавался из баллона.

В предварительных опытах изучалось влияние глушителя. При отсутствии глушителя эпюра давления внутри камеры сгорания качественно совпадает с эпюрой давления для трубы, открытой с одного торца, но вблизи выходного торца горелки реализуется локальный максимум давления, величина которого в 1,5 раза меньше главного максимума.

При наличии глушителя эпюра давления по характеру похожа на эпюру стоячей волны, возникающей в трубе, акустически закрытой с обоих торцов.

На рисунке 2 представлено влияние длины незаполненного водой предтопка на параметры вибрационного горения. По мере увеличения длины предтопка, начиная с некоторого значения в камере наряду с высокочастотными колебаниями порядка $185 \div 125$ Гц возникают низкочастотные колебания (биения) с частотой $19 \div 10$ Гц. Последнее указывает на тот факт,

что всю установку можно условно разделить на две акустически связанные системы: камеру сгорания и предтопок с горелкой, обладающие каждая собственной частотой.

По мере сближения собственных частот парциальных систем возникает режим биений, при этом глубина модуляции результирующих колебаний увеличивается (рис. 2а), а частота биений снижается (рис. 2в).

На рисунке 2б приведены результаты измеренных в эксперименте значений высокочастотной составляющей колебаний внутри предтопка и собственной частоты системы предтопок+горелка рассчитанной по формуле резонатора Гельмгольца (сплошная линия).

$$F_{\Gamma} = [C * (S/V * h)^{0.5}] / 2\pi,$$

где $C = 330$ м/с – скорость звука, $S = 4,08$ см² – площадь сечения каналов горелки, $V = \pi * R^2 * H$ – объем предтопка, свободный от воды, h – длина каналов горелки.

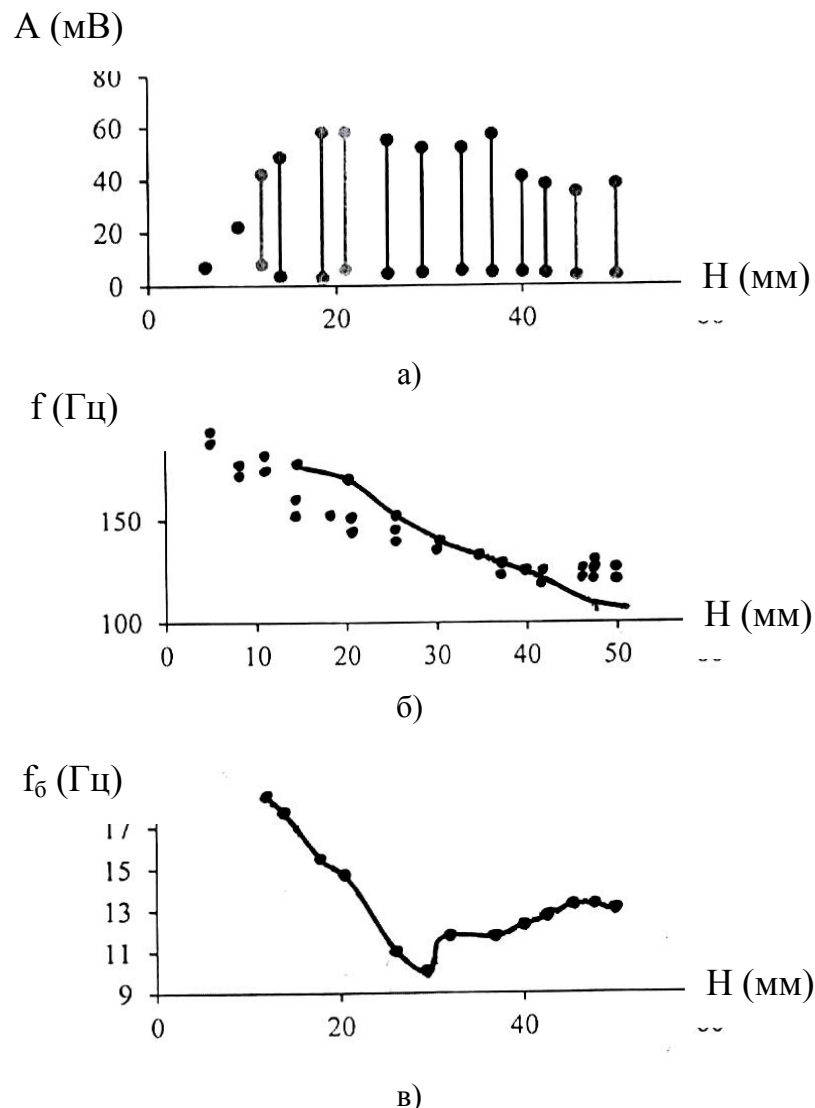


Рис. 2 – Влияние длины предтопка на параметры вибрационного горения

а) – амплитуда, б) – частота колебаний, в) – частота биений

$L = 80$ см, $h = 100$ мм, $C = 5\%$, $Q_B = 600$ см³/с

Для горелки с длиной каналов $h = 100$ мм формула примет вид

$$F_{\Gamma} = 75.767 * H^{-0.5} \text{ (Гц)}.$$

Увеличение длины предтопка приводит к снижению частоты биений. Достигнув минимума, частота биений возрастает. Однако, количественное совпадение не удовлетворительное.

Минимальное значение частоты биений, зафиксированное в эксперименте равно 10 Гц, а расчет предсказывает величину равную 2,36 Гц. При увеличении расстройки частоты теория предсказывает более сильное изменение частоты биений.

Эти расхождения, на наш взгляд, обусловлены приближенным характером формулы для расчета собственной частоты резонатора Гельмгольца.

Во - первых, как показал Релей [3], истинная длина трубочек горелки не совпадает с геометрической длиной. Эффективная длина трубочек рассчитывается по формуле

$$L_{\text{эфф}} = L_0 + \sigma * R.$$

Здесь L_0 – геометрическая длина трубочек, R – радиус трубочек, $\sigma = 0,6133$. Такая поправка действует для трубы, открытой с одного конца. Если труба открыта с двух концов, то поправка удваивается. В нашем случае частота рассчитывается по формуле:

$$F_{\Gamma} = 75.306 * H^{-0,5} \quad (\text{Гц})$$

В данном случае изменения не существенны - снижение частоты на 0,61%.

Экспериментально показано, что учет влияния взаимодействия отдельных структурных элементов топочных устройств оказывается существенным при анализе возбуждения вибрационного горения.

Список литературы

1. Раушенбах Б.В. Вибрационное горение // М: гос. изд-во физ.-матем. лит., 1961. - 500 с.
2. Харрье Д.Т., Рирдон Ф.Г. Неустойчивость горения в ЖРД. – М.: Мир, 1975. – 869 с.
3. Рэлей Д.С. Теория звука. – М.: Гостехиздат, 1955. – 2 т.

2.3.3.

Л.А. Симонова д-р техн. наук, Д.Н. Демьянов канд. техн. наук, А.А. Капитонов

Набережночелнинский институт (филиал)
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В работе рассмотрена реализация предложенной ранее методики, позволяющей оценить фактическое состояние основных узлов двигателя внутреннего сгорания, для определения величины остаточного ресурса цилиндропоршневой группы. Приведен перечень основных диагностических параметров и диапазоны их изменения, выявлена зависимость между значениями диагностических параметров и степенью износа, формализованная в виде базы правил подсистемы нечеткого логического вывода. Описана программная реализация методики и проведена оценка адекватности получаемых результатов.

Ключевые слова: дизельный двигатель, цилиндропоршневая группа, остаточный ресурс, нечеткий логический вывод, база правил.

Введение. Одним из основных элементов дизельного двигателя является цилиндропоршневая группа (ЦПГ), обеспечивающая преобразование тепловой энергии сгорания топлива в механическую энергию движения поршней. В связи с этим оценка фактического состояния ЦПГ представляет собой важную практическую задачу, для решения которой был предложен целый ряд методик [1-3].

Однако, большинство известных методик требует для своей реализации применения специализированного диагностического оборудования или же позволяет получать лишь достаточно грубые оценки. Поэтому перспективным способом определения фактической величины остаточного ресурса ЦПГ представляется использование интеллектуальных алгоритмов анализа данных.

Ранее авторами была предложена общая методика, позволяющая определить величину остаточного ресурса основных узлов двигателя внутреннего сгорания, основанная на использовании нечеткой логики [4]. В данной работе рассматривается ее применение к задаче оценки величины остаточного ресурса ЦПГ дизельного двигателя грузового автомобиля.

Оценка остаточного ресурса ЦПГ. В соответствии с общей методикой [4] на начальном этапе путем анализа статистических данных и экспертного мнения опытных специалистов по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту автомобилей семейства КАМАЗ, был определен перечень основных диагностических параметров, характеризующих степень изношенности ЦПГ: крутящий момент двигателя, удельный расход топлива, температура охлаждающей жидкости, давление картерных газов.

Далее в соответствии с мнением экспертов были определены закономерности изменения диагностических параметров в процессе износа ЦПГ (таблица 1).

Таблица 1 – Перечень диагностических параметров

Наименование диагностического параметра	Малый износ	Средний износ	Значительный износ
Крутящий момент двигателя, M	Номинальный	Пониженный	Низкий
Удельный расход топлива, g	Номинальный	Повышенный	Высокий
Температура охлаждающей жидкости, $t_{ож}$	Номинальная	Повышенная	Высокая
Давление картерных газов, $p_{кг}$	Номинальное	Повышенное	Высокое

На основе экспертной оценки для одной из моделей двигателей были определены конкретные числовые значения диапазонов изменения диагностических параметров при скорости вращения 1100 об/мин в установившемся режиме. С целью упрощения дальнейшей программной реализации методики была проведена нормировка рассматриваемых величин в соответствии с формулой:

$$x = \frac{A - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}}$$

Здесь обозначено: A – натуральное значение диагностического параметра, выраженное в соответствующих физических величинах; $A_{\max}$ и $A_{\min}$ – соответственно наибольшее и наименьшее значения диагностического параметра; x – нормированное значение диагностического параметра, выраженное в безразмерных величинах и находящееся в диапазоне от 0 до 1.

В таблицах 2 – 3 представлены полученные диапазоны изменений диагностических параметров.

Таблица 2 – Диапазоны изменения крутящего момента

Диагностический параметр	Номинальный	Пониженный	Низкий
Крутящий момент двигателя M , Н*м	2350 - 1900	2000 - 1600	1690 - 1350
Нормированное значение $M \rightarrow x_1$	1 - 0,55	0,65 - 0,25	0,34 - 0

Таблица 3 – Диапазоны изменения удельного расхода топлива, температуры охлаждающей жидкости и давления картерных газов

Диагностический параметр	Номинальный	Повышенный	Высокий
Удельный расход топлива g , г/кВт*ч	180 - 191	190 - 204	203 - 220
Нормированное значение $g \rightarrow x_2$	0 - 0,275	0,25 - 0,6	0,575 - 1
Температура охлаждающей жидкости $t_{ож}$, °С	90 - 103	98 - 110	107 - 115
Нормированное значение $t_{ож} \rightarrow x_3$	0 - 0,52	0,32 - 0,8	0,68 - 1
Давление картерных газов $p_{кг}$, кПа	0,48 - 0,6	0,57 - 0,8	0,75 - 0,88
Нормированное значение $p_{кг} \rightarrow x_4$	0 - 0,3	0,225 - 0,8	0,675 - 1

Для всех выбранных входных переменных была принята трапецеидальная форма функции принадлежности.

По совокупности значений диагностических параметров может быть определена нормированная величина степени износа ЦПГ (таблица 4). Вид функции принадлежности выходной величины был принят треугольным.

Таблица 4 – Диапазоны изменения степени износа

Выходная величина	близкая к нулю	низкая	ниже средней	средняя	выше средней	повышенная	высокая
Степень износа, P	0 - 0,2	0,1 - 0,3	0,2 - 0,5	0,3 - 0,7	0,5 - 0,8	0,7 - 0,9	0,8 - 1

Величина остаточного ресурса определяется по формуле:

$$R = R_0(1 - P)$$

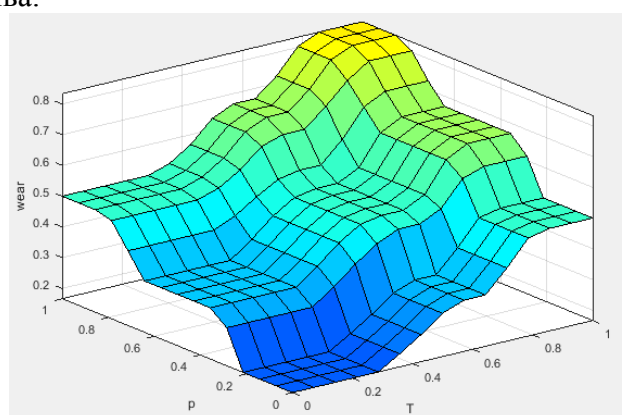
Здесь R – расчетное значение величины остаточного ресурса в километрах пробега; R_0 – регламентное значение ресурса ЦПГ (для данной модели автомобиля принято равным 1 млн. км.); P – нормированное значение степени износа.

Взаимосвязь между значениями диагностических параметров и степенью износа ЦПГ была получена путем обработки экспертных оценок и формализована в виде базы, включающей в себя 81 правило. В таблице 5 приведен фрагмент разработанной базы, веса всех правил в базе были приняты равными единице.

Таблица 5 – Фрагмент базы правил подсистемы нечеткого вывода

№	Крутящий момент двигателя	Удельный расход топлива	Температура охлаждающей жидкости	Давление картерных газов	Степень износа
1	номинальный	номинальный	номинальная	номинальное	близкая к нулю
2	номинальный	номинальный	номинальная	повышенное	низкая
...	...	...	...	...	...
80	низкий	высокий	высокая	повышенное	высокая
81	низкий	высокий	высокая	высокое	высокая

Описанная подсистема нечеткого логического вывода была реализована в системе компьютерной математики MATLAB с использованием пакета расширений Fuzzy Logic Toolbox [5]. На рисунке 1 приведен пример поверхности, показывающей зависимость степени износа ЦПГ от нормированных значений температуры охлаждающей жидкости и давления картерных газов при некоторых промежуточных значениях крутящего момента и удельного расхода топлива.

Рис. 1 – Зависимость степени износа от значения диагностических параметров x_3 и x_4

Для предварительной оценки разработанной подсистемы нечеткого логического вывода была проведена серия вычислительных экспериментов с использованием реальных данных, соответствующих пробегу 150 и 300 тыс. км. Полученные результаты являются адекватными и соответствуют экспертным оценкам степени износа и величины остаточного ресурса ЦПГ.

Заключение. В представленной работе приведена методика определения остаточного ресурса ЦПГ дизельного двигателя, основанная на интеллектуальных алгоритмах анализа данных. Разработана и реализована подсистема нечеткого логического вывода, позволяющая оценивать величину остаточного ресурса по известным значениям диагностических параметров. После незначительной подстройки параметров подсистемы нечеткого логического вывода, полученные результаты могут быть использованы для оценки фактического состояния ЦПГ дизельных двигателей иных моделей.

Список литературы

1. Агеев Е.В., Кудрявцев А.Л., Севостьянов А.Л. Алгоритм диагностирования цилиндропоршневой группы с применением технического эндоскопа // Мир транспорта и технологических машин. 2012. № 1. С. 116-122.
2. Грунин К.Е. Совершенствование диагностики цилиндропоршневой группы методом пневмотестирования // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 4. С. 13-21.
3. Курносоев А.Ф., Гуськов Ю.А., Корниенко В.Н., Галынский А.А. Совершенствование способа оценки технического состояния цилиндропоршневой группы на основе внешней импульсно-силовой характеристики двигателя // АПК России. 2022. Т. 29. № 1. С. 36-41.
4. Симонова Л.А., Демьянов Д.Н., Капитонов А.А. Методика оценки величины остаточного ресурса основных узлов ДВС на основе нечеткой логики // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 12. С. 136-139.
5. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая Линия – Телеком, 2007. 288 с.

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

2.3.5.

¹С.С. Емельянова, ¹Н.Н. Иващенко, ²Е.А. Киселева

Саровский физико-технический институт

¹Национального исследовательского ядерного университета МИФИ,²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

ИСПРАВЛЕНИЕ ПРОБЛЕМ В ОС ROCKS CLUSTERS ПРИ ВНЕДРЕНИИ ФС LUSTRE

В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с устранением неполадок в многопроцессорной вычислительной системе, разработанной для расчета задач численного моделирования и построенной на основе ОС Rocks Clusters с использованием сетевой файловой системы Lustre.

Ключевые слова: *многопроцессорная вычислительная система, операционная система, сетевая файловая система, Rocks Clusters, Lustre, troubleshooting.*

Введение

Суперкомпьютеры (кластеры) играют важную роль в жизнедеятельности компаний или предприятий. В частности, суперкомпьютерные вычисления в наше время являются неотъемлемой частью любого крупного предприятия.

Общего стандарта по развертыванию, установке и настройке самого кластера не существует, поэтому все тонкости работы в данном направлении отдаются на откуп системным администраторам компании.

При первоначальной установке возникает множество подводных камней, не говоря уже о модернизации существующего кластера.

В данной работе разбираются проблемы, возникающие во время внештатных ситуаций. За основу берётся вычислительный кластер, использующийся для математических вычислений, а также 3Д моделирования.

Описание вычислительного комплекса

В основе выбранного кластера (многопроцессорной вычислительной системы, далее MBC) лежит ОС Rocks Clusters. В качестве сетевой файловой системы для кластера выбран протокол сетевого доступа NFS. В роли локальной файловой системы выбрана файловая система ext4. Локальная файловая система ext4 является журналируемой файловой системой, способной хранить данные до 1EiB (эксбибайт. Равен 1024^6 байтам.).

ОС Rocks Clusters является дистрибутивом для кластеров, основанным на CentOS 6.2. Данная ОС была выбрана ещё в 2015 году при создании MBC. ОС Rocks Clusters на момент внедрения являлась идеальным решением в части архитектуры кластера. Управляющие узлы могут быть взаимозаменяемы, а вычислительные узлы, которыми они управляют, не несут в себе ничего значимого в администрировании. Другими словами, при выходе из строя более чем 50% управляющих узлов, кластер останется работать в штатном режиме. В свою очередь вычислительные узлы кластера достаточно легко администрировать, а в случае сбоев, легко восстанавливать.

За всё время эксплуатации кластера данная ОС показала достаточно хорошие результаты по отказоустойчивости и удобству администрирования. Однако, по производительности, разработанная MBC оставляла желать лучшего.

NFS (Network File System) является протоколом сетевого доступа к файловым системам, разработан компанией Sun Microsystems. Предоставляет пользователям прозрачный доступ к

файлам и файловой системе. За время эксплуатации данного подхода выявлены некоторые значительные недостатки файловой организации МВС:

- Единая точка отказа;
- Низкая производительность;
- Ограниченная масштабируемость.

В качестве модификации для повышения производительности, на МВС внедрена сетевая файловая система Lustre. В роли локальной файловой системы выбрана файловая система ldiskfs.

Локальная файловая система ldiskfs представляет собой улучшенную версию ext4.

Сетевая файловая система Lustre разработана компанией Cluster File Systems и обладает следующими достоинствами:

- масштабируемость;
- производительность;
- открытый исходный код;
- поддержка отказоустойчивости;
- возможность получения информации о том, на каком из узлов кластера расположен тот или иной файл или его часть;
- возможность принудительно размещать файлы на заданных узлах кластера.

Как показали тесты[1] данная файловая система имеет преимущество в производительности более чем на 30% при расчёте задач моделирования. Помимо производительности, с помощью файловой системы Lustre МВС была переконфигурирована в отказоустойчивый кластер[2].

Описание возникших проблем и их решение

Несмотря на все достоинства разработанной конфигурации МВС в ходе эксплуатации иногда встречаются неприятные моменты, о которых хотелось бы рассказать в данной статье.

Одна из серьезных проблем возникла при незапланированном отключении электропитания в серверной. После включения питания и загрузки МВС, управляющий сервер загрузился в нужное ядро (для работы серверных компонент ФС Lustre необходима загрузка сервера в ядро Lustre [1], которое поставляется вместе с дистрибутивами ФС Lustre), а вычислительные узлы загружались в стандартное ядро ОС Rocks Clusters.

Для решения данной проблемы было принято решение об изменении конфигурационного файла /boot/grub/grub-orig.conf, которым при штатной перезагрузке вычислительных узлов перезаписывается файл /etc/grub.conf, что является штатным механизмом в системе Rocks Clusters, предназначенным для защиты от случайных сбоев в системе.

При установке модифицированного ядра, необходимого для функционирования файловой системы Lustre, вносятся изменения в конфигурационный файл загрузчика (/etc/grub.conf), сразу после установки модифицированного ядра, данные из файла /etc/grub.conf были скопированы в конфигурационный файл /boot/grub/grub-orig.conf.

После проведения вышеизложенных манипуляций, при штатной перезагрузке серверов МВС, все серверы, выполняющие роль серверных компонент файловой системы Lustre загружались в необходимое для корректной работы ядро операционной системы.

Второй из серьезных проблем, с которой пришлось столкнуться во время эксплуатации МВС, была проблема связи вычислительных узлов с управляющим узлом. Данная проблема выявилась так же после незапланированного отключения электропитания в серверной.

В конфигурационном файле /etc/yum.repos.d/rocks-local.repo (конфигурационный файл локального репозитория) был прописан системой некорректный ip-адрес подключения к управляющему узлу. После смены ip-адреса на доступный адрес управляющего узла, все вычислительные узлы корректно могли получать от управляющего узла все необходимые пакеты для установки и развертывания.

Третья серьезная проблема выявилась на момент отказа одного из серверов файловой системы Lustre в тот момент, когда еще не была настроена автоматическая отказоустойчивость средствами Pacemaker и Corosync [3].

При выходе из строя одного из серверов файловой системы Lustre все вычислительные узлы потеряли доступ к файловой системе, так как было выведено из эксплуатации одно из хранилищ файловой системы Lustre. Чтобы возобновить доступ к файловой системе без потери данных на ней, необходимо было перезаписать параметры таргета. Это было реализовано с помощью следующих команд (все команды необходимо выполнять под учётной записью администратора root):

```
tunefs.lustre -verbose /dev/mapper/mpathc – просмотр параметров таргета mpathc.
```

```
tunefs.lustre -erase-param ==mgsnode=nid0_mgs@tcp:nid1_mgs@tcp –  
servicenode=nid0_ost0@tcp:nid1_ost1@tcp /dev/mapper/mpathc, где:
```

nid0_mgs – ip адрес главного сервера файловой системы Lustre, который хранит информацию о конфигурации,

nid1_mgs – ip резервного сервера для nid0_mgs,

nid0_ost0, nid1_ost1 – ip адреса серверов хранения файловой системы Lustre, один из которых является изначальным держателем OST, а другой является сервером-заменой для выбывшего из строя сервера.

Все манипуляции с таргетами необходимо производить при отмонтированном таргете. Все параметры обновляются после монтирования таргета.

После восстановления серверных компонент файловой системы Lustre можно монтировать файловую систему уже на клиентах Lustre.

Заключение

В данной статье кратко описаны возникшие проблемы в процессе эксплуатации МВС с ОС Rocks Clusters и файловой системой Lustre. Рассмотренные проблемы в основном могут возникнуть при несогласованном отключении электропитания. Исходя из всего вышеизложенного, при создании МВС для широкого использования в численном моделировании необходимо изначально задумываться о системах резервного питания, а также о системах резервного копирования данных.

Список литературы

1. Емельянова С.С., Ильченко Е.А. «Поиск оптимальной конфигурации сетевой файловой системы на многопроцессорной вычислительной системе», - Сборник материалов XIV Всероссийской молодежной научно-инновационной школы. 2020г.;
2. Емельянов А.В., Емельянова С.С., Киселева Е.А. «Обеспечение отказоустойчивости файловой системы lustre», - Научно-технический вестник Поволжья №6, 2022г.;
3. Емельянова С.С., Иващенко Н.Н. «Автоматизация процесса конфигурации импортозамещенного вычислительного кластера», - Сборник материалов XVI Всероссийской молодежной научно-инновационной школы «Математика и математическое моделирование» 2022г.

2.3.5.

Н.Н. Иващенко, С.С. Емельянова

Саровский физико-технический институт
Национального исследовательского ядерного университета МИФИ

ИССЛЕДОВАНИЕ TERRAFORM КАК СРЕДСТВО IAC. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННОГО ПО ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОБЛАЧНЫХ ИНФРАСТРУКТУР

В данной работе рассматриваются вопросы использования Terraform для создания облачной инфраструктуры. Детально рассматривается программное обеспечение Terraform, его характеристики, возможности, преимущества. Также рассматривается файловая структура Terraform и процесс работы данного ПО.

Ключевые слова: *облачная инфраструктура, cloud computing, terraform. облачные вычисления.*

Термин облачные вычисления все чаще и чаще используется в нашей жизни. Любое производство в какой-то мере использует такие вещи как облачная инфраструктура, облачные вычисления, облачные хранилища, хосты виртуализации.

На данный момент существует большое количество облачных провайдеров, предоставляющих услуги создания и использования облачных инфраструктур.

Классический способ создания облачной инфраструктуры – это ее создание используя консоль провайдера.

Infrastructure as Code (IaC) — практика управления инфраструктурой через конфигурационные файлы, а не через ручное редактирование. Именно такой метод и используется Terraform.

Terraform — open-source cloud-agnostic инструмент оркестрации инфраструктуры от компании HashiCorp. Инфраструктура описывается с помощью специального декларативного языка HCL или JSON, которые используют следующие типы данных:

- string строка, последовательность символов юникода. Пример: "example"
- number — число, целое или дробное.
- bool — логический, true или false
- list (или tuple) — список значений. Пример: ["us-east-1", "us-east-2"]
- null — специальный тип отсутствующего значения

Terraform, по своей сути, является именно средством создания инфраструктуры, а не ее конфигурации. Для конфигурирования уже созданной инфраструктуры, как правило, используются такие средства как Ansible.

В Terraform основное взаимодействие с облачным провайдером осуществляется с помощью ряда основных команд:

- terraform init — инициализация провайдера;
- terraform plan — валидация конфигурационного файла;
- terraform apply — применение конфигурации.
- terraform destroy — уничтожение описанной инфраструктуры

В конфигурационном файле мы описываем желаемое состояние нашей облачной инфраструктуры (пример показан на рисунке 1).

```

terraform {
  required_providers {
    aws = {
      source = "hashicorp/aws"
      version = "~> 3.27"
    }
  }
}

provider "aws" {
  profile = "default"
  region = "us-west-2"
}

resource "aws_instance" "main" {
  ami           = "ami-830c94e3" # Ubuntu
  instance_type = "t2.micro"

  tags = {
    Name = "Example Instance"
  }
}

```

Рис. 1 – Конфигурационный файл облачной инфраструктуры

Вносим информацию о провайдере, о желаемых вычислительных ресурсах и хранилищах информации. Затем с помощью команды `terraform init` мы создаем `terraform state` – главный файл в `terraform`, который отражает состояние созданной инфраструктуры и инициализируем провайдера, `terraform` скачивает необходимый файл из репозитория для конкретного провайдера облачной инфраструктуры и производит первичную настройку его зависимостей. С помощью команды `terraform plan` мы можем отобразить информацию о ресурсах которые будут созданы, на основании конфигурационного файла, на стороне облачного провайдера и также провести валидацию правильности написания кода. Используя команду `terraform apply`, мы уже применяем конфигурацию и создаем все описанные ресурсы на стороне провайдера. Команда `terraform destroy` позволяет нам уничтожать уже созданные инфраструктуры.

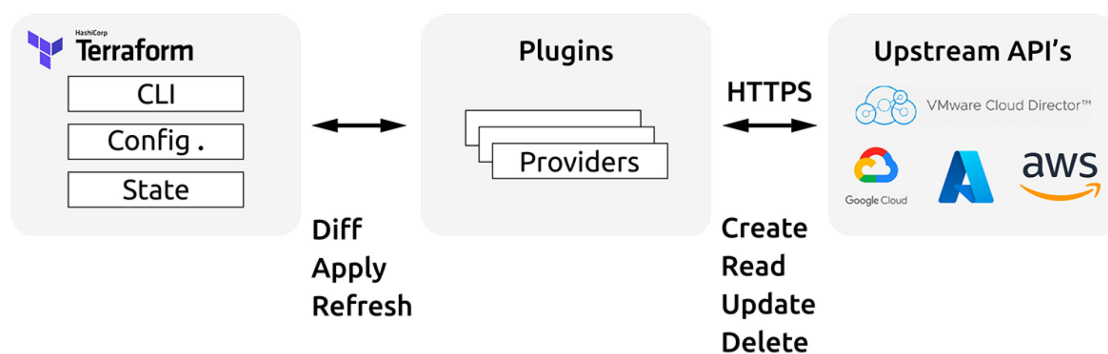


Рис. 2 – Состав облачной инфраструктуры

Разберем подробнее каждый из блоков:

- Первый блок — Terraform состоит из CLI (самого ядра Terraform), Config (конфигурационный файл описывающий инфраструктуру) и State (файл содержащий текущее состояние инфраструктуры).
- Второй блок — Plugins, в нём содержатся провайдеры (модули подключения к API облачных провайдеров).
- Третий блок — облачные провайдеры. Настройка провайдера для работы Terraform, внутри себя, состоит из ряда основных компонентов, с помощью которых, он реализует свой основной функционал:

Terraform Provider

Провайдер — подключаемый плагин для взаимодействия с внешними системами (например, AWS). Количество провайдеров огромное, их можно найти в Terraform Registry. Terraform позволяет одновременно использовать любое количество провайдеров для

различных задач. Вот пример кода сразу двух действий на разных облачных провайдерах — AWS и Google Cloud:

```
resource "aws_instance" "example" {
  ami = "ami-0c55b159cbfaffe1f0"
  instance_type = "t2.micro"
}
resource "google_dns_record_set" "a" {
  name = "demo.google-example.com"
  managed_zone = "example-zone"
  type = "A"
  ttl = 300
  rrdatas = [aws_instance.example.public_ip]
}
```

В первом блоке — API-запрос на создание сервера в AWS, во втором блоке — добавление DNS-записи в Google Cloud. Подобные конфиги обычно хранятся на github и все желаемые изменения инфраструктуры вносятся в код, а потом применяются.

Terraform Resources

Ресурсы — любые объекты, которые мы создаем (бакет S3, виртуальная машина, доменное имя и т.д.).

Terraform Data Sources

Дата-ресурсы — внешние ресурсы, которые уже были созданы в системе, с которыми мы хотели бы взаимодействовать в исходном коде (например, уже созданный айпи-адрес для виртуальной машины). Обращение к ресурсам Обращение к дата-ресурсу идет в формате: `data.тип_ресурса.имя.переменная`

Пример: `data.aws_ami.example.arn`. При обращении к обычным ресурсам указывается только: `тип_ресурса.имя.переменная`

Terraform Outputs

Outputs — это значения, которые возвращаются объектами Terraform (например, `resource`, `data-source`, `module`). Каждое возвращаемое значение задается отдельным блоком класса `output`.

```
output "instance_ip_addr" { description = "The private IP address of the instance." Value = aws_instance.server.private_ip }
```

Также существует параметр `sensitive`, принимающий значения `true` или `false` является ли значение секретом, который нельзя показывать в консоли.

Получение значений `output` Возвращаемые значения можно получить из стейта с помощью команды `terraform output`. Это позволяет интегрировать Terraform в различные скрипты и пайплайны. Пример показан на рисунке 3.



```
$ terraform output
instance_ips = [
  "54.43.114.12",
  "52.122.13.4",
  "52.4.116.53"
]
lb_address = "my-app-alb-1657023003.us-east-1.elb.amazonaws.com"
password = <sensitive>
```

Рис.3 – Пример скрипта с интеграцией Terraform

Terraform Variables

Terraform Variables — это способ передать в Terraform-код входящие значения. Если проводить аналогию с программированием, `variables` — это аргументы функции, а `output` — это `return` функции (рисунок 4).

```
variable "image_id" {  
  type      = string  
  description = "The id of the machine image (AMI) to use for the  
server."  
}
```

Рис. 4 – Использование Terraform Variables в скрипте

параметры variables :

- default значение переменной по умолчанию. Делает необязательной передачу переменной;
- type — тип переменной (подробнее на следующем слайде);
- description — описание переменной;
- validation — набор правил и функций для проверки переменной;
- sensitive -является ли переменная секретом. Ограничивает ее вывод при использовании.

Terraform Variables описываются в отдельном файле tfvars (Рисунок 5).

```
$ cat terraform.tfvars  
image_id = "ami-abc123"  
availability_zone_names = [  
  "us-east-1a",  
  "us-west-1c",  
]
```

Рис. 5 – Пример tfvars файла

После того как переменная описана внутри файла tfvars ее можно использовать внутри основного кода, используя интерполяцию.

Пример: "line-begining-\${var.something}-and-ending"

Переменная var.something будет добавлена в центре строки. Синтаксис \${} внутри строки обозначает вставку выражения.

Список литературы

1. <https://developer.hashicorp.com> (Дата обращения: 10.10.2022г.);
2. <https://kb.selectel.ru/docs/cloud/servers> (Дата обращения: 15.10.2022г.)
3. <https://habr.com/ru/company/piter/blog> (Дата обращения: 16.10.2022г.)

2.3.5.

М.В. Стрихарь

Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
факультет очного обучения,
кафедра прикладной механики и математики,
Чита, mseryogina@mail.ru

УСЛОВИЕ РАВЕНСТВА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СУММ ДИАГОНАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ПИРАМИДЫ ПАСКАЛЯ

В работе рассмотрены суммы элементов диагональных сечений пирамиды Паскаля. Сформулирована и доказана теорема о равенстве последовательностей сумм диагональных сечений пирамиды Паскаля. Приведен пример, иллюстрирующий применение доказанной теоремы.

Ключевые слова: *Паскаль, пирамида Паскаля, свойства пирамиды Паскаля, сечение пирамиды Паскаля, числовая последовательность, рекуррентное соотношение.*

В последние десятилетия, в связи с ростом числа задач моделирования и исследования различных явлений и процессов, растет число комбинаторных объектов и их разнообразие. Уникальная «The on-line encyclopedia of integer sequences» (OEIS) [1], основанная Нилом Слоуном в 1964 г., содержит в настоящее время около 300000 статей по числовым последовательностям, встречающимся в комбинаторике, теории графов и т.д., что, в свою очередь, вызывает необходимость создания единого подхода для получения и изучения таких объектов. Для моделирования ряда числовых последовательностей, описываемых в OEIS, в [2] было введено понятие пирамиды Паскаля, которую в конце 90-х годов XX века предложил О.В. Кузьмин. Это понятие часто позволяет при анализе комбинаторных объектов получать простые рекуррентные соотношения и находить естественные ее связи с другими комбинаторными моделями.

Пирамидой Паскаля [2] называем трехгранный пирамидальный массив (рис. 1), элементы которого удовлетворяют следующим рекуррентным соотношениям:

$$\binom{n+1}{k, l} = \binom{n}{k-1, l} + \binom{n}{k, l-1} + \binom{n}{k, l}$$

с граничными условиями $\binom{0}{0, 0} = 1$, $\binom{n}{k, l} = 0$, если $\min(n, k, l, n-k-l) < 0$.

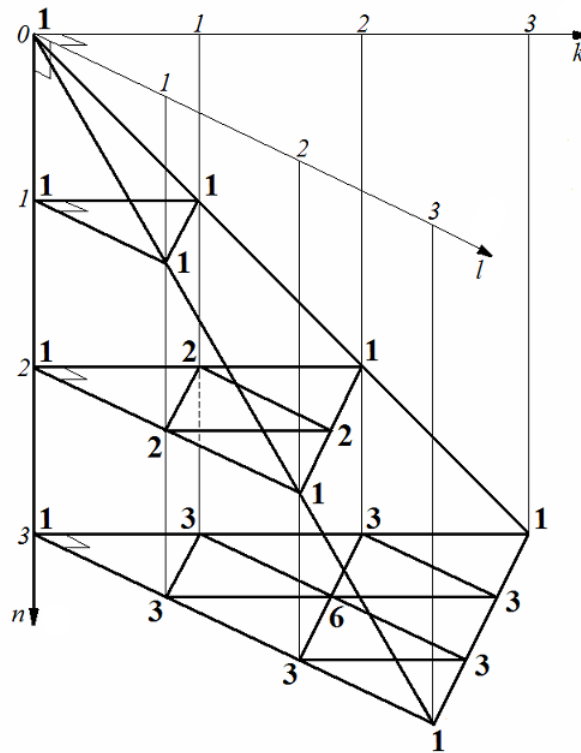


Рис. 1 – Пирамида Паскаля

Введем в рассмотрение суммы $S_N \left(\frac{p_1}{q_1}, \frac{p_2}{q_2} \right)$, $p_1, p_2 \in \mathbb{Z}$, $q_1, q_2, N \in \mathbb{N}$, – N -х плоских диагональных сечений [3] пирамиды Паскаля (рис. 2).

Известно, что последовательность сумм S_N удовлетворяет следующему рекуррентному соотношению

$$S_N = S_{N-M_n} + S_{N-M_d} + S_{N-M_x} \quad (1)$$

с начальными условиями

$$S_0 = 1, \quad S_1 = S_2 = \dots = S_{M_n-1} = 0;$$

S_I , $I = M_n, \dots, M_d - 1$, задаются соотношениями

$$S_I = S_{I-M_n}, \quad (2)$$

S_J , $J = M_d, \dots, M_x - 1$, задаются соотношениями

$$S_J = S_{J-M_n} + S_{J-M_d}, \quad (3)$$

где

$$S_N = S_N \left(\frac{p_1}{q_1}, \frac{p_2}{q_2} \right), \quad q - \text{наименьшее общее кратное чисел } q_1, q_2,$$

$$M_n = \min \left(q, \frac{q}{q_1} (p_1 + q_1), \frac{q}{q_2} (p_2 + q_2) \right),$$

$$M_d = \text{mid} \left(q, \frac{q}{q_1} (p_1 + q_1), \frac{q}{q_2} (p_2 + q_2) \right),$$

$$M_x = \max \left(q, \frac{q}{q_1} (p_1 + q_1), \frac{q}{q_2} (p_2 + q_2) \right).$$

Здесь $\text{mid}(a, b, c) = \{a, b, c\} \setminus (\min(a, b, c) \cup \max(a, b, c))$ – есть среднее из трех чисел (от англ. middle – середина).

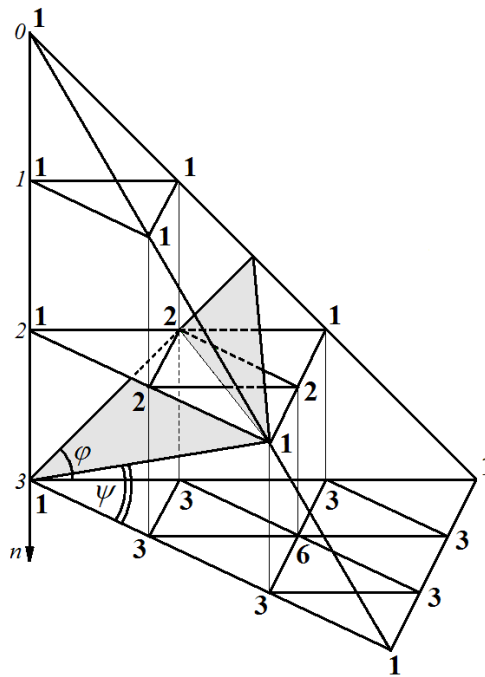


Рис. 2 – Диагональное сечение пирамиды Паскаля $\left(\operatorname{tg} \varphi = \frac{p_1}{q_1}, \operatorname{tg} \psi = \frac{p_2}{q_2} \right)$

Рассмотрим две последовательности сумм плоских сечений пирамиды Паскаля:

$$\left\{ S_N \left(\frac{p_1}{q_1}, \frac{p_2}{q_2} \right) \right\}, \quad p_1, p_2 \in \mathbb{Z}, \quad q_1, q_2, N \in \mathbb{N}, \quad (4)$$

$$\left\{ S'_N \left(\frac{p'_1}{q'_1}, \frac{p'_2}{q'_2} \right) \right\}, \quad p'_i \in \mathbb{Z}, \quad q'_i \in \mathbb{N}, \quad i = 1, 2, \quad N \in \mathbb{N}_0. \quad (5)$$

Для каждой из последовательностей определим величины M_n , M_d , M_x и M'_n , M'_d , M'_x соответственно.

Теорема. Если выполняются равенства $M_n = M'_n$, $M_d = M'_d$ и $M_x = M'_x$, то последовательности (4) и (5) равны.

Доказательство. Поскольку последовательности (4) и (5) удовлетворяют рекуррентному соотношению (1) и выполняются равенства $M_n = M'_n$, $M_d = M'_d$ и $M_x = M'_x$, а начальные условия задаются соотношениями (2) – (3), то последовательности (4) и (5) состоят из одних и тех же элементов, то есть равны. Теорема доказана.

Пример. Доказать равенство последовательностей $\left\{ S_N \left(\frac{a}{b}, \frac{a}{b} \right) \right\}$ и $\left\{ S_N \left(-\frac{a}{a+b}, 0 \right) \right\}$ сумм элементов плоских сечений пирамиды Паскаля, если $a \in \mathbb{Z}$, $b \in \mathbb{N}$, $a > -b$, $N \in \mathbb{N}_0$.

Доказательство. Определим для каждой из последовательностей величины M_n , M_d , M_x и M'_n , M'_d , M'_x соответственно.

Для последовательности $\left\{ S_N \left(\frac{a}{b}, \frac{a}{b} \right) \right\}$ имеем

$$p_1 = p_2 = a, \quad q_1 = q_2 = q = b,$$

$$M_n = \min \left(q, \frac{q}{q_1} (p_1 + q_1), \frac{q}{q_2} (p_2 + q_2) \right) = \min \left(b, \frac{b}{b} (a + b), \frac{b}{b} (a + b) \right) = \min (b, a + b),$$

$$M_d = \operatorname{mid} \left(q, \frac{q}{q_1} (p_1 + q_1), \frac{q}{q_2} (p_2 + q_2) \right) = \operatorname{mid} (b, a + b),$$

$$M_x = \max \left(q, \frac{q}{q_1}(p_1 + q_1), \frac{q}{q_2}(p_2 + q_2) \right) = \max(b, a + b).$$

Поскольку $a > -b$, то для последовательности $\left\{ S_N \left(-\frac{a}{a+b}, 0 \right) \right\}$ имеем

$$\begin{aligned} p'_1 &= -a, \quad p'_2 = 0, \quad q'_1 = q' = a + b, \quad q'_2 = 1, \\ M_n &= \min \left(q', \frac{q'}{q'_1}(p'_1 + q'_1), \frac{q'}{q'_2}(p'_2 + q'_2) \right) = \\ &= \min \left(a + b, \frac{a+b}{a+b}(a + b - a), \frac{a+b}{1}(0 + 1) \right) = \min(a + b, b), \\ M_d &= \text{mid} \left(q', \frac{q'}{q'_1}(p'_1 + q'_1), \frac{q'}{q'_2}(p'_2 + q'_2) \right) = \text{mid}(a + b, b), \\ M_x &= \max \left(q', \frac{q'}{q'_1}(p'_1 + q'_1), \frac{q'}{q'_2}(p'_2 + q'_2) \right) = \max(a + b, b). \end{aligned}$$

Окончательно, если $a > -b$, то

$$M_n = M'_n, \quad M_d = M'_d \quad \text{и} \quad M_x = M'_x$$

и в силу **Теоремы** данные последовательности равны.

Следствие. Для натуральных взаимно простых M_n , M_d и M_x справедливы равенства:

$$\begin{aligned} S_N \left(\frac{M_n}{M_x} - 1; \frac{M_d}{M_x} - 1 \right) &= S_N \left(\frac{M_d}{M_x} - 1; \frac{M_n}{M_x} - 1 \right) = S_N \left(\frac{M_n}{M_d} - 1; \frac{M_x}{M_d} - 1 \right) = \\ &= S_N \left(\frac{M_x}{M_d} - 1; \frac{M_n}{M_d} - 1 \right) = S_N \left(\frac{M_d}{M_n} - 1; \frac{M_x}{M_n} - 1 \right) = S_N \left(\frac{M_x}{M_n} - 1; \frac{M_d}{M_n} - 1 \right). \end{aligned}$$

В частных случаях получаем известные и новые числовые последовательности, которые могут быть изучены при помощи пирамиды Паскаля. Например, последовательность *чисел Якобсталя* [4] 1, 3, 5, 11, 21, 43, 85, 171, 341, 683, 1365, 2731, ... образуется в пирамиде Паскаля при $\frac{p_1}{q_1} = \frac{p_2}{q_2} = 1$, а также при $\frac{p_1}{q_1} = -\frac{1}{2}$, $\frac{p_2}{q_2} = 0$.

Последовательность *чисел Пелля* [1] 1, 2, 5, 12, 29, 70, 169, 408, 985, 2378, 5741, 13860, ..., образуется в пирамиде Паскаля при $\frac{p_1}{q_1} = \frac{p_2}{q_2} = -\frac{1}{2}$, а также при $\frac{p_1}{q_1} = 1$, $\frac{p_2}{q_2} = 0$.

Последовательность *чисел Трибоначчи* [1] 1, 1, 2, 4, 7, 13, 24, 44, 81, 149, 274, 504, ..., образуется в пирамиде Паскаля при $\frac{p_1}{q_1} = 1$, $\frac{p_2}{q_2} = 2$, а также при $\frac{p_1}{q_1} = -\frac{1}{3}$, $\frac{p_2}{q_2} = -\frac{2}{3}$, или при $\frac{p_1}{q_1} = -\frac{1}{2}$, $\frac{p_2}{q_2} = \frac{1}{2}$.

Список литературы

1. Sloane N.J. The On-Line Encyclopedia of Integer Sequences / N. J. Sloane. – Published electronically at <http://oeis.org>.
2. Кузьмин О.В. Обобщенные пирамиды Паскаля и их приложения / О. В. Кузьмин – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21549166>
3. Кузьмин О.В. Плоские сечения пирамиды Паскаля и полные покрытия прямоугольников / О. В. Кузьмин, М. В. Серёгина // Материалы X Междунар. сем. "Дискретная математика и ее приложения" (Москва, МГУ, 1-6 февр. 2010 г.) / под ред. О.М.Касим-Заде. – М.: Изд-во мех.-мат. ф-та МГУ, 2010. – С. 247 – 250.
4. Čerin Z. Sums of Squares and Products of Jacobsthal Numbers / Z. Čerin // Journal of Integer Sequences. – 2007. Vol. 10, Article 07.2.5.

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

2.3.5.

З.Ш. Абдураманов, З.С. Сейдаметова, Г.С. Сейдаметов

ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»,
факультет экономики, менеджмента и информационных технологий,
кафедра прикладной информатики,
Симферополь, abduramanov.z.s@gmail.com, z.seydametova@gmail.com, s.girey.s@gmail.com

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ХАКАТОНА

Рассмотрены теоретические и практические аспекты, связанные с организацией и проведением хакатонов. Авторы описали этапы проведения соревновательных мероприятий, преимущества и недостатки в организации хакатонов. Представлена модель хакатона, а также инструменты организации и проведения хакатонов, в частности, технологических.

Ключевые слова: *хакатон, сотрудничество, заинтересованные стороны, модель, разработка программных приложений.*

Популярность хакатонов, интенсивов, соревновательных мероприятий по цифровым инновациям постоянно растет. Хакатоны – это команды (напр., разработчики, дизайнеры), которые собираются вместе для создания и продвижения нового или завершенного приложения. Обычно это краткосрочные мероприятия, в ходе которых разработчики генерируют идеи и превращают их в прототипы, приложения или какие-то другие решения. Затем идеи и прототипы оцениваются экспертным жюри и выбираются победители. К сожалению, несмотря на то, что на хакатонах генерируются новые идеи, предлагаются инженерные решения и разрабатываются прототипы, только небольшое количество идей, решений и прототипов выводится на рынок и используется конечными пользователями. Организация, проведение и анализ результатов хакатона являются важнейшими составляющими успешности хакатонов.

В статьях [1] – [4] авторы представили результаты эмпирических исследований по проблеме проведения хакатонов, предложили стратегии и модели организации хакатонов. В статьях [5], [6], [7] рассмотрена возможность использования соревновательных мероприятий типа хакатона, в частности, технологических хакатонов, для формирования компетенций, необходимых для разработки программных приложений.

Цель статьи – проанализировать и представить модель хакатона, а также инструменты организации и проведения технологического хакатона

Организацию и проведение хакатона можно разделить на три основных этапа (рис. 1): (1) подготовка к хакатону, (2) проведение хакатона, (3) подведение итогов и осмысление результатов.

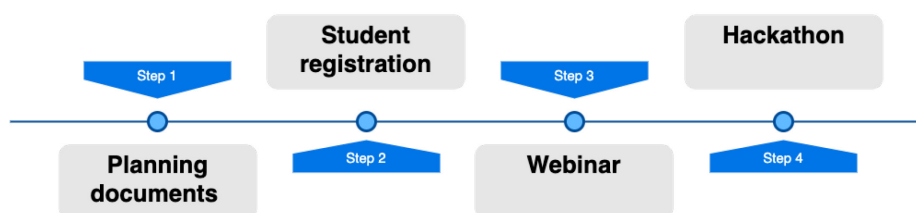


Рис. 1 – Основные этапы организации и проведения хакатона

(1) Подготовка к хакатону включает в себя (1.1) спонсорство, (1.1) отслеживание мероприятия, (1.3) поддержка руководством университет, (1.4) подготовка документов,

в которых отражается миссия и цель хакатона, (1.5) продвижение (рекламная компания, поиск «ангелов», привлечение малых и средних предприятий, понимающих цель и ценность хакатона), (1.6) регистрация.

(2) Проведение хакатона. Этот этап содержит три составляющие: (2.1) готовность – знакомство участников с набором инструментов, используемых во время хакатона; (2.2) содержание – обеспечение геймификации, т.е. подготовка простого процесса и шаблона для отправки приложений/потоков, создаваемых во время хакатона; (2.3) выполнение – обеспечение питания, эксперты, профессиональные в предметной области, и с которыми участники смогут связаться и обсудить свои идеи приложений/потоков.

(3) Подведение итогов и осмысление результатов – (3.1) оценивание, выбор победителей, (3.2) публичное объявление результатов, (3.3) определение последующих шагов, (3.4) определение возможности масштабирования мероприятия.

В статье [7] представлена сводка преимуществ и возможных недостатков при проведении хакатонов (таблица составлена нами на основе опросов участников технологических хакатонов). Глобальными преимуществами соревновательных мероприятий типа технологического хакатона могут быть (1) *рождение инноваций* (разнообразие участников, новые и разные идеи для решения той или иной проблемы); (2) *поиск талантов* (многие компании в поиске креативных, талантливых, компетентных сотрудников); (3) *знакомство с новыми людьми* (возможность работать с единомышленниками); (4) технологический хакатон помогает увеличить *внедрение API*; (5) *командное сотрудничество* (участники попадают в ситуацию, когда приходится работать с новыми людьми в течение многих часов подряд для достижения цели).

На рис. 2 представлена модель организации и проведения технологического хакатона. Модель составлена нами на основе нашего опыта организации и проведения технологических хакатонов для формирования проектных компетенций у обучающихся на направлениях подготовки, связанных с IT-отраслью.

При организации хакатонов важно учитывать следующие рекомендации:

1. *Тщательная подготовка места проведения мероприятия.* Это дает участникам возможность полностью сосредоточиться на своих задачах во время хакатона с минимальным отвлечением, связанным с внешними факторами. Для поддержки атмосферы творчества желательны зоны отдыха и снятия стресса. Также важно обеспечить доступность для проверки согласованности на протяжении всего процесса всех ключевых игроков: команд, менторов, организаторов, экспертов, жюри. Физическое пространство и ресурсы важны для успешного сотрудничества.

2. *Информирование и поддержка участников.* Организаторам следует принять меры для поддержки участников, чтобы они оставались сосредоточенными, активными и мотивированными. Работа над проектом во время хакатона должны развиваться постепенно и поступательно. В конце каждого этапа должна быть презентация промежуточных результатов, и общая презентация в конце мероприятия.

3. *Выбор времени проведения хакатона.* Уровень и состав членов команд важен, поэтому необходимо выбирать время проведения хакатона, когда участники не участвуют в других мероприятиях.

4. *Совместная работа в команде.* Встречи и тесное сотрудничество с другими членами команды, участвующими в проекте, полезны для всех участников и являются очень продуктивным способом достижения результатов.

5. *Гибкость.* При организации и во время хакатона важно найти баланс между установлением жестких целей и методов, и достаточно открытыми и слабо определенными задачами. Такой подход позволяет совместить достижение цели, дает возможность появиться новым идеям, а также развивает новаторское мышление.

6. *Размер команды.* Было установлено, что в идеале размер команды составляет от 5 до 6 членов команды.

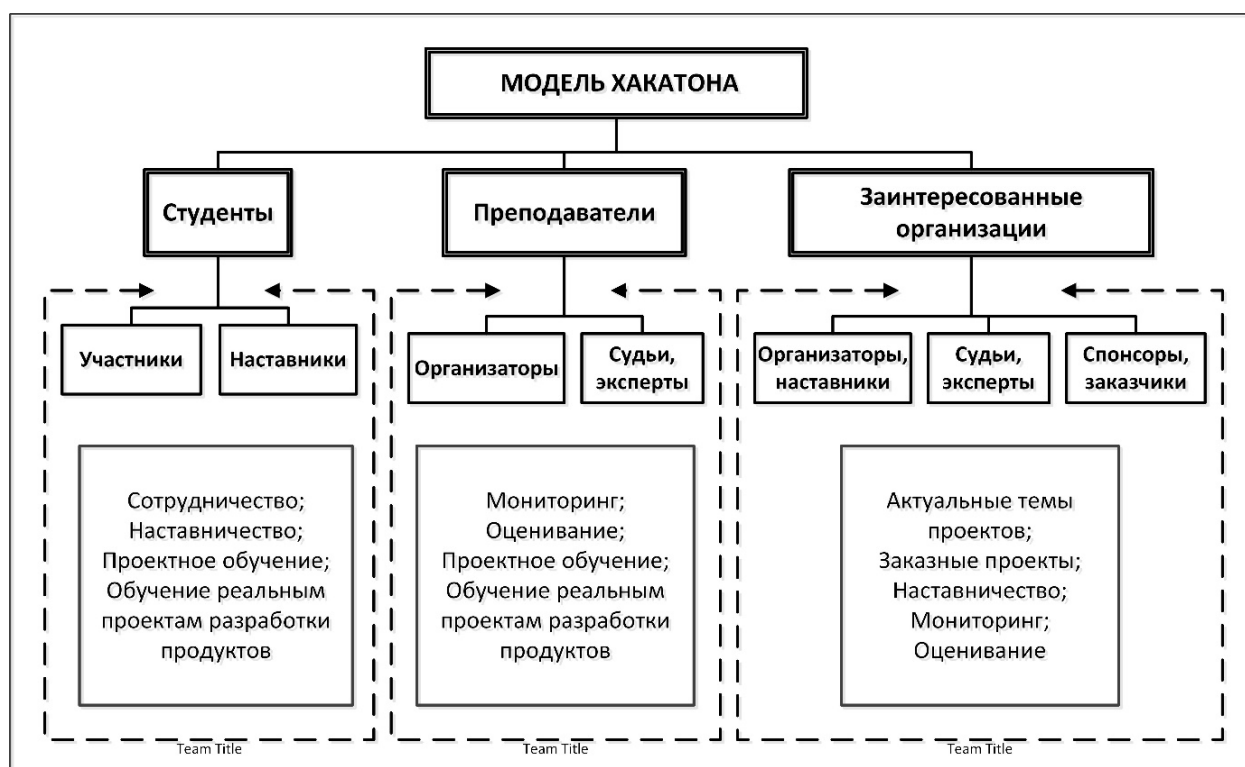


Рис. 2 – Модель организации и проведения технологического хакатона

Организаторы хакатонов разрабатывают технологические инструменты для успешного управления мероприятием. Например, MyMLH – API, который позволяет обмениваться данными; Nucleus – расширяемая комплексная система приложений для хакатона, которая интегрируется с MyMLH, Slack и другими сервисами; HackathonManager – универсальная платформа для регистрации и логистики хакатона с поддержкой MyMLH; Quill – система регистрации, разработанная специально для хакатонов, которая позволяет управлять заявками, просматривать статистику регистрации; Slack – расширяемый, бесплатный инструмент для общения, который можно использовать практически на хакатонах; Gavel – приложение судейства на хакатоне.

Возможна разработка собственных платформ для проведения хакатона. Такое приложение должно обеспечивать следующие возможности: 1) регистрация и авторизация участников, наставников, судей, заказчиков, экспертов; 2) выбор роли в системе: участник, наставник, организатор, судья, эксперт администратор системы; 3) описание технического задания для команды-участника; 4) контроль и оценка прохождения этапов разработки продукта; 5) итеративная работа команды с ментором (получение и внесение правок на каждом этапе разработки); 6) отслеживание статусов команд.

Список литературы

1. Смирнова Я.В., Кирпичёва Е.Ю., Роевко А.О., Еришов Е.А. Методика организации проектной деятельности студентов в виде Хакатона // Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание. № 1, 2021. – С. 140–149.
2. Mahmoud A.S.I., Dey T., Nolte A., Mockus A., Herbsleb, J.D. One-off events? An empirical study of hackathon code creation and reuse // Empirical software engineering, 27(7), 2022. – P.1-49.
3. Kamariotou M., Kitsios F. Hackathons for driving service innovation strategies: the evolution of a digital platform-based ecosystem. // J. Open Innov. Technol. Mark. Complex. №8, 111, 2022. – 16 p.
4. Valença G., Lacerda N., de Souza C.R.B., Gama K. A systematic mapping study on the organisation of corporate hackathons. // Euromicro conference on software engineering and advanced applications. 2020. – P. 421-428.
5. Sadovykh A, Beketova M, Khazeev M. Hackathons as a part of software engineering education: Case in tools example // International workshop on frontiers in software engineering education. 2019. – P. 232-245.
6. Абдураманов З.Ш., Ибраимов Р.И., Сейдаметов Г.С. Автоматизация средств мониторинга и проверки работ обучающихся на примере Хакатона // Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере, № 4(26), 2019. – С. 79-86.
7. Абдураманов З.Ш., Сейдаметова З.С., Сейдаметов Г.С. Хакатон как среда обучения промышленной разработке программных приложений // Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере, №3 (29), 2020: – С. 90-98.

2.3.5.

**М.В. Александрова, О.К. Головнин, А.В. Иващенко,
А.В. Кривошеев, П.В. Ситников, О.Л. Сурнин**

ООО «Открытый код»,
Самара, margarita.alexandrowa@mail.ru

ТЕХНОЛОГИИ ТЕКСТОПОНИМАНИЯ И ТЕКСТОГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ ЮРИДИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В статье представлено программное решение, позволяющее реализовать возможности автоматического текстопонимания и текстогенерации в отрасли Legal Tech. Рассмотрены и обобщены современные тенденции внедрения информационных технологий в этой сфере, даны рекомендации по их развитию с использованием технологий искусственного интеллекта. Предложенное решение основано на реализации онтологической базы знаний для описания, организации и представления отношений между извлеченными из документов атрибутами, например, нормативными правовыми актами, их отдельными пунктами и подпунктами.

Ключевые слова: база знаний, онтология, нейронная сеть, искусственный интеллект, распознавание текста.

Интеллектуальные технологии семантического анализа текстовых данных в настоящее время широко применяются при автоматизации документооборота. Одним из перспективных направлений их реализации является отрасль Legal Tech, обеспечивающая информационно-технологическое обслуживание профессиональной юридической деятельности [1]. Традиционно в рамках Legal Tech производится автоматизация управления договорами, результатами юридических исследований, делами и практикой, хранения документации и т.п. [2, 3]. Однако, эти возможности могут быть существенно расширены путем внедрения интеллектуальных технологий текстопонимания и текстогенерации, основанных на базах знаний [4, 5].

В данной статье предлагается новый подход для понимания и генерации текста применительно к сфере Legal Tech. Решение основано на реализации базы знаний в виде онтологии, в которой описаны основные правила распознавания документов. Дополнительно реализована искусственная нейронная сеть, позволяющая находить атрибуты в виде ответов на запросы, сформированные на естественном языке. Программная реализация такого решения предназначена для извлечения атрибутов из документов, семантического поиска и сравнения юридических документов с различной логической структурой, а также генерации новых документов с использованием фрагментов текста из различных источников.

В качестве методологии обработки и анализа нормативной правовой документации используется онтологический подход [6, 7], согласно которому в автоматизированном режиме формируется тематическая база знаний в виде семантической сети (см. Рис. 1). В результате загрузки юридического документа в ручном или автоматическом режиме осуществляется его распознавание и формируется список атрибутов, специфичный для данного типа документа.

Онтологическая модель может быть представлена в виде графа с взаимосвязанными узлами или дерева, состоящего из перечня атрибутов и используемых регулярных выражений (см. Рис. 2).

Предусмотрено два режима формирования онтологии:

- оператор задает YARGY-правила и регулярные выражения, а также структуру анализируемого документа;
- на основании накопленных данных по загруженным документам одного типа определяется типовая структура, типовые регулярные выражения и YARGY-правила.

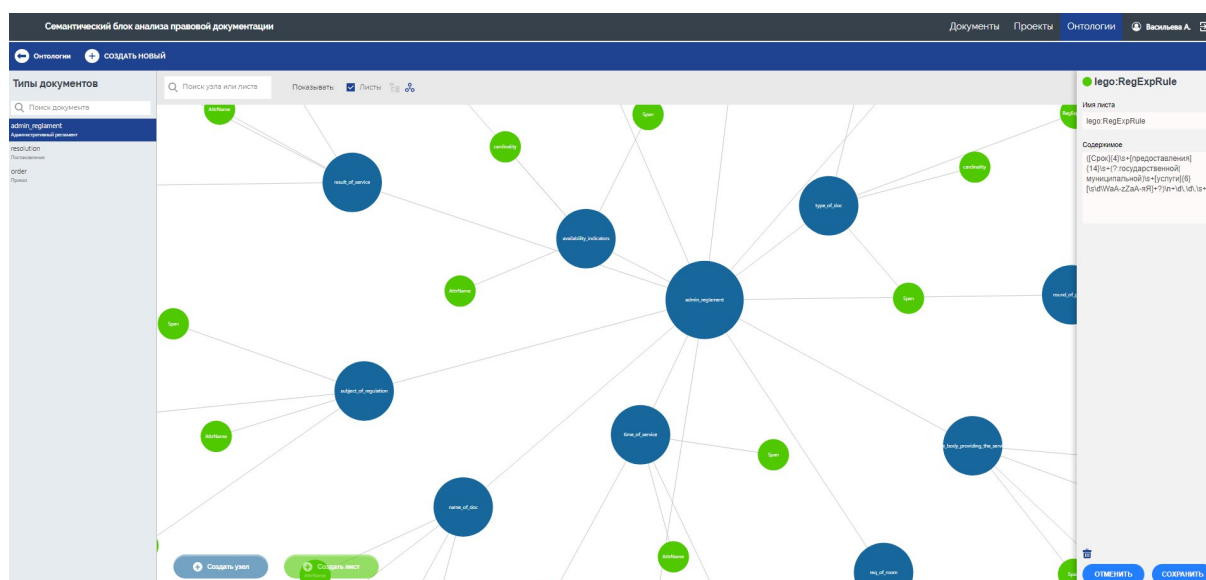


Рис. 1 – Пример отображения онтологии в виде семантической сети

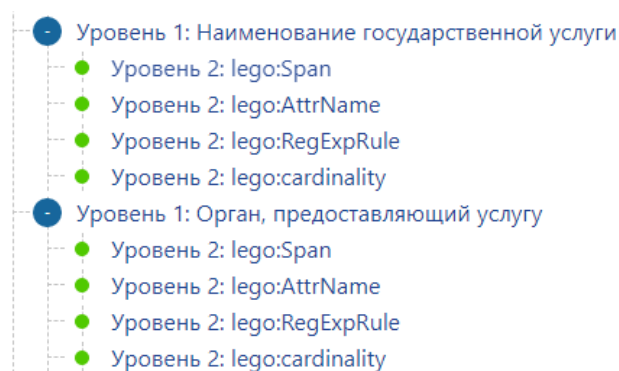


Рис. 2 – Пример отображения онтологии в виде дерева

В рамках тестирования разработанного программного обеспечения в сфере Legal Tech проведены эксперименты по извлечению атрибутов из набора документов типа «административный регламент». Набор данных содержит 537 документов в форматах DOCX и PDF, для последних предварительно выполняется оптическое распознавание текста с помощью Tesseract-OCR. Для выявления атрибутов сущностей в наборе текстов протестировано 3 варианта: на основе регулярных выражений (RegExp); на основе регулярных выражений и YARGY-правил; и на основе запросов на естественном языке (QA) с помощью нейронной сети BertSQuADModel.

В качестве оценки была использована F1-мера по нахождению сущностей по словам. Результаты оценки предложенных методов представлены в таблице 1 на примере нескольких сущностей.

Таблица 1 – Сравнение результатов анализа извлечения сущностей

Атрибут	F1 Score		
	RegExp	RegExp + YARGY	QA
Номер приказа	0.91	0.91	0.93
Должность ответственного	0.84	0.89	0.94
Наименование государственной услуги	0.90	0.90	0.91
Показатели качества	0.78	0.82	0.88
Результат предоставления услуги	0.92	0.92	0.94

На основании результатов, приведенных в таблице 1, можно сделать вывод о том, что нейронные сети на текстах с ошибками показывают большее значение F1-меры, нежели классические методы, основанные на регулярных выражениях и YARGY-правилах. Это подтверждает перспективность применения комбинированного подхода к автоматизации текстопонимания и текстогенерации путем комбинации искусственных нейронных сетей и онтологического подхода, позволяющего формализовать и интерпретировать правила выявления атрибутов.

Реализация программного обеспечения предложенного решения состоит из следующих программных модулей:

- конфигуратор извлекаемых данных;
- модуль оптического распознавания документа;
- библиотека правил для извлечения данных;
- модуль извлечения атрибутов;
- модуль классификации документации;
- модуль семантического поиска по документации;
- модуль семантического поиска по ситуации;
- модуль генерации документации.

Пользовательский интерфейс проиллюстрирован Рис. 3. Ключевые возможности программного обеспечения включают следующее:

1. Распознавание документов, семантический разбор и выделение отдельных атрибутов;
2. Семантический поиск по запросам, сформулированным на естественном языке;
3. Классификация документов, нахождение одинаковых признаков и подбор документации в соответствии с текущей ситуацией;
4. Заполнение карточки документов и автоматическая маршрутизация входящей корреспонденции;
5. Создание документов на основе имеющихся образцов в соответствии с новыми требованиями;
6. Сравнение документов и поиск семантически похожих фрагментов текста.

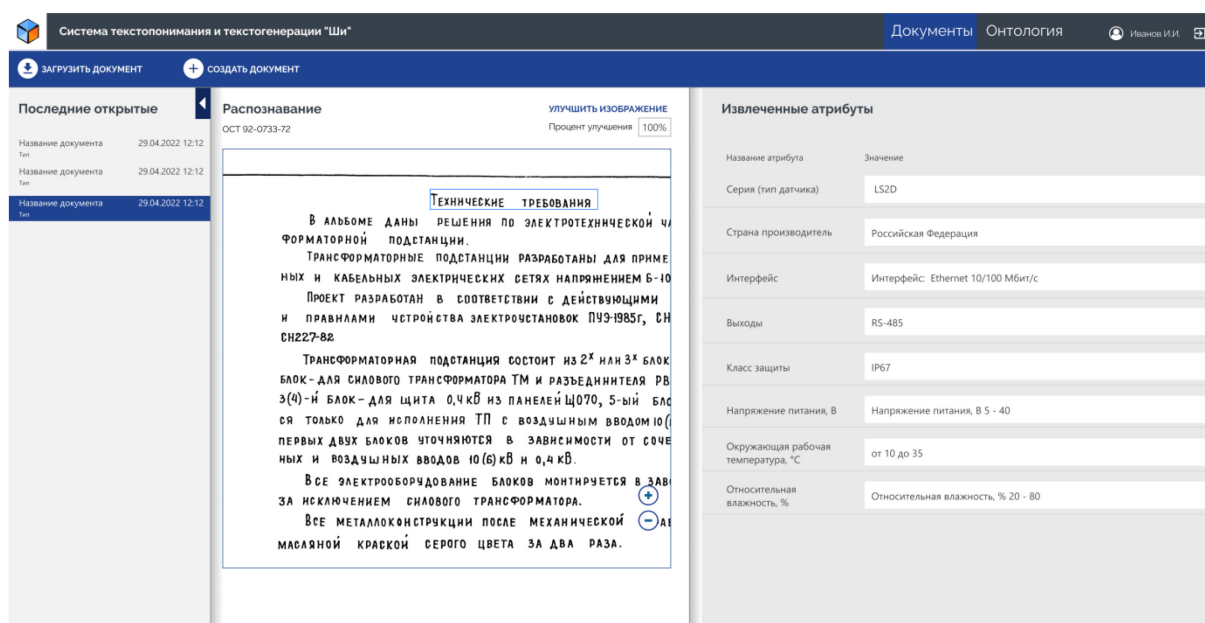


Рис. 3 – Понимание текста. Распознавание и извлечение атрибутов

Структура документа, сформированная в онтологической модели, и извлеченные блоки текста могут использоваться также при генерации новых документов.

Накопленный опыт по решению задач автоматизации документооборота, в том числе в сфере Legal Tech, позволил сформулировать основные направления развития этой области с использованием технологий искусственного интеллекта (см. Таблицу 2).

Таблица 2 – Обзор направлений развития текстопонимания и текстогенерации

Практический кейс	Опыт решения задачи	Технические проблемы	Направления развития
Роботизированная маршрутизация входящих документов	Специализированный модуль извлечения атрибутов и маршрутизации	Пропуски атрибутов, дублирование атрибутов с похожими значениями	Создание расширяемой базы знаний типов документов и адресатов в составе системы управления контентом предприятия
Анализ корпоративной документации в юридическом документообороте	Выделение юридически значимых положений, близких по смыслу; Извлечение значимых атрибутов договоров, протоколов и актов; Выработка удачных шаблонов	Необходимость адаптивной настройки алгоритмов: при грубой обработке все положения близки, при тонкой настройке – все различны	Интеллектуальная настройка точности алгоритмов на основе больших объемов исторических данных
Анализ и генерация проектной документации; Документооборот результатов НИОКТР	Анализ проектов на близкие технические решения; Проверка технических решений и подсказка успешного опыта	Необходимость учета специфики проектной и научной деятельности, сложный терминологический аппарат	Разработка и внедрение конструктора онтологий, позволяющего конфигурировать предметные области и унифицировать терминологию
Судебный документооборот; Стандартизация; Законотворческая деятельность; Документооборот экспертной и научной документации	Выявление противоречий; Повторное использование удачного опыта	Наличие дублирующих определений одних и тех же терминов; Введение новых положений в обход противоречий	Построение открытой экспертной среды для выработки единого терминологического и семантического корпуса понятий и определений
Анализ открытых источников и социальных сетей	Анализ социальных трендов; Выявление девиантного поведения	Динамически изменяющаяся терминология; Эффект «алгоритмической предвзятости»	Расширение и развитие открытых платформ верифицируемого контента

Формирование онтологической модели для каждого типа нормативного правового документа позволяет повысить удобство и адекватность поиска по слабоформализованным запросам, гармонизировать правовую нормативную документацию, выявлять и устранять расхождения и противоречия. Онтология может быть использована при генерации новой типовой нормативной правовой документации, что позволит сократить количество механических и семантических ошибок, обусловленных влиянием человеческого фактора.

В результате использования данного программного обеспечения в сфере Legal Tech достигается совершенствование и роботизация процессов документооборота за счет применения передовых интеллектуальных технологий.

Список литературы

1. *Грачева А.В.* От правовой информатики до Legal Tech: история развития в России и за рубежом // Закон, № 5. – 2019. - с. 56 – 65
2. *Surden H.* Artificial Intelligence and law: an overview // Georgia State University Law Review, Vol. 35, U of Colorado Law Legal Studies Research Paper No. 19-22 - 2019
3. *Fries M.* Man versus machine: using legal tech to optimize the rule of law <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2842726>, 2016. - 11 p.
4. *Терехов В.И., Канев А.И.* Система извлечения информации из текста для метаграфовой базы знаний // Динамика сложных систем - XXI век. - Т. 14. - № 3. – 2020. - с. 57 - 66
5. *Sun H., Dhingra B., Zaheer M., Mazaitis K., Salakhutdinov R., Cohen W.* Open domain question answering using early fusion of knowledge bases and text // Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 2018. - pp. 4231 – 4242
6. *Cimiano P., Unger C., McCrae J.* Ontology-based interpretation of natural language. Morgan & Claypool Publishers, 2014. - 178 p.
7. *Ivaschenko, A., Krivosheev, A., Stolbova, A., Golovnin, O.* Hybridization of intelligent solutions architecture for text understanding and text generation // Applied Sciences, 11(11): 5179. - 2021

2.3.5.

**Г.А. Гареева канд. педагог. наук, М.Р. Хамидуллин канд. эконом. наук,
М.В. Южаков, Р.Р. Нуриев, Р.Ф. Фархутдинов**

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
кафедра информационных систем,
Набережные Челны, mikasamax@gmail.com, ramisleet@gmail.com,
raff0.0.2002@gmail.com, gagareeva1977@mail.ru, nayka_prom@mail.ru

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОРА ПУТЁМ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

В данной статье описывается процесс понижения температур и энергопотребления графического процессора, без потерь в производительности, путём понижения стандартного напряжения. Весь алгоритм описан путём использования программного обеспечения MSI Afterburner. Функционал программы позволяет мониторить показатели основных компонентов персонального компьютера, и производить ручную настройку параметров видеокарты процессора.

Ключевые слова: кремниевая лотерея, напряжение, андервольт, видеокарта, видеоадаптер, GPU, график, бенчмарк, температура, чип, частота, MSI Afterburner, мониторинг, вендор.

Видеокарта (видеоадаптер) – устройство, преобразующее изображение внутри компьютера в форму, пригодную для дальнейшего вывода на монитор [1].

Графический процессор (GPU) является «сердцем» любой видеокарты и характеризует быстродействие адаптера и его функциональные возможности. Два видеоадаптера различных производителей с одинаковыми процессорами зачастую демонстрируют схожую производительность и функции обработки графических данных. Кроме того, программные драйверы, с помощью которых операционные системы и приложения управляют видеоадаптером, как правило, разрабатываются именно с учетом параметров конкретного графического процессора [2].

В данной статье исследование проводилось на графических процессорах RTX 2060 Super, работающих на чипе TU106 в исполнении компаний KFA2 и MSI.

В случае с компанией MSI, видеоадаптер имеет более высокую розничную цену и заводскую калибровку. Видеокарта от KFA2 же как имеет завышенный с завода лимит питания, что и поднимает вопрос ручного регулирования напряжения, так как в обеих видеокартах используется один и тот же чип TU106.

Первым шагом будет сравнение двух видеокарт в стандартном, предусмотренным производителями режимах работы карт в Superposition Benchmark, основанном на 3D-движке UNIGINE, чтобы посмотреть температуры и производительность карт в нагрузке.

В ходе теста выясняется, что максимальная температура в исполнении MSI доходила в пике лишь до 67 градусов, в то время как KFA2 до 77.

Следующим шагом будет переход к непосредственному понижению напряжения на самом чипе (андервольтингу). Выполняться данная операция будет в приложении MSI Afterburner. После входа в программу при помощи комбинации CTRL + F вызывается график зависимости частот от напряжения (рис. 1).

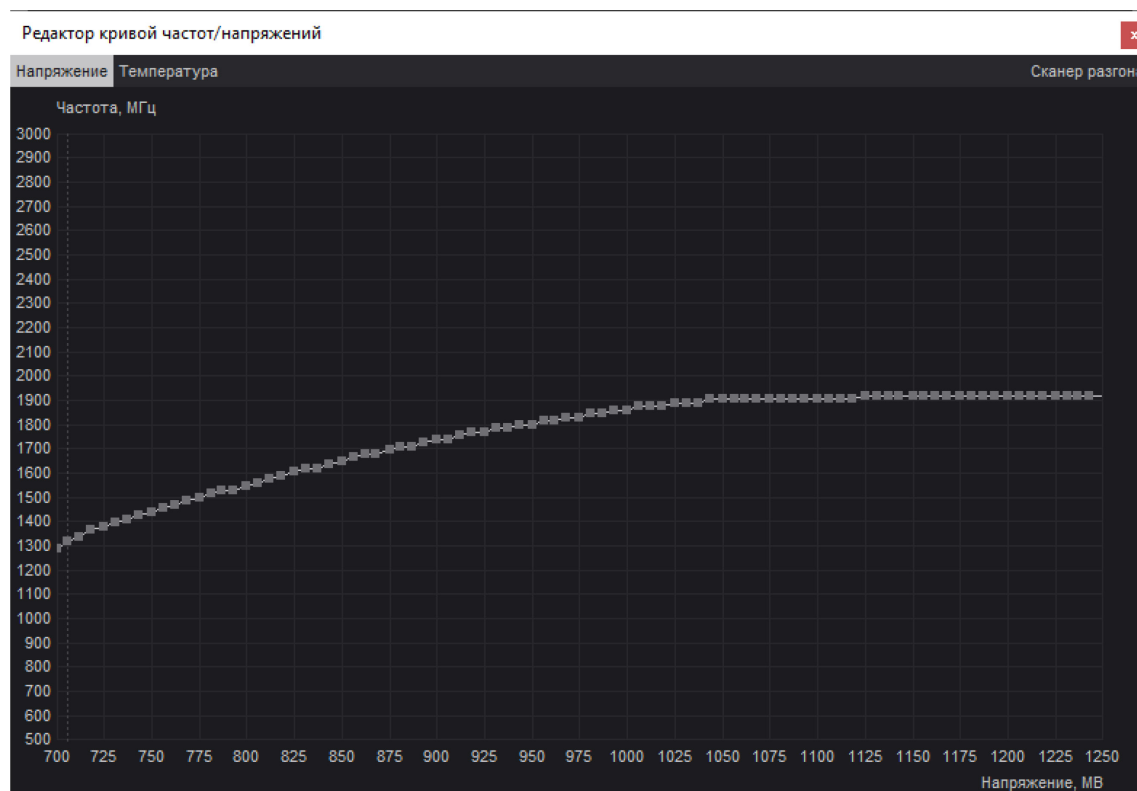


Рис. 1 – График частот/напряжений у KFA2

Следующим шагом будет выбор необходимой нам частоты, для этого необходимо несколько раз провести тестирование видеокарты в нагрузке и зафиксировать минимальное значение частоты, в данном случае это 1860 мВ.

Из графика напряжений видно, что данная частота задана при напряжении равном приблизительно 1 вольту, для понижения этого значения с помощью зажатой клавиши ALT передвигается график на пару пунктов вниз и с шагом 50-100 милливольт меньшим заданного, точка перемещается вверх к необходимой частоте.

После сохранения изменений график изменит вид на более прямолинейный с более резким подъёмом ранних частот.

В случае потери стабильности в работе системы необходимо нажать кнопку сброса, как показано на рисунке.

Следующий шаг являет собой событие “Кремниевой лотереи”, заключающееся в том, что все чипы можно условно поделить на 3 вида: бракованные (неисправные), удачные и неудачные. Такое название дано в связи с тем, что невозможно определить частотный потенциал конкретного чипа в рамках определённых напряжений. Один чип TU106 может стабильно работать на частоту 1860 при напряжении 875 мВ, а другой лишь при 975 мВ, первый будет называться более «удачным» [3]. Задача состоит в том, чтобы найти минимальное напряжение, при котором видеокарта не потеряет производительность и стабильность. Для этого все заданные действия повторяются с дополнительным шагом в 50-100 мВ, и проводятся тестирования в различных нагрузках подобных Superposition benchmark, после выявления минимального, не теряющего стабильность напряжения добавляем лишние 50 мВ для дополнительного запаса стабильности. Данным алгоритмом удалось добиться стабильности на графике, показанном на рисунке 2.

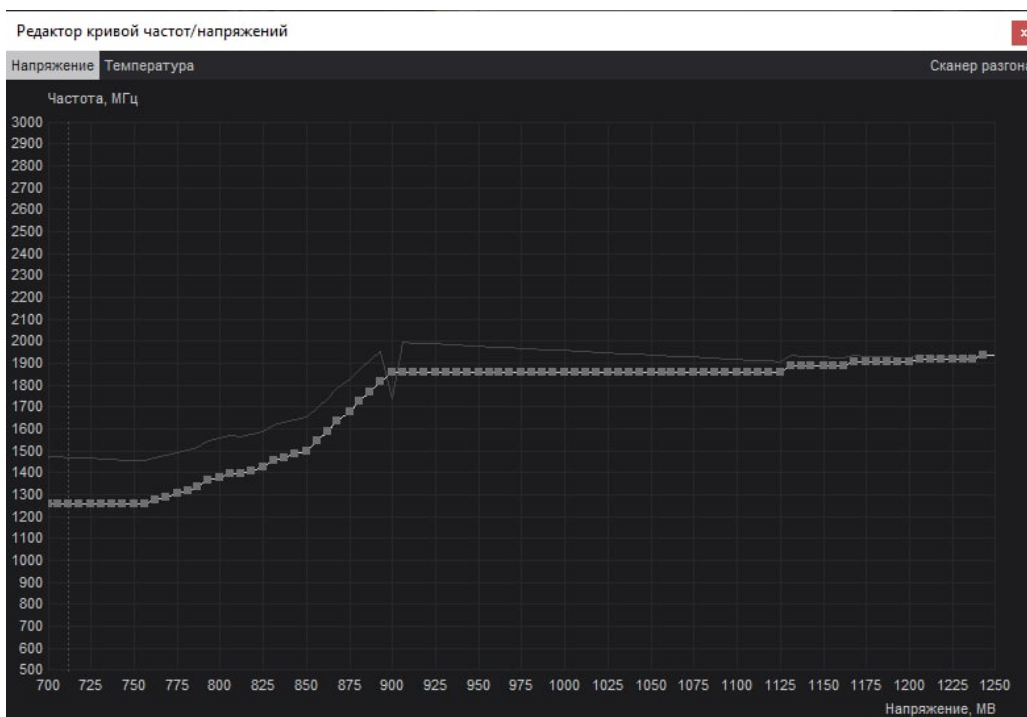


Рис. 2 – График напряжений карты KFA2

В данном режиме работы температура графического процессора достигала 73 градуса, вместо 77 (рис. 3).

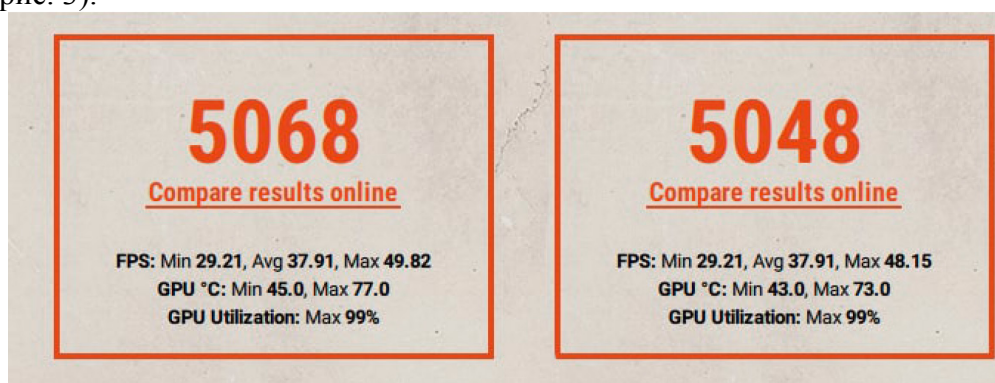


Рис. 3 – Разница результатов с понижением напряжений на KFA2

Стоит вернуться к понятию «Кремниевой лотереи», чтобы пронаблюдать, чего удалось добиться путём андервольтинга на изначально настроенной, по заявлениям компании MSI видеокарте.

В данном исполнении была выявлена стабильная работа на частоте 1920 МГц при 950 мВ.

Однако это позволяет достичь потери только 1 градуса на данной видеокарте, что показано на рисунке 4.

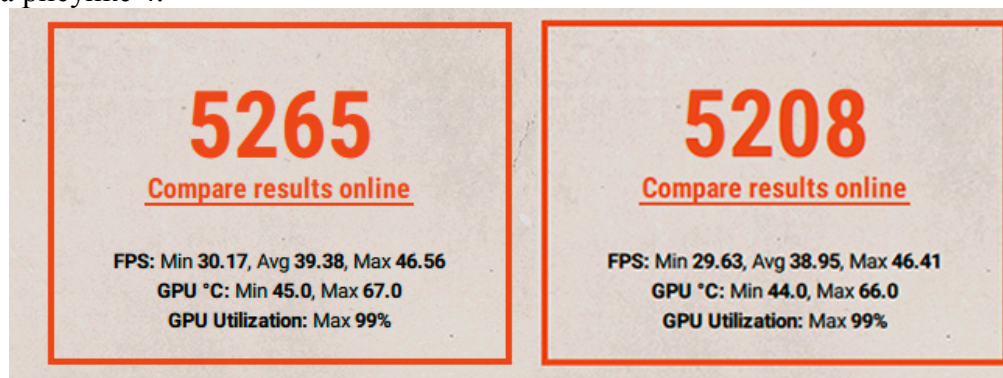


Рис. 4 – Разница результатов с понижением напряжения на MSI

Подобный результат в 1 градус, делает процесс понижения напряжения нерентабельным в подобном исполнении видеокарты, однако видеокарта от KFA2, хоть и имеет более слабую систему охлаждения, но путём андервольта способна перейти в более комфортный температурный режим, снимая с себя 4 градуса без потерь в производительности и стабильности.

Данная статья рассматривает процесс понижения напряжения на картах средне-сегментного уровня, теплопакет которых находится в районе 200 Ватт, но даже подобные карты способны показывать солидную потерю в температурах, без влияния на производительность. Тем самым снижая нагрузку и получая дополнительный ресурс системы охлаждения и зоны питания. Более современные и производительные карты будут показывать куда более внушительный результат в связи с высоким базовым теплопакетом, где каждый шаг в напряжении будет существенно влиять на температуру.

Список литературы

1. *Юрий Валерианов*. Графическая эволюция // Computer Bild: журнал. — 2011. — 23 мая (№ 11). — С. 38—41.
2. *Скотт Мюллер*. Модернизация и ремонт ПК = Upgrading and Repairing PCs. - 19 изд. - М.: «Вильямс», 2011. – 662 с.
3. *Marko Tarman*. Что представляет собой "кремниевая лотерея" и как она воздействует на майнинг? // Nicehash Blog От 12 сентября 2021 года
URL: <https://www.nicehash.com/blog/post/what-is-a-silicon-lottery-and-how-does-affect-mining/?lang=ru>

2.3.5.

В.Н. Дюпин

Саровский физико-технический институт,
филиал «Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,
факультет информационных технологий и электроники,
кафедра вычислительной и информационной техники,
Саров, rehcraser@mail.ru

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ АССОЦИАТИВНЫЙ СЛОЙ ВИРТУАЛЬНОГО АДАПТАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

В работе содержится обзор описание метода погружения объектов в виртуальную реальность. Приводится пример погружения объектов в виртуальное адаптационное пространство. Рассматриваются вариации метода для статических и динамических систем.

Ключевые слова: *виртуальная реальность, виртуальное адаптационное пространство, моделирование, цветовые пространства.*

В современном обществе для изучения сложных физических систем активно используются системы имитационного моделирования, которые позволяют исследовать свойства сложных систем через модели поведения компонентов этих систем. Для построения математической модели поведения компонента системы используются компьютерные модели, которые погружаются в среду виртуального моделирования. Компьютерная модель содержит минимальный набор атрибутов рассматриваемого объекта моделирования, оказывающий существенное влияние на поведение системы в целом.

Системы виртуальной реальности предназначены для моделирования процессов окружающего мира в компьютерной среде, сформированной путем погружения моделей объектов и моделей процессов их взаимодействия в автоматизированную систему [1]. Системы обратной связи с хорошо продуманной виртуальной моделью позволяют создать цифровые двойники объектов физического мира. Таким образом, цифровой двойник предполагает наличие полностью автоматизированного процесса, снижающего риск человеческого фактора в работе информационной системы.

Известны примеры гибридных систем виртуальной реальности, которые позволяют осуществлять частичное погружение объектов в виртуальное пространство и моделировать обратную связь с субъектом виртуальной реальности. Системы виртуального адаптационного пространства являются разновидностью систем виртуальной реальности, позволяющих формировать комплексное воздействие на активные каналы восприятия человека для компенсации поврежденного канала восприятия человека.

Системы виртуального адаптационного пространства обладают многослойной архитектурой, каждый слой которой выполняет предварительную обработку данных. Предварительная обработка данных слоя заключается в выделении характерных черт объекта виртуальной реальности и обобщении полученных признаков. Например, ассоциативный слой виртуального адаптационного пространства позволяет определить взаимосвязи объекта виртуальной реальности с окружающими объектами виртуальной реальности в стационарных системах, а имитационный слой виртуального адаптационного пространства позволяет определить множество характерных признаков объектов виртуальной реальности для динамических систем.

Поскольку ассоциативный слой виртуального адаптационного пространства рассчитан на статические системы, апробация его свойств к динамическим системам может дать существенные погрешности при вычислении контуров объектов виртуального пространства [2].

Многокомпонентный ассоциативный слой виртуального адаптационного пространства позволяет осуществлять декомпозицию объектов виртуального пространства, производить операцию упрощения контуров и областей фрагментов объектов, выполнять объединение признаков упрощенных фрагментов с целью получения обобщенных свойств объектов виртуальной реальности.

Объектом исследования данной работы являются системы виртуальной реальности.

Предметом исследования является алгоритм декомпозиции и распознавания объектов виртуальной реальности.

Цель работы заключается в разработке методологических основ для адаптации алгоритма погружения объектов с многосвязной топологией (топологией объектов, границы которых состоят из нескольких непересекающихся замкнутых кривых) в виртуальное адаптационное пространство.

В качестве исходных данных многокомпонентного ассоциативного слоя представлена фотография березовой рощи (рис. 1).



Рис. 1 – Исходные данные

Обработка исходных данных предполагает работу с 2 видами виртуальных пространств: статических и динамических [3].

В объекты статического виртуального адаптационного пространства не изменяются с течением времени и обладают постоянной формой топологии областей объектов виртуального пространства [4].

Для динамических виртуальных адаптационных пространств форма объектов может изменяться с течением времени.

Для выделения многосвязных областей в статическом виртуальном пространстве для каждого элемента исходного изображения вычисляется значение интенсивности цвета (компонента Y цветового пространства $YCbCr$).

$$Y = 0,3R + 0,59G + 0,11B,$$

где R – яркость красного компонента пикселя, G – зеленого компонента пикселя, B – синего компонента пикселя.

Для подавления шумов в исходном изображении значение Y нормируется по L уровням.

$$Y_L = Y/L,$$

где Y – интенсивность пикселя, L – количество уровней интенсивности цвета, Y_L – нормированное значение интенсивности цвета пикселя.

Применение метода нормирования интенсивности цвета позволяет выделить контуры объектов многокомпонентного ассоциативного слоя статического виртуального пространства.

На рисунке 2 представлен результат преобразования исходного изображения при L равным 3 (слева) и L равным 8 (справа). Зеленым маркером на изображении слева (рис. 2а) отмечены области захватывающие контуры берез рощи.

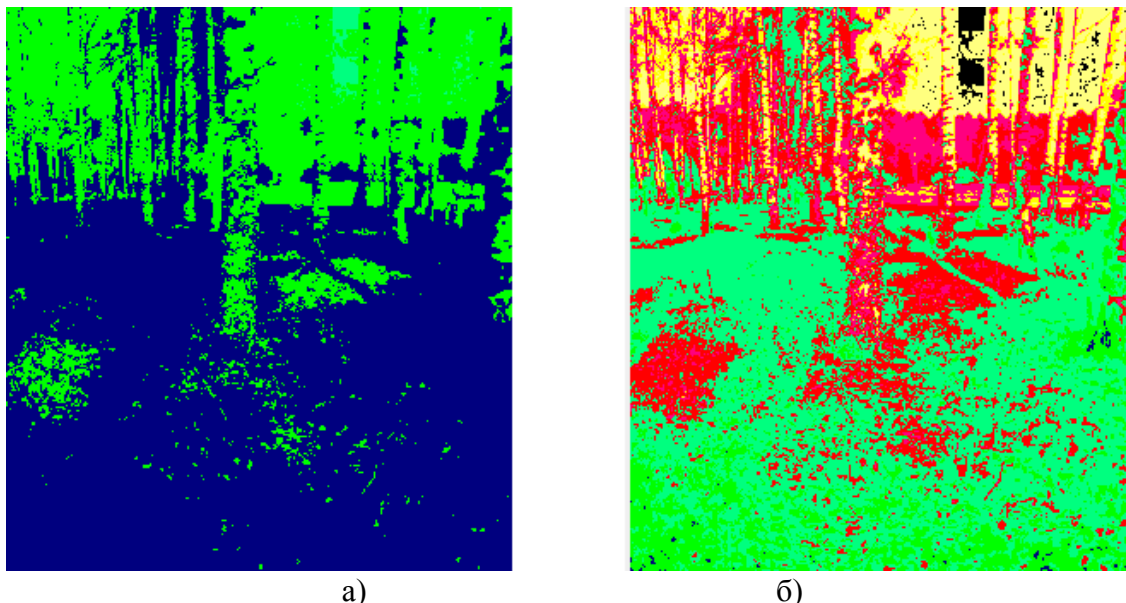


Рис. 2 – Выделение контуров объектов многокомпонентного ассоциативного слоя:
а – 3 уровня, б – 8 уровней

Для динамических виртуальных адаптационных пространств свойственно размытие контуров при погружении объектов, находящихся в движении. Операция выделения контуров объектов в виртуальном адаптационном пространстве для многокомпонентного ассоциативного слоя сводится к разбиению исследуемого двумерного изображения на N частей по ширине и высоте изображения. Для каждой части исходного изображения вычисляется значение максимальной интенсивности пикселей части и вся часть замещается максимальным цветом, формируя блочное изображение.

На рисунке 3 представлен вариант разбиения исходного изображения на 50 и 90 частей (слева расположено исходное изображение, по центру – результат фильтрации исходного изображения при дроблении на 50 частей, справа – результат фильтрации изображения при дроблении на 90 частей).



Рис. 3 – Применение метода блочной фильтрации исходного изображения для сглаживания объектов исследуемой области

Результирующий многокомпонентный ассоциативный слой виртуального адаптационного пространства формируется объединением фрагментов исходного изображения по признаку цвета областей изображений, полученных после фильтрации интенсивности цветов пикселей. Например, множество деревьев на рисунке 2а соответствует зеленой области изображения. Следует учесть, что форма стволов деревьев березовой рощи не является односвязным объектом, а перекрывается границами горизонта, фоном земли и неба.

На рисунке 4 представлен результирующий многокомпонентный ассоциативный слой виртуального адаптационного пространства.

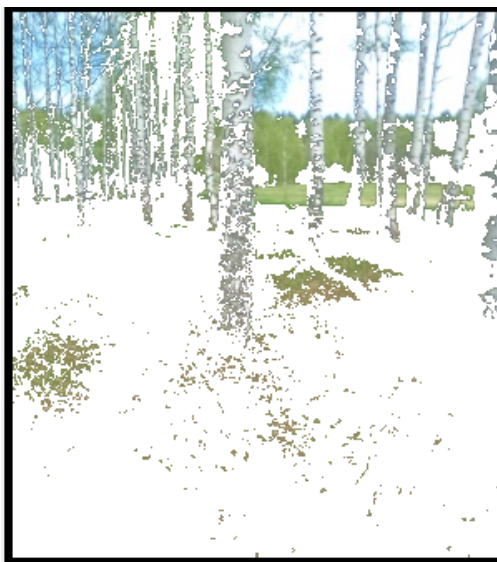


Рис. 4 – Многокомпонентный слой виртуального адаптационного пространства березовой рощи

Представленный метод позволяет объединять разрозненные части проецируемых объектов, контуры которых могут перекрываться другими объектами.

Список литературы

1. Дюпин В.Н. Модель виртуального адаптационного пространства. – Научно-технический вестник Поволжья – 2019. – № 3. – С.111-114.
2. Дюпин В.Н. Метод классификации объектов виртуального адаптационного пространства. – Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 5. – С. 51-56.
3. Крайнов А. Компьютерное зрение. Лекция для Малого ШАДа Яндекса. [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/company/yandex/blog/203136/> (дата обращения: 13.07.2022).
4. Горьков А. О цветовых пространствах. [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/post/181580/> (дата обращения: 14.08.2022).

2.3.5.

Ю.А. Чурсин канд. техн. наук, Р.А. Нурмухаметов

Томский политехнический университет,
Инженерная школа информационных технологий и робототехники,
Томск, _ju_@tpu.ru, ran@tpu.ru

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ

В статье описывается решение проблемы зашумленности сигнала при использовании оптического метода получения геометрических параметров объекта, основанного на анализе границ тени объекта в расходящемся световом потоке. В статье рассматриваются и сравниваются два метода фильтрации видеосигнала в режиме реального времени, с высокой частотой и использованием ПЛИС.

Ключевые слова: ПЛИС, БИХ-фильтр, КИХ-фильтр, граница тени, лазер.

Введение.

Метод измерения размеров многих изделий в расходящемся световом потоке основан на определении границ тени объекта с использованием многоэлементных линейных фотоприёмников [1].

В случае, когда граница тени проецируется на плоскость фотоприёмника ортогонально, расстояние X_i от точки геометрической тени X_t до соответствующего максимума M_i дифракционной картины и расстояние x_i от той же точки X_t до соответствующего минимума m_i определяются выражениями (1), (2).

$$X_i = \sqrt{\frac{\lambda L(L-y)}{2y}} \left(4i + \frac{3}{2}\right) \quad (1)$$

$$X_i = \sqrt{\frac{\lambda L(L-y)}{2y}} \left(4i + \frac{7}{2}\right) \quad (2)$$

где i – номер соответствующего максимума или минимума начиная с нулевого, L – расстояние от точечного источника излучения до многоэлементного фотоприёмника, y – расстояние от источника до границы объекта, на котором происходит дифракция, λ – длина волны источника излучения – лазера.

В реальности картина распределения интенсивности засветки сильно зашумлена, по её форме становится очевидно, что без фильтрации исходного сигнала точное определение экстремумов для определения геометрического положения тени невозможно.

Важное ограничение при выборе подхода к фильтрации заключается в том, что сигнал имеет размер 10800 точек на кадр и обновляется с частотой более 1 кГц. Самым подходящим аппаратным решением в данном случае является использование ПЛИС, позволяющее конфигурировать систему практически любой сложности для обработки быстротекущих процессов. Программное решение использует полосовые фильтры с конечной и бесконечной импульсными характеристиками [2] [3].

Использование КИХ-фильтра для фильтрации сигнала.

Главными свойствами КИХ-фильтров являются высокие степень устойчивости и требовательность к ресурсам.

Проектирование фильтра проводилось с помощью пакета MATLAB. Для определения необходимого и достаточного порядка КИХ-фильтра была проведена серия экспериментов. Главным критерием оценки качества фильтрации являлась дисперсия экстремумов дифракционной картины в схожих сигналах. На рисунке 1 приведено сравнение сигналов, обработанных фильтрами 10-го и 200-го порядка. В таблице 1 приведены данные экспериментов для БИХ и КИХ фильтров.

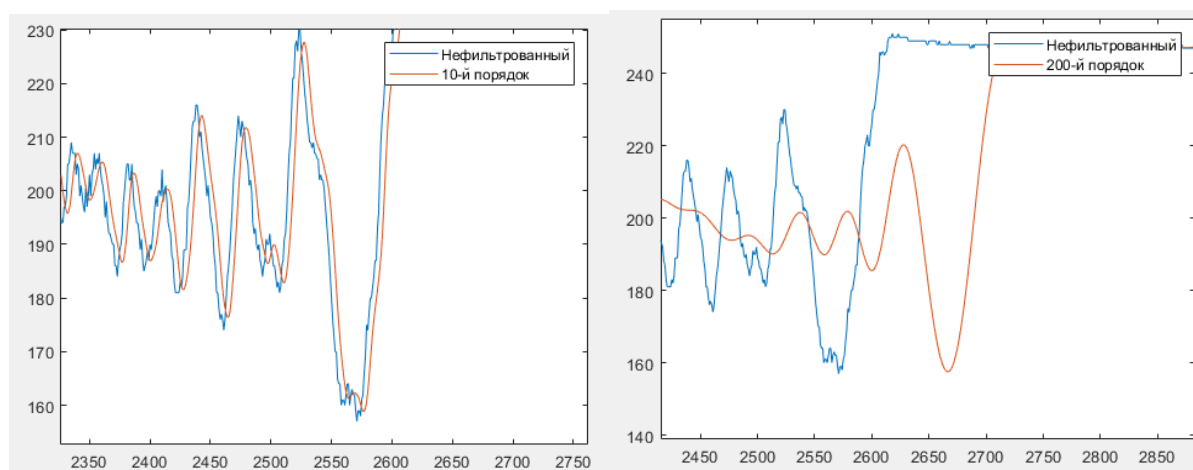


Рис. 1 – Результат работы КИХ-фильтра. Слева – 10-й п., справа – 200-й п.

Минимальным порядком, удовлетворяющим условию минимальной дисперсии для КИХ фильтра, стал 200-й порядок.

Модуль КИХ фильтра реализован на языке VHDL [4]. Ресурсов используемой в проекте ПЛИС EP3C25E215C8N хватило только на реализацию фильтра 60-го порядка, что является неприемлемым для решаемой задачи с учетом необходимости реализации двухканальной системы и остальной логики работы системы [5].

Использование БИХ фильтра для фильтрации сигнала.

Главными свойствами КИХ-фильтров является низкая степень устойчивости и нетребовательность к ресурсам. [6].

На рисунке 2 приведено сравнение сигналов, обработанных фильтрами 1-го и 4-го порядка.

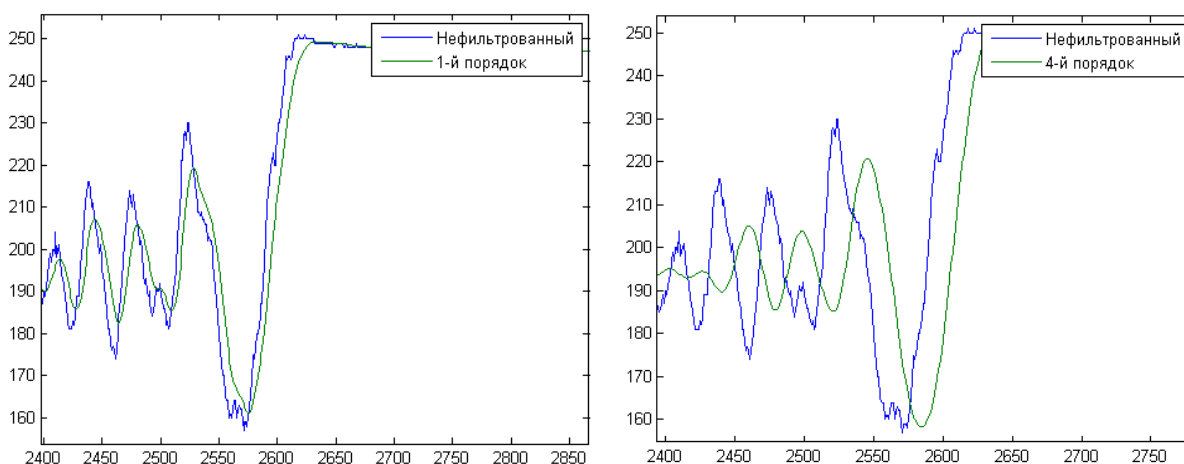


Рис. 2 – Результат работы БИХ-фильтра. Слева – 1-й, справа – 4-й

Таблица 1 – Зависимость дисперсии экстремумов дифракционной картины от порядков исследуемых фильтров

КИХ-фильтр		БИХ-фильтр	
Порядок	Дисперсия экстремумов, ед	Порядок	Дисперсия экстремумов, ед
-	50	-	50
10	45	1	12
20	31	2	8
50	12	3	5
100	10	4	3
150	5	5	3
200	3	7	3
500	3	10	3

Для БИХ фильтра минимальный порядок – четвёртый. Это значение практически на два порядка меньше, чем в случае с КИХ-фильтром, что подтверждает основное достоинство данного типа. В ходе всех экспериментов на тестируемых сигналах неустойчивости не обнаружено.

Особенностью реализации БИХ фильтра является обеспечение синхронизации входных и выходных сигналов фильтра. В этой связи было принято решение о разработке конечного автомата, реализующего расчет формулы фильтра за время меньшее, чем 1 такт прихода новых данных с АЦП.

Автомат тактируется частотой в 4 раза превышающей частоту получения новых данных. Для обеспечения требуемой точности фильтра все входные данные преобразуются в 32-х разрядные. Произведение получается 64-х разрядным, а итоговый результат снова преобразуется в 8-ми битное значение [7].

Результаты.

Реализация фильтра позволила получать сигнал, представленный на рисунке 3. Отмечается высокая стабильность определения экстремумов, «исправление» сигнала за счет исключения паразитных гармоник и уменьшение зависимости от общего уровня засветки.

КИХ-фильтр для своей реализации требует 800 байт оперативной памяти для хранения коэффициентов и требует 201 перемножение и 200 суммирований для каждой точки сигнала. В то же время для БИХ-фильтра эти величины составляют 36 байт, 9 перемножений и 8 суммирований соответственно. Реализация КИХ-фильтра на используемой ПЛИС оказалась невозможной ввиду нехватки логических элементов. Менее ресурсоемким оказался БИХ-фильтр, который был реализован на языке vdh1 и бюджетной ПЛИС EP3C25E215C8N.

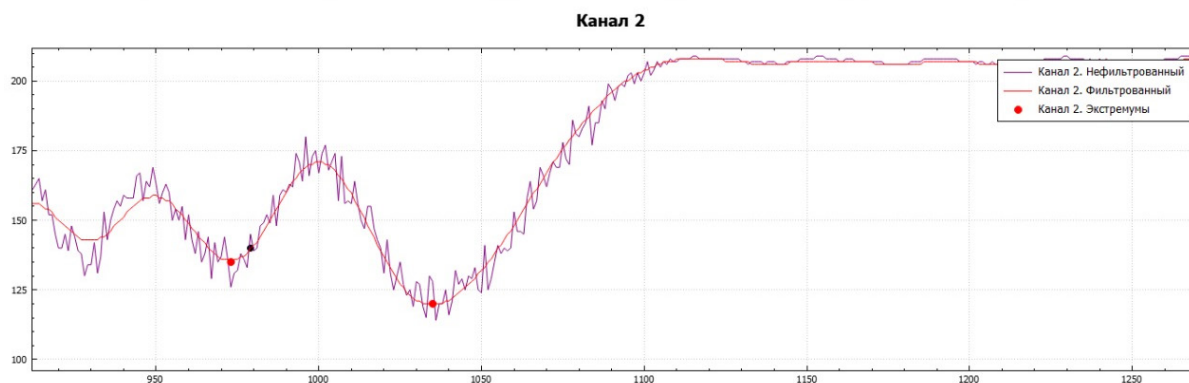


Рис. 3 – Результат работы фильтра

Заключение.

Фильтр позволил обрабатывать сигнал объемом 10800 точек с частотой более 1 кГц, что в свою очередь позволило в режиме реального времени вычислять координаты главных максимумов дифракционной картины и на их основании определять границы геометрической тени с точностью до 1 мкм.

После успешной реализации и внедрения были получены два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Полученные свидетельства были внесены в реестр программ для ЭВМ №2021666892 от 21.10.2021 и № 2021666893 от 21.10.2021.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ГЗ «Наука», в рамках проекта FSWW-2020-0014.

Список литературы

1. *Chursin Y.A., Fedorov E.M.*, «Methods of resolution enhancement of laser diameter measuring instruments», *Optics & Laser Technology*, vol. 67, pp.86-92, 2015.
2. *Svendrovskii A.R.* «Measurement of diameter by non-contact two-dimensional detectors», *Proceedings of the 1st all-Russian. science. conference on «Scientific and Engineering problems of instrument engineering»*. Tomsk; p. 31–33, 2005.
3. *Fedorov E.M.* «Calculation of geometrical parameters of two-dimensional instruments used for measuring diameter of long wire materials», *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, Vol. 2. 2008.
4. *Kumar K.P., Kanhe A.* «FPGA architecture to perform symmetric extension on signals for handling border discontinuities in FIR filtering», *Computers and Electrical Engineering*, Volume 103, October 2022
5. *Zhang C., Wang C.*, «A Pipeline VLSI Architecture for High-Speed Computation of the 1-D Discrete Wavelet Transform», *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, Vol. 57, Issue. 10, October 2010
6. *Vijay V., Seshagiri V.R.*, «High-Performance IIR Filter Implementation Using FPGA», *4th International Conference on Recent Trends in Computer Science and Technology (ICRTCST)*, 2021.
7. *Eddla A., Pappu V.Y. J.*, «Low Area and Power-Efficient FPGA Implementation of Improved AM-CSA-IIR Filter Design for the DSP Application», *IJEETC Vol.11(4)* pp. 294-303, 2022

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

2.3.6.

И.Б. Елтунова канд. педагог. наук, А.С. Нестеров канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»,
Бурятский институт инфокоммуникаций (филиал),
eltunova@biik.ru

**СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ СЕТЕВЫХ ВТОРЖЕНИЙ
НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

Современные темпы развития цифровых технологий способствуют бурному развитию киберпреступности. Специалисты в области информационной безопасности прогнозируют взрывной рост числа кибератак в ближайшие годы, уже сегодня фиксируется порядка 20 млрд атак ежедневно. В условиях цифрового общества объем информации, циркулирующей в компьютерных сетях, существенно возрос, что пропорционально увеличивает количество сетевых атак. Сетевая безопасность может быть частично решена при помощи систем обнаружения вторжений. В данной статье рассматривается построение узловой системы обнаружения вторжений в корпоративную локальную вычислительную сеть, в которой анализ и принятие решения реализуется с помощью алгоритмов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: информационная безопасность, сетевые атаки, система обнаружения вторжений, искусственный интеллект, нейронная сеть.

Введение

Бурное развитие информационных технологий, в частности, технологий искусственного интеллекта и машинного обучения, способствовало развитию производительности и повышению качества информационных систем в самых разных областях жизнедеятельности человека. Наибольшее применение технологии искусственного интеллекта нашли в сферах образования, промышленности, здравоохранения.

Согласно ежегодному докладу института искусственного интеллекта г. Стэнфорд США «Индекс ИИ 2022», общее количество научных публикаций в области ИИ выросло за 10 лет более чем в два раза. О возросшем интересе разработчиков к области искусственного интеллекта косвенно свидетельствует возросшее количество патентов за последние 6 лет, увеличившихся в 30 раз. Признанным лидером на мировом рынке технологий искусственного интеллекта остается Китай, занимая по различным оценкам около половины всех патентов.

Кроме того, в докладе отмечается существенный рост интереса к алгоритмам искусственного интеллекта со стороны различных отраслей, однако большую часть все еще занимает сфера образования. Интерес со стороны различных отраслей экономики является закономерным следствием модернизации технологических и алгоритмических инструментов искусственного интеллекта.

Действительно, в настоящее время технологии искусственного интеллекта являются эффективным и экономически выгодным инструментом повышения качества работы, интерес к возможностям искусственного интеллекта преобладает со стороны промышленного научного сообщества.

Наряду с этим, развитие отрасли ИКТ ожидаемо спровоцировало взрывной рост различного рода кибератак, в том числе с использованием алгоритмов искусственного

интеллекта. Современный уровень развития облачных технологий, высокоуровневых языков программирования, сред разработки, фреймворков, развитие технологий low-код и no-код способствуют не только быстрой разработке различных приложений во благо общества, но и являются также высокоэффективными инструментами для киберпреступников.

Сетевые компании фиксируют порядка 20 млрд атак ежедневно. Таким образом, следует признать, что в настоящее время проблемы информационной безопасности в компьютерных сетях являются очень актуальными.

Статистика показывает, что в 2021 году инвестиции в ИИ выросли вдвое и составили 93,5 млрд долл. Аналитики Meticulous Market Research Pvt. Ltd. предсказывают, что глобальный рынок AI-инструментов в области информационной безопасности к 2027-му достигнет \$46 млрд при среднегодовом темпе роста 23,6%.

Современные средства информационной безопасности включают в себя функции межсетевого экранирования, обнаружения и предотвращения вторжений, фильтрации и т.п. Задача обнаружения сетевых вторжений может быть решена с использованием различных инструментов и алгоритмов машинного обучения и систем искусственного интеллекта.

Схема исследуемой СОВ

В данной статье рассматривается построение узловой системы обнаружения вторжений в корпоративную ЛВС, в которой анализ и принятие решения реализуется с помощью алгоритмов ИИ. Обучение используемой ИНС является одним из основных исследуемых вопросов. Алгоритм работы системы обнаружения вторжений (СОВ) может быть описан с помощью простой схемы изображенной на рис. 1.

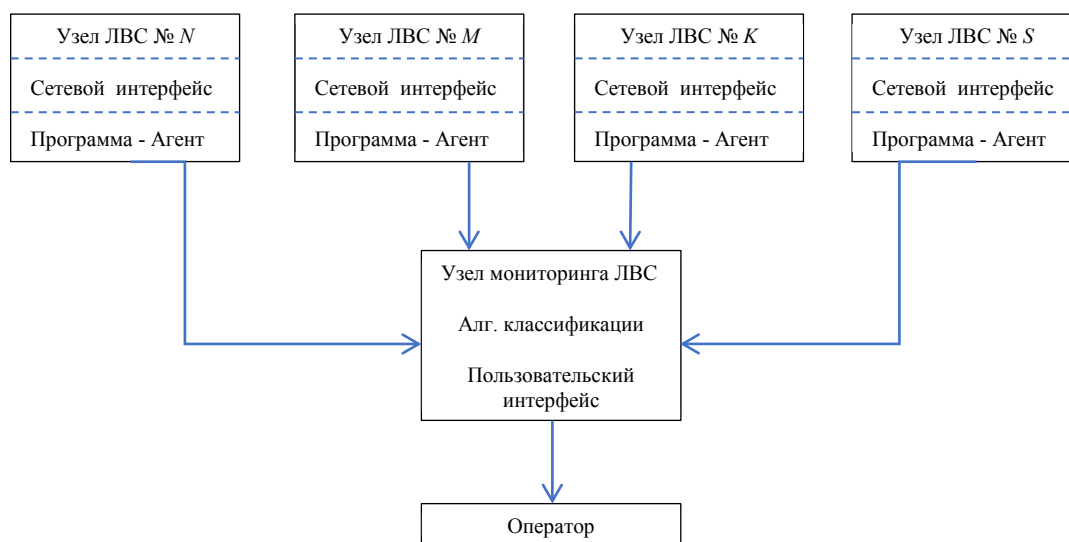


Рис. 1 – Схема алгоритма работы СОВ

Узловая СОВ состоит из, как правило, программных агентов, работающих в ОС узлов, и осуществляющих мониторинг работы сетевых узлов, которыми могут быть как рабочие станции, так и сервера и сетевое оборудование, а также центрального узла, выполняющего функции сбора и анализа информации, собранной агентами. В данной работе предлагается использовать алгоритмы ИИ, направленные на классификацию поступающих данных по идентифицирующим признакам на несколько классов. Это позволяет определить наблюдаемую ЛВС как находящуюся в обычном рабочем состоянии (потенциально без угроз ИБ) или же атакуемую сетевыми средствами определенным образом. От точности алгоритмов анализа собранной информации зависят основные характеристики СОВ.

Используемый для анализа данных ИИ основан на известных алгоритмах ИНС. Для правильной классификации поступающих данных в работе предлагается использовать формализм рекуррентных нейронных сетей, направленных характер связей между нейронами которой позволяет запоминать последовательности данных, что может быть полезно при обнаружении сетевых атак, растянутых по времени или разбитых на последовательность шагов.

Процесс подготовки ИНС к работе заключается в ее обучении на различных данных – обучающих выборках, полученных в результате мониторинга ЛВС, находящейся в различных состояниях. В простейшем случае это могут быть данные, полученные при мониторинге на узлах не атакуемой ЛВС и атакуемой ЛВС. В этом случае выходной сигнал СОВ можно интерпретировать как величину пропорциональную вероятности нахождения ЛВС в двух этих состояниях. Если обучающая выборка будет содержать сведения о типе производимой сетевой атаки на узлы, то ответ ИНС будет связан с вероятностью реализации тех или иных атак на узлы системы.

Мониторинг состояния узлов

Сбор статистики использования Windows узлом сетевых ресурсов осуществляется с помощью разработанного скрипта на языке python. В основе работы скрипта лежит использование преимущественно команды *netstat*, предназначенной для отображения параметров текущих сетевых подключений. Текстовый вывод команды обрабатывается скриптом для фильтрации от несущественных данных и затем накапливается в буфере для сбора статистики. По истечении времени накопления данных (ок. 1 часа) полученные данные в форматированном текстовом виде сохраняются в файл табличного формата *CSV*. Заголовок полученного файла приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Заголовок табличных файлов с накопленной статистикой

Наим-е поля	<i>flag</i>	<i>outer_ip</i>	<i>outer_port</i>	<i>local_port</i>	<i>cpu_usage</i>	<i>virtual_memory</i>
Комментарий	Признак сетевой атаки (0 – нет; 1 - да)	IP-адрес контрагента	Порт контрагента	Порт на узле	Интенсивность использования CPU	Интенсивность использования виртуальной памяти

В процессе подготовки обучающей выборки параметр *flag* выставляется вручную как 0 или 1. Фактически с его помощью собранные данные помечаются как относящиеся к определенному классу. В простейшем случае это данные, собранные для двух различных режимов: а. обычный режим работы, т.е. ситуация отсутствия атак на узлы сети; б. режим работы, в котором на узлы сети осуществляются какие либо атаки.

Алгоритм ИНС

Для использования алгоритмов ИНС в данной работе был использован фреймворк для машинного обучения ML .NET на базе .NET 6.0. Структура используемого для работы с ИНС приложения приведена на рис. 2

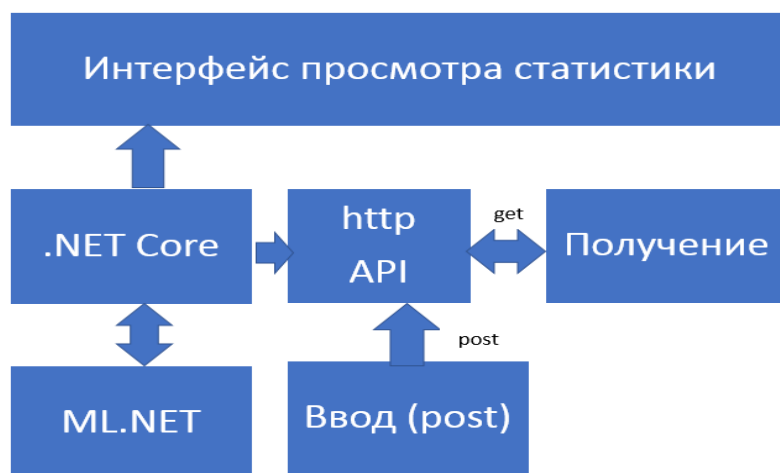


Рис. 2 – Структура приложения для работы с ИНС

Приложение построено по клиент-серверной архитектуре. Клиентское приложение отправляет серверу *post* запрос с пакетом информации, после чего данные из пакета передаются встроенным алгоритмам ИНС для анализа, результирующие данные остаются в системе. Доступ к внутренним и выходным данным сети осуществляется через интерфейс просмотра статистики с помощью *get* запросов.

Обучение и использование ИНС

Полученные в результате мониторинга файлы с одинаковым значением параметра *flag* могут быть вручную или автоматизировано объединены в один файл обучающей выборки и использованы для обучения алгоритма ИНС по схеме обучения с учителем. Перед обучением поле *flag* из выборки устраняется, а его значение используется в качестве целевого, к которому должен стремиться вывод ИНС.

Обученная на подготовленной обучающей выборке сеть может быть использована для обнаружения сетевых атак на узлы ранее обследованной ЛВС. Для этого необходимо с помощью агентов собирать данные с узлов сети в течение некоторого времени и подавать их на вход ИНС. Чем больше длительность такого наблюдения и объем собранных данных, тем выше будет точность выходных данных, но и тем больше будет время обнаружения сетевой атаки. Таким образом, выбор времени сбора статистики является параметром, требующим дополнительной оптимизации под требования задачи.

Выходной сигнал сети – это вещественное число, принимающее значения в диапазоне 0 – 1, поскольку оно связано с возможными значениями параметра *flag* обучающих выборок. Выходной сигнал обученной ИНС, близкий к 0, можно интерпретировать как ситуацию, в которой сетевые атаки на узлы, скорее всего, не осуществляются. Значение близкое к 1 означает ситуацию, в которой такие атаки, скорее всего, осуществляются. Для принятия решения оператором о дальнейших действиях необходимо ввести пороговое значение, разделяющее две эти области, для чего можно использовать какой либо критерий оптимальности, например, критерий минимального среднего риска.

Таким образом, рассмотренная в работе задача построения системы обнаружения сетевых вторжений в ЛВС на основе алгоритмов ИИ по мнению авторов, может быть решена с использованием существующих универсальных алгоритмов нейронных сетей.

Список литературы

1. *Абрамов Е.С., Тарасов Я.В., Тумоян Е.П.*, Нейросетевой метод обнаружения низкоинтенсивных атак типа «отказ в обслуживании» // Известия ЮФУ. Технические науки, № 9 (182), 2016.
2. *Молчанов А.Н., Бурмистров А.В., Гришунов С.С., Чухраев И.В.* Разработка ROLAP-модуля информационной системы высшего учебного заведения. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017, № 5. – С. 311-317.
3. *Пальчевский Е.В., Халиков А.Р.* Применение нейронной сети в защите от DDOS-атак // В сборнике: Инновации в науке и практике. Сборник статей по материалам I международной научно-практической конференции. 2017. С. 37-42.
4. *Тарасов Я.В.* Метод обнаружения низкоинтенсивных DDoS-атак на основе гибридной нейронной сети. // Известия Южного федерального университета. 2014, №8(157) – С. 47-57
5. *Фролов П.В., Чухраев И.В., Гришианов К.М.* Применение нейронных сетей в системах обнаружения вторжений. // Системный администратор. №9. 2018 г.
6. *Явтуховский Е.Ю.* Анализ систем обнаружения вторжений на основе интеллектуальных технологий. // Технические науки: теория и практика: материалы III Междунар. науч. конф. 2016. – С. 27-29.
7. *Intrusion Detection System Using Machine Learning Algorithms*
<https://www.geeksforgeeks.org/intrusion-detection-system-using-machine-learning-algorithms/>
Дата обращения: 10.09.2022
8. *Объяснение систем обнаружения вторжений: 12 лучших инструментов IDS.*
<https://heritage-offshore.com/net-admin/objasnenie-sistem-obnaruzhenija-vtorzhenij-12/>
Дата обращения: 10.09.2022

АННОТАЦИИ
ABSTRACTSА.В. Галеев, П.В. Пичужкин
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ОТРАБОТКЕ ДВИГАТЕЛЕЙ
НА КРИОГЕННЫХ КОМПОНЕНТАХ ТОПЛИВА
С БОЛЬШОЙ СТЕПЕНЬЮ РАСШИРЕНИЯ СОПЛА

Ключевые слова: газодинамический тракт, сопло, давление, продукты сгорания, диффузор, моделирование полета.

В представленной статье рассмотрена система моделирования полета, на основе которой произведен высокоточный расчет для модельных и натурных испытаний. По результатам исследования была определена подтвержденная методика расчёта истечения продуктов сгорания с использованием газодинамических функций.

Е.В. Гусев
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА
С УЧЕТОМ ПОСТЕПЕННЫХ И ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗОВ

Ключевые слова: постепенные отказы, внезапные отказы, распределение времени восстановления, время восстановления, коэффициент готовности, работоспособное состояние, сложная техническая систем, техническое обслуживание.

В работе рассмотрен вопрос, связанный с разработкой математической модели оценки надёжности восстанавливаемой аппаратуры и систем летательных аппаратов с учетом постепенных и внезапных отказов. Рассмотрена возможность решения поставленной задачи аналитическим методом оценки надёжности восстанавливаемой аппаратуры летательного аппарата.

А.А. Дубанов, А.Э. Севеэн, В.С. Балагуров, Н.С. Жамцаев
МОДЕЛЬ ПРЕСЛЕДОВАНИЯ ОДИНОЧНОЙ ЦЕЛИ
МЕТОДОМ ПОГОНИ ГРУППОЙ ОБЪЕКТОВ

Ключевые слова: цель, преследователь, метод погони, моделирование, область обнаружения, траектория.

В данной статье рассматривается описание модели преследования одиночной цели методом погони группой объектов. Целью данной статьи является настигнуть преследователя методом параллельного сближения одиночной цели. Для каждого преследующего объекта сформирована область обнаружения, где она образуется двумя лучами. В случае, если цель оказывается в области обнаружения, то в этом случае объект начинает преследовать методом погони. А если цель вышел из области обнаружения, то объект совершает равномерное и прямолинейное движение. Основная задача заключается в реализации динамической модели множественного группового преследования, где каждый объект реализуют свои задачи методом погони. Модель разработана с использованием систем компьютерной математики.

Ф.М. Кадыров, А.В. Костерин
СРАВНЕНИЕ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ КОНСОЛИДАЦИИ
НА ОСНОВНИИ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГИПОТЕЗЫ К. ТЕРЗАГИ И УРАВНЕНИЙ СОВМЕСТИМОСТИ
ДЕФОРМАЦИЙ

Ключевые слова: консолидация, упругое тело, нагрузка, давление.

Представлена постановка задачи фильтрационной консолидации на основании моделей с использованием гипотезы К. Терзаги и уравнений совместности деформаций. Проведено сравнение решений на примерах консолидации насыщенных жидкостью упругих пористых тел: сплошного шара под нормальной равномерной нагрузкой, полого шара и неограниченного полого цилиндра под действием нормальных внешней и внутренней нагрузок одинаковой величины. Установлено, что наибольшее различие между решениями для давления жидкости наблюдается при коэффициенте Пуассона равным нулю. При коэффициенте Пуассона $\nu \rightarrow 0.5$ решения практически совпадают.

А.В. Галеев, П.В. Пичужкин
MATHEMATICAL MODELING OF OPERATING
CONDITIONS DURING ENGINE TESTING
ON CRYOGENIC FUEL COMPONENTS WITH A HIGH
DEGREE OF NOZZLE EXPANSION

Keywords: gas dynamic path, nozzle, pressure, combustion products, diffuser, flight simulation.

In the present article, a flight simulation system is considered, on the basis of which a high-precision calculation for model and full-scale tests is performed. Based on the results of the study, a confirmed method for calculating the expiration of combustion products using gas-dynamic functions was determined.

Е.В. Гусев
DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL
OF THE RELIABILITY OF AIRCRAFT SYSTEMS TAKING
INTO ACCOUNT GRADUAL AND SUDDEN FAILURES
Keywords: gradual failures, sudden failures, recovery time distribution, recovery time, availability factor, operational condition, complex technical systems, maintenance.

The paper considers the issue related to the development of a mathematical model for assessing the reliability of restored equipment and aircraft systems, taking into account gradual and sudden failures. The possibility of solving the problem by the analytical method of assessing the reliability of the restored equipment of the aircraft is considered.

А.А. Дубанов, А.Э. Севеэн, В.С. Балагуров, Н.С. Жамцаев
THE MODEL OF PURSUIT OF A SINGLE TARGET
BY THE METHOD OF CHASING A GROUP OF OBJECTS

Keywords: target, pursuer, chase method, simulation, detection area, trajectory.

This article describes the model of pursuit of a single target by the method of chasing a group of objects. The purpose of this article is to overtake the pursuer by the method of parallel convergence of a single target. For each pursuing object, a detection area is formed, where it is formed by two beams. If the target turns out to be in the detection area, then in this case the object begins to be pursued by the chase method. And if the target has left the detection area, then the object makes a uniform and rectilinear movement. The main task is to implement a dynamic model of multiple group pursuit, where each object implements its tasks using the chase method. The model is developed using computer mathematics systems.

Ф.М. Кадыров, А.В. Костерин
COMPARISON OF THE SOLUTIONS OF THE PROBLEM
OF CONSOLIDATION BASED ON MODELS USING
THE HYPOTHESIS OF K. TERZAGHI AND THE
EQUATIONS OF COMPATIBILITY OF DEFORMATIONS

Keywords: consolidation, elastic body, load, pressure.

The basic equations of the seepage consolidation problem are presented on the basis of models using the hypothesis of K. Terzaghi and the equations for compatibility of deformations. Comparison of solutions is carried out on the examples of consolidation of liquid-saturated elastic porous bodies: a solid sphere under a normal uniform load, a hollow sphere and a hollow infinite cylinder under an equal normal external and internal loads. It was found that the greatest difference between the solutions for the fluid pressure is observed when Poisson's ratio is equal to zero. For Poisson's ratio $\nu \rightarrow 0.5$ the solutions practically coincide.

Т.Р. Нагорная, К.М. Расулов
АЛГОРИТМ ЯВНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПУАНКАРЕ
ДЛЯ ОБОБЩЕННЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ
ВТОРОГО ПОРЯДКА В КРУГОВЫХ ОБЛАСТЯХ

Ключевые слова: дифференциальное уравнение Эйлера, краевая задача Пуанкаре, обобщенная гармоническая функция, явное решение.

В статье построен конструктивный алгоритм решения краевой задачи типа задачи Пуанкаре в классе обобщенных гармонических функций второго порядка в круговых областях. Устанавливается, что по сути решение рассматриваемой краевой задачи в круговых областях сводится к последовательному решению скалярной задачи Римана для аналитических функций комплексного переменного и двух линейных дифференциальных уравнений Эйлера третьего порядка.

Н.В. Петров
ЧИСЛЕННОЕ ПОСТРОЕНИЕ К-ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ОДНОГО
КЛАССА СТРАТЕГИЙ ПОИСКА НА ПЛОСКОСТИ

Ключевые слова: дифференциальная игра поиска, информационные множества, смешанные стратегии, вероятность обнаружения.

В работе рассматриваются дифференциальные игры простого поиска на плоскости. Игрок P стремится максимизировать вероятность обнаружения уклоняющегося объекта E. Смешанные стратегии ищущего определяются помощью вспомогательной игры с нарядом преследователей. В качестве примера были рассмотрены игры поиска неподвижного объекта на плоскости. Для случаев с двумя и тремя преследователями, произведена оценка вероятности обнаружения убегающего игрока и численно построены приближенные информационные множества.

А.В. Христофорова, А.В. Черненко, В.С. Попов
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОУПРУГИХ
КОЛЕБАНИЙ СЭНДВИЧ ДИСКА
НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Ключевые слова: математическое моделирование, колебания, вязкая жидкость, сэндвич пластина, упругое основание Винклера.

В работе предложена и исследована математическая модель гидроупругих колебаний круглой сэндвич пластины, установленной на упругом основании Винклера и взаимодействующей со слоем вязкой жидкости. Модель исследована методом возмущений в предположении тонкости слоя жидкости и малости амплитуд колебаний пластины. Выполнены расчеты по влиянию материала несущих слоев пластины и инерции движения жидкости на амплитуды колебаний пластины.

Р.М. Хусаинов, Д.Д. Сафин,
С.М. Петров, Ф.Ф. Насыбуллин, Т.В. Сидорова,
ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ
ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТАНКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ

Ключевые слова: виброакустический анализ, конечно-элементная модель, собственные частоты, виброустойчивость.

В данной работе авторы предлагают метод обеспечения достоверности расчетной модели, предназначенной для исследования динамических процессов в технологических системах обработки резанием. Обоснована методика проведения экспериментального исследования для идентификации расчетной модели по собственным частотам. Предлагается способ корректировки 3D модели с целью обеспечения соответствия динамической картины, протекающей при резании, экспериментальным процессам.

T.R. Nagornaya, K.M. Rasulov
A SOLUTION ALGORITHM OF THE POINCARÉ
BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR THE SECOND-
ORDER GENERALIZED HARMONIC FUNCTIONS
IN CIRCULAR DOMAINS

Keywords: Euler differential equation, Poincaré boundary value problem, generalized harmonic function, explicit solution.

The article is devoted to building a constructive algorithm of solving the Poincaré boundary value problem in the second-order generalized harmonic functions class in circular domains. It is established that solution of considered problem is reduced to solution of Riemann scalar boundary value problem for analytic functions of complex variable and two Euler linear differential equations of the third order.

N.V. Petrov
NUMERICAL CONSTRUCTION OF K-COVERAGE
FOR ONE CLASS STRATEGIES ON THE PLANE

Keywords: differential search game, information set, mixed strategies, detection probability.

We consider a differential simple search game without phase constraints on the plane. Player P tries to maximize the probability of detection of the evader E. Mixed strategies of the pursuer is determined using the auxiliary game with a team of pursuers. As an example, games of searching for a fixed object on a plane were considered. For cases with two and three pursuers, the estimates for the detection probability of evader are determined and numerically construct of approximation of the information sets.

A.V. Christoforova, A.V. Chernenko, V.S. Popov
MATHEMATICAL MODELING OF HYDROELASTIC
OSCILLATIONS OF A SANDWICH DISK RESTING
AN ELASTIC FOUNDATION

Keywords: mathematical modeling, oscillations, viscous fluid, sandwich plate, elastic Winkler foundation. The mathematical model of hydroelastic vibrations of a circular sandwich plate mounted on an elastic Winkler foundation and interacting with a viscous fluid layer is proposed and investigated in this paper. The model is investigated by perturbation method under the assumption of thinness of liquid layer and smallness of plate oscillation amplitudes. Calculations on influence of material of supporting layers of the plate and inertia of fluid motion on vibration amplitudes of the plate are carried out.

R.M. Khusainov, D.D. Safin,
S.M. Petrov, F.F. Nasybullin, T.V. Sidorova
IDENTIFICATION AND APPLICATION OF THE DIGITAL
MODEL OF THE DYNAMIC SYSTEM OF THE MACHINE
TOOL TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE
MACHINING PROCESS

Keywords: vibroacoustic analysis, finite element model, natural frequencies, vibration resistance.

In this work, the authors propose a method for ensuring the reliability of a computational model designed to study dynamic processes in technological cutting systems. A technique for conducting an experimental study to identify the computational model by natural frequencies is substantiated. A method is proposed for correcting a 3D model in order to ensure that the dynamic pattern occurring during cutting corresponds to the experimental processes.

В.В. Афанасьев, Р.Р. Раупов
ФОРМИРОВАТЕЛИ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ НА
ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМОЙ МНОГОЛЕПЕСТКОВОЙ
СИСТЕМЫ SPROTTA С ДИНАМИЧЕСКИМ ХАОСОМ

Ключевые слова: псевдослучайный сигнал, многолепестковая система SprottA, динамический хаос.

Разработаны средства моделирования и схемной реализации формирователей псевдослучайных сигналов на основе управляемой многолепестковой системы SprottA. Обоснован выбор управляющего параметра системы для обеспечения хаотического режима с требуемым числом лепестков-спиралей при проектировании систем конфиденциальной связи на основе динамического хаоса. Получены оценки статистических характеристик и определены пик-факторы псевдослучайных сигналов, формируемых управляемой многолепестковой системой SprottA.

А.С. Бондарчук, В.Г. Зарубский, А.А. Башарин
МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ
ОБЪЕКТОВ ОСОБОЙ ВАЖНОСТИ

Ключевые слова: эффективность, технические средства обнаружения, объекты особой важности, имитационное моделирование.

В статье рассмотрена методика формирования множества рациональных вариантов построения технических средств обнаружения нарушителя для обеспечения безопасности объектов особой важности. Методика строится на использовании системного анализа, в котором выделяется теория эффективности, как основа для количественной оценки альтернативных систем. В основе предлагаемой методики лежит двухэтапное усечение сгенерированного множества технических средств обнаружения по соответствию тактико-техническим и экономическим ограничениям.

Т.И. Воронина, С.Ю. Шмигирилов
СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ
РАСПОРЯДИТЕЛЬНЫХ И ОРГАНИЗАЦИОННЫХ
ДОКУМЕНТОВ

Ключевые слова: система электронного документооборота, база данных, сервер, программно-математический модуль.

В работе представлена методология построения системы электронного документооборота (СЭД), обработки информации научно – технических лабораторий и прототип программно-математического модуля (ПММ) для систематизации данных и удобного пользовательского интерфейса предлагаемой системы.

Разработанная система функционирует на сервере, позволяя пользователям локальной сети получить доступ к хранящимся в базе данным и информации.

В качестве примера для отработки системы были выбраны несколько файлов научной лаборатории кафедры №604 московского авиационного института.

А.Г. Жорняк, Т.А. Морозова, В.П. Наумченко
РАЗРАБОТКА ВИЗУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО
ИНТЕРФЕЙСА В ПРОГРАММАХ ДЛЯ НАУЧНЫХ И
ИНЖЕНЕРНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ЯЗЫКЕ
ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON. ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ
РАЗРАБОТКИ ВИЗУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО
ИНТЕРФЕЙСА

Ключевые слова: язык программирования Python, язык программирования Tcl, визуальный пользовательский интерфейс программы, библиотека PyQt, библиотека Tkinter, библиотека WxPython, библиотека PyGTK.

Статья посвящена задаче разработки визуального пользовательского интерфейса в программах для научных и инженерных вычислений на языке программирования Python. В первой части статьи описываются общие принципы функционирования визуального пользовательского интерфейса в Python, а также рассмотрены специализированные библиотеки Tkinter, WxPython, PyQt, PyGTK, предназначенные

V.V. Afanasiev, R.R. Raupov
GENERATORS OF PSEUDO-RANDOM SIGNALS
ON THE BASIS OF CONTROLLED MULTI-SCROLL
SPROTTA SYSTEM WITH DYNAMIC CHAOS

Keywords: pseudo-random signal, multi-scroll SprottA system, dynamic chaos

The modelling and circuit realization of pseudo-random signals generators on the basis of controlled multi-scroll SprottA system are investigated. The choice of SprottA system controlling parameter for maintenance of chaotic mode with demanded scrolls number at confidential communication systems designing on the basis of dynamic chaos is developed. The estimations of statistical characteristics and peak-factors of pseudo-random signals generated by controlled multi-scroll SprottA system are carried out.

A.S. Bondarchuk, V.G. Zarubskiy, A.A. Basharin
METHODOLOGY FOR INCREASING THE EFFICIENCY
OF THE FUNCTIONING OF THE SECURITY SYSTEM
OF OBJECTS OF SPECIAL IMPORTANCE

Keywords: efficiency, technical means of detection, objects of special importance, simulation modeling.

The article considers the methodology for the formation of a set of rational options for constructing technical means for detecting an intruder to ensure the safety of objects of special importance. The methodology is based on the use of systems analysis, which highlights the theory of efficiency as the basis for quantifying alternative systems. The proposed methodology is based on a two-stage truncation of the generated set of technical means of detection in accordance with tactical, technical and economic restrictions.

T.I. Voronina, S.Y. Shmigirilov
SYSTEMATIZATION AND VISUALIZATION
OF DATA OF ADMINISTRATIVE AND
ORGANIZATIONAL DOCUMENTS

Keywords: electronic document management system, database, server, software and mathematical module.

The paper presents a methodology for building an electronic document management system (EDMS), information processing of scientific and technical laboratories and a prototype of a software and mathematical module (PMM) for systematization of data and a convenient user interface of the proposed system. The developed system functions on the server, allowing users of the local network to access the data and information stored in the database.

As an example, several files of the scientific laboratory of the Department No. 604 of the Moscow Aviation Institute were selected for testing the system.

A.G. Zhorniyak, T.A. Morozova, V.P. Naumchenko
DEVELOPMENT OF A VISUAL USER INTERFACE
IN PROGRAMS FOR SCIENTIFIC AND ENGINEERING
COMPUTING IN THE PYTHON PROGRAMMING
LANGUAGE. PART I. FUNDAMENTALS OF VISUAL
USER INTERFACE DEVELOPMENT

Keywords: Python programming language, Tcl programming language, visual user interface of the program, PyQt library, Tkinter library, wxPython library, PyGTK library.

The article is devoted to the task of developing a visual user interface in programs for scientific and engineering computing in the Python programming language. The first part of the article describes the general principles of the functioning of the visual user interface in Python, and also discusses specialized libraries Tkinter, wxPython, PyQt, PyGTK, designed to develop a visual user interface in programs in the Python programming language.

для разработки визуального пользовательского интерфейса в программах на языке программирования Python.

Н.С. Захаров, В.В. Попцов, Н.О. Сапоженков
КОРРЕКТИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ
ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ СЕДЕЛЬНЫХ ТЯГАЧЕЙ

Ключевые слова: Надёжность, тормозная система, безопасность, условия эксплуатации, наработка, фактические отказы, техническое обслуживание, ремонт.

Процессы добычи нефти и газа неразрывно связаны с автомобильным транспортом. Простои основного производства из-за отказов техники ведут к потере прибыли, в связи с чем необходимость их предупреждения и оперативного устранения является неотъемлемым критерием обеспечения рентабельности и высокой добавочной стоимости нефтегазодобычи. Безопасность эксплуатации автомобилей в процессах обеспечения строительных объектов нефтегазодобывающей отрасли непосредственно зависит от технического состояния, поэтому исследования надёжности тормозной системы седельных тягачей актуальны.

Н.С. Захаров, В.В. Попцов, Н.О. Сапоженков
РАСЧЁТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ
АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ ФАКТИЧЕСКИХ ОТКАЗОВ

Ключевые слова: Надёжность, условия и интенсивность эксплуатации, фактические отказы, техническое обслуживание, ремонт, технология.

Вариация условий и интенсивности эксплуатации вызывает необходимость в совершенствовании технологии технического обслуживания и ремонта на основе статистических данных, что позволяет оптимизировать количество операций в составе регламентированного перечня работ для обеспечения работоспособности и безопасной эксплуатации автотранспортных средств, актуализировать складские остатки путём формирования страховых запасов наиболее востребованных запасных частей при минимизации неликвидных деталей и прогнозировать объёмы работ по техническому обслуживанию и ремонту для исключения простоев из-за образования очередей для устранения внезапных отказов. Дополнительный вклад в увеличение затрат на поддержание работоспособности подвижного состава по мере приращения наработки вносит конструктивная надёжность используемой техники, тип выполняемой транспортной работы и качество технического обслуживания, поэтому исследования надёжности автомобилей на основе фактических отказов актуальны.

Н.И. Зонов, Д.В. Моисеев
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АСТРОНАВИГАЦИИ
ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА.
ЧАСТЬ I. УВЕЛИЧЕНИЕ ОБЪЁМА ВЫБОРКИ ИЗМЕРЕНИЙ И
КОЛИЧЕСТВА ЗВЁЗД – ОРИЕНТИРОВ

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

Исследованы различные варианты повышения точности решения задачи астронавигации геостационарных КА: от увеличения объёма выборки измерений на мерном отрезке и увеличения длительности мерного отрезка, до увеличения количества звёзд, привлекаемых для астронавигации. Показано, что при определённых условиях астроизмерения обеспечивают точность навигации сопоставимую с точностью навигации, которую обеспечивает совместное использование спутниковых радионавигационных систем GPS, ГЛОНАСС, Galileo.

N.S. Zakharov, V.V. Poptsov, N.O. Sapozhenkov
SERVICE FREQUENCY CORRECTION OF HEAVY
TRUCKS BRAKING SYSTEM

Keywords: Reliability, braking system, safety, operating conditions, operating time, actual failures, maintenance, repair.

The processes of oil and gas production are inextricably linked with road transport. Downtime of the main production due to equipment failures leads to loss of profit, and therefore the need to prevent and promptly eliminate them is an essential criterion for ensuring profitability and high added value of oil and gas production. The safety of vehicle operation in the processes of providing construction facilities in the oil and gas industry directly depends on the technical condition, therefore, studies of the reliability of the brake system of truck tractors are relevant.

N.S. Zakharov, V.V. Poptsov, N.O. Sapozhenkov
COMPUTATIONAL STUDY OF VEHICLES RELIABILITY
BASED ON ACTUAL FAILURES

Keywords: Reliability, operating conditions and intensity, actual failures, maintenance, repair, technology.

The variation in the conditions and intensity of operation makes it necessary to improve the technology of maintenance and repair based on statistical data, which makes it possible to optimize the number of operations as part of a regulated list of works to ensure the operability and safe operation of vehicles, to update stock balances by forming insurance stocks of the most popular spare parts when minimizing non-tradable parts and predicting maintenance and repair work to eliminate downtime due to the formation of queues to eliminate sudden failures. An additional contribution to the increase in the cost of maintaining the operability of the rolling stock as the operating time increases is made by the constructive reliability of the equipment used, the type of transport work performed and the quality of maintenance, therefore, car reliability studies based on actual failures are relevant.

N.I. Zonov, D.V. Moiseev
INCREASING OF GEOSTATIONARY SATELLITES
ASTRONAVIGATION ACCURACY.
PART I. INCREASE IN THE SAMPLE SIZE
OF MEASUREMENTS AND THE NUMBER
OF LANDMARK STARS

Keywords: angular astromerements, numerical simulation modeling, random and uncertain uncontrolled factors, recurrent estimation algorithms.

Various options for increasing accuracy of geostationary satellites astronavigation have been explored. The increase in the sample size of measurements on the measure interval and the duration of this interval was investigated. The increase in the number of stars attracted for astronavigation was also studied. It is shown that, under certain conditions, astromerements provide an accuracy comparable to the accuracy provided by the joint use of such satellite navigation systems as GPS, GLONASS, Galileo.

Н.И. Зонов, Д.В. Моисеев
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АСТРОНАВИГАЦИИ
ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА.
ЧАСТЬ II. ЛУНА – ОРИЕНТИР И КОМБИНИРОВАНИЕ
АСТРОИЗМЕРЕНИЙ

Ключевые слова: численное имитационное моделирование, случайные и неопределённые неконтролируемые факторы, рекуррентные алгоритмы оценивания, угловые астроизмерения. Приведены результаты решения задачи повышения точности астронавигации геостационарных КА. Для решения задачи исследовано влияние на точность астронавигации использование Луны в качестве дополнительного навигационного ориентира и различных комбинаций астроизмерений. Представленная работа может быть интересна разработчикам программно-математического обеспечения систем автономной навигации геостационарных КА.

Р.Е. Копейкин, А.С. Долгавин,
М.А. Тимошенко, А.Е. Олейник
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ
СЕРВЕРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Ключевые слова: теория массового обслуживания, балансировка нагрузки, марковские процессы. В статье описывается решение задачи балансировки нагрузки серверов обработки данных при помощи методик теории массового обслуживания. Проведены численные эксперименты для подтверждения применимости изложенных методик для двух случаев - многоканальной системы массового обслуживания с отказами и многоканальной системы массового обслуживания с ограниченным временем ожидания. Проведенные эксперименты показали состоятельность модели.

Р.Е. Копейкин, Е.А. Свистунов, Е.Ю. Руслякова
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ
ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В
МАНИПУЛЯТОРАХ С АДАПТИВНЫМ ПРОГРАММНЫМ
УПРАВЛЕНИЕМ

Ключевые слова: сегментация изображений, основные методы, манипуляторы. В статье приводится анализ основных методов сегментации изображений. Исследуется практическое применение методов сегментации изображений в манипуляторах. Определяются оптимальные методы для решения задач, связанных с их использованием в манипуляторах с адаптивным программным управлением.

М.А. Масюк, М.Г. Доррер, Е.М. Гриценко
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
НА ОСНОВЕ PROCESS MINING И PM4Py

Ключевые слова: Process Mining, Python, PM4Py, карта процесса, Directly-Follows Graph. Авторами предложен подход к оценке эффективности деятельности образовательной организации, основанный на методах Process Mining, визуальном изображении карты процесса и численных метриках. С использованием Python-библиотеки PM4Py был реализован программный инструментарий, позволяющий оценить эффективность работы преподавателя и вовлеченность обучающегося в учебный процесс.

В.В. Попцов, Н.О. Сапоженков
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ
СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АВТОМОБИЛЕЙ

Ключевые слова: Срок службы, жизненный цикл, затраты, ремонт, технико-экономический метод, оптимизация, техническое обслуживание, остаточная стоимость. Усовершенствованные инженерные разработки,

N.I. Zonov, D.V. Moiseev
INCREASING OF GEOSTATIONARY SATELLITES
ASTRONAVIGATION ACCURACY.
PART II. MOON AS A LANDMARK AND
ASTROMEASUREMENTS COMBINING

Keywords: numerical simulation modeling, random and uncertain uncontrolled factors, recurrent estimation algorithms, angular astromesurements. The results of solving the problem of increasing the accuracy of astronavigation of geostationary spacecraft are presented. The influence of the use of the Moon as an additional navigational landmark on the accuracy of astronavigation is investigated. The moon is used in conjunction with various combinations of astromesurements. The work may be of interest to developers of software and mathematical support for autonomous navigation systems of geostationary spacecraft.

R.E. Kopeykin, A.S. Dolgavin,
M.A. Timoshchenko, A.E. Oleynik
THE APPLICATION OF QUEUEING THEORY
TO THE LOAD BALANCING PROBLEM OF DATA
STORAGE AND PROCESSING SERVERS

Keywords: queueing theory, load balancing, Markov processes. The article proposes the solution of server load balancing problem via the queueing theory. The numerical experiments were carried out for two cases – multichannel queued system with failure chance and multichannel queued system with limited waiting time. The experiments have shown the consistency of model.

R.E. Kopeykin, E.A. Svistunov, E.Yu. Ruslyakova
COMPARATIVE ANALYSIS OF IMAGE SEGMENTATION
METHODS FOR USE IN MANIPULATORS WITH
ADAPTIVE SOFTWARE CONTROL

Keywords: image segmentation, basic segmentation methods, manipulators. The article provides an analysis of the main methods of image segmentation. The practical application of image segmentation methods in manipulators is investigated. Optimal methods for solving problems related to their use in manipulators with adaptive program control are determined.

M.A. Masyuk, M.G. Dorrer, E.M. Gritsenko
DESIGN OF A TOOL FOR INTELLIGENT ANALYSIS
OF THE EFFICIENCY OF AN EDUCATIONAL
ORGANIZATION BASED ON PM4PY

Keywords: Process Mining, Python, PM4Py, Process Map, Directly-Follows Graph. The authors propose an approach to evaluating the effectiveness of an educational organization based on Process Mining methods, a visual image of a process map, and numerical metrics. Using the PM4Py Python library, a software toolkit was implemented to evaluate the effectiveness of the teacher's work and the student's involvement in the learning process.

V.V. Poptsov, N.O. Sapozhenkov
DEVELOPMENT OF COMPLEX INDICATORS
FOR ASSESSING THE COST OF CARS LIFE CYCLE
Keywords: Service life, life cycle, costs, repair, feasibility study, optimization, maintenance, residual value. Advances in engineering, technological advances and high-precision manufacturing of components determine the quality

технологические достижения и высокая точность изготовления составных элементов определяют качество и увеличенный срок службы современных автомобилей, что является одной из причин увеличения продолжительности эксплуатации на протяжении всего жизненного цикла. Статистика показывает, что с каждым годом парк легковых автомобилей в России стареет – средний возраст пассажирских автомобилей на дорогах за последние 5 лет увеличился в среднем на 2,5 года и в 2022 году превысил 12 лет. Цена на вторичном рынке ежегодно падает, а стоимость обслуживания растёт, поэтому владельцы продолжают искать способы извлечь максимальную выгоду из эксплуатации автомобилей, что способствует увеличению продолжительности циклов замены. В этой связи исследования по определению экономически целесообразного срока службы автомобилей на основе оценки стоимости жизненного цикла актуальны.

А.М. Самойлов, А.А. Блохин, А.А. Сатаев, В.В. Андреев
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ
НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ОДНОТРУБНОЙ МОДЕЛИ С
ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Ключевые слова: естественная циркуляция, гидродинамическая неустойчивость, судовые ЯЭУ, внешнее воздействие.

В работе представлено исследование неустойчивости процесса переноса тепла и массы в контуре с естественной циркуляцией теплоносителя. В результате проведения экспериментальных работ было выявлено, что на относительно низких мощностях возникают существенные отклонения теплофизических параметров от среднего значения. Полученные результаты могут быть использованы для разработки расчетных методик для проектирования систем, работающих на принципе естественной циркуляции.

А.А. Сатаев, А.М. Самойлов, А.А. Блохин, В.В. Андреев
МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ЗАДАЧЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ

Ключевые слова: системный анализ, внешние динамические силы, судовая энергетическая установка, теплогидравлические процессы.

В статье рассматривается постановка задачи применения методов системного анализа к вопросам экспериментального моделирования процессов неизоэнтальпического смешения и естественной циркуляции при воздействии на данные процессы внешних динамических сил. Основной целью является системное рассмотрение влияния воздействия внешних динамических сил, создание инструментов идентификации, визуализации и моделирования данных процессов для повышения точности оценки и прогнозирования теплогидравлических процессов, применительно к оборудованию судовых ЯЭУ.

А.Ю. Унгер
ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛЬНЫХ ГРАММАТИК ДЛЯ
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПОИСКА

Ключевые слова: формальная грамматика, дерево разбора, эволюционный поиск, генетический алгоритм.

В работе предложено использовать аппарат формальных грамматик для решения задач оптимизации. Вместо традиционного поиска решения с помощью методов наследования, мутации, селекции и кроссинговера, предложено модифицировать грамматику так, чтобы она генерировала более приспособленные решения. Введено понятие качества грамматики, являющегося аналогом функции приспособленности. Приведен генетический оператор, который по дереву разбора строки модифицирует грамматику, на каждом шаге добавляя новое правило вывода. Показано, как использовать данный генетический оператор для получения грамматики максимального качества.

and extended life of modern vehicles, which is one of the reasons for the increase in service life throughout the entire life cycle. Statistics show that the fleet of passenger cars in Russia is aging every year - the average age of passenger cars on the roads over the past 5 years has increased by an average of 2.5 years and in 2022 exceeded 12 years. As the aftermarket price drops each year and the cost of maintenance rises, owners continue to look for ways to get the most out of their vehicles, which contributes to longer replacement cycles. In this regard, studies to determine the economically viable service life of vehicles based on the assessment of the cost of the life cycle are relevant.

A.M. Samoylov, A.A. Blokhin, A.A. Sataev, V.V. Andreev
INVESTIGATION OF HYDRODYNAMIC INSTABILITY
IN A SINGLE-TUBE MODEL WITH NATURAL COOLANT
CIRCULATION

Keywords: natural circulation, hydrodynamic instability, marine nuclear power plants, external influence.

The paper presents a study of the instability of the heat and mass transfer process in a circuit with a natural circulation of the coolant. As a result of the experimental work, it was revealed that at relatively low capacities there are significant deviations of the thermophysical parameters from the average value. The results obtained can be used to develop computational methods for designing systems operating on the principle of natural circulation.

A.A. Sataev, A.M. Samoylov, A.A. Blokhin, V.V. Andreev
METHODOLOGY OF THE SYSTEM APPROACH
TO THE PROBLEM OF STUDYING THERMAL
HYDRAULIC PROCESSES UNDER THE IMPACT
OF EXTERNAL DYNAMIC FORCES

Keywords: system analysis, external dynamic forces, ship power plant, thermal-hydraulic processes.

The article considers the formulation of the problem of applying the methods of system analysis to the issues of experimental modeling of non-isothermal mixing and natural circulation processes when these processes are exposed to external dynamic forces. The main goal is a systematic consideration of the influence of the impact of external dynamic forces, the creation of tools for identifying, visualizing and modeling these processes to improve the accuracy of assessing and predicting thermal-hydraulic processes in relation to the equipment of ship nuclear power plants.

A.Y. Unger
APPLICATION OF FORMAL GRAMMAR FOR SOLVING
PROBLEMS OF EVOLUTIONARY SEARCH

Keywords: formal grammar, parse tree, evolutionary search, genetic algorithm.

The paper proposes to use the apparatus of formal grammars for solving optimization problems. Instead of the traditional search for a solution using the methods of inheritance, mutation, selection and crossover, it is proposed to modify grammars so that they generate more fit solutions. The concept of grammar quality is introduced, which is an analogue of the fitness function. A genetic operator is given that modifies the grammar along the parse tree of a string, adding a new production rule at each step. It is shown how to use this genetic operator to obtain the highest quality grammar.

Г.А. Алексеев, В.Н. Кудашов, Е.Г. Селина
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННОГО
РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА УДАЛЕНИЕМ ПОКРЫТИЙ

Ключевые слова: микрорельеф,
резцовое устройство, гравирование, устойчивость.

Рассмотрены особенности обеспечения качества автоматизированного процесса образования прецизионного регулярного микрорельефа удалением слоя в делительных машинах на основе рационального сочетания технологических, конструктивных и эксплуатационных параметров.

Д.В. Байков, И.С. Юшков
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ОБКАТКИ И ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ
МАЛОГАБАРИТНЫХ ТРАКТОРОВ

Ключевые слова: автоматизация,
технологический процесс, обкатка, испытания, стенд.

В работе рассмотрены вопросы автоматизации технологического процесса обкатки и испытаний двигателей малогабаритных тракторов. Предложена конструкция автоматизированного стенда для обкатки и испытаний таких двигателей. Представлены результаты скоростных испытаний автоматизированной системы.

Д.В. Байков, И.С. Юшков
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ
РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ
ЭЛЕКТРОВОЗА

Ключевые слова: имитационная модель, аварийный режим,
система управления, тяговый электропривод, электровоз.

В статье предложена имитационная модель системы автоматизированного управления тяговым электроприводом электровоза. Рассмотрена работа предложенной системы при выходе из строя одного из тиристорных выпрямительно-инверторного преобразователя, а также работа системы при возникновении короткого замыкания обмотки трансформатора на землю.

Д.А. Башмаков, З.Г. Сайфутдинов, В.И. Ильин, С.К. Савицкий
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ РАБОЧЕГО
СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДКИ АВТОМОБИЛЯ

Ключевые слова: электропроводка автомобиля,
электрические жгуты, диагностика электрооборудования,
изоляция, катушки индуктивности.

В данной статье рассмотрена техническая диагностика рабочего состояния электрической проводки автомобиля. Основной целью данной работы является повышение точности контроля рабочего состояния электрической проводки автомобилей, путем разработки нового способа диагностики. В рамках статьи рассмотрены основные неисправности, связанные с электрической проводкой, такие как: разрыв, замыкание, старение изоляции, а также схема и составные части электропроводки автомобилей. Применение данного способа диагностики позволит избежать внезапных пробоев изоляции и поддерживать необходимую степень надежности работы электрооборудования, от чего в свою очередь зависит возможность дальнейшей эксплуатации автомобиля.

И.А. Ильченко, В.Ф. Пегашкин, Г.А. Осипенкова
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ПРЕДМЕТ ТРУДА

Ключевые слова: систем автоматизированного
проектирования, технико-экономический профиль,
технология машиностроения.

В работе представлены результаты разработки методики определения технологического профиля производства на основе классификации технологий по результатам воздействия на предмет труда в условиях применения систем

G.A. Alekseev, V.N. Kudashov, E.G. Selina
ENSURING THE QUALITY OF THE AUTOMATED
PROCESS OF FORMING A PRECISION REGULAR
MICRORELIEF BY REMOVING COATINGS

Keywords: microrelief, cutting device, engraving, stability.
The features of ensuring the quality of the automated process of forming a precision regular microrelief by removing a layer in dividing machines based on a rational combination of technological, design and operational parameters are considered.

D.V. Baykov, I.S. Yushkov
AUTOMATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS
OF RUN-IN AND TESTING OF ENGINES
OF SMALL-SCALE TRACTORS

Keywords: automation, technological process,
running-in, tests, stand.

The paper considers the issues of automation of the technological process of running in and testing engines of small tractors. The design of an automated stand for running and testing such engines is proposed. The results of high-speed tests of the automated system are presented.

D.V. Baykov, I.S. Yushkov
SIMULATION OF EMERGENCY MODES OF OPERATION
OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF ELECTRIC
DRIVE OF ELECTRIC LOCOMOTIVE

Keywords: simulation model, emergency mode,
control system, electric traction drive, electric locomotive.
The article proposes a simulation model of an automated control system for an electric traction drive of an electric locomotive. The work of the proposed system is considered in case of failure of one of the thyristors of the rectifier-inverter converter, as well as the operation of the system in the event of a short circuit of the transformer winding to the ground.

D.A. Bashmakov, Z.G. Sayfutdinov, V.I. Ilyin, S.K. Savitsky
IMPROVING THE EFFICIENCY OF MONITORING
THE WORKING CONDITION CAR ELECTRICAL WIRING

Keywords: car electrical wiring, electrical harnesses,
diagnostics of electrical equipment, insulation, inductors.
This article discusses the technical diagnostics of the working condition of the electrical wiring of the car. The main purpose of this work is to improve the accuracy of monitoring the working condition of the electrical wiring of cars by developing a new diagnostic method. Within the framework of the article, the main malfunctions associated with electrical wiring are considered, such as: rupture, short circuit, insulation aging, as well as the circuit and components of the electrical wiring of cars. The use of this diagnostic method will help to avoid sudden insulation breakdowns and maintain the necessary degree of reliability of the electrical equipment, which in turn determines the possibility of further operation of the car.

I.A. Ilchenko, V.F. Pegashkin, G.A. Osipenkova
METHODOLOGY FOR DETERMINING
THE TECHNOLOGICAL PROFILE OF PRODUCTION
BASED ON THE CLASSIFICATION OF TECHNOLOGIES
ACCORDING TO THE RESULTS OF THE IMPACT
ON THE SUBJECT OF LABOR

Keywords: computer-aided design systems, technical and
economic profile, mechanical engineering technology.
The paper presents the results of the development of a methodology for determining the technological profile of production based on the classification of technologies based on the results of the impact on the subject of labor. The problem of

автоматизированного проектирования технологических процессов.

А.Р. Куделько, А.И. Пугачева
ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ
КОМПОНЕНТОВ ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ПРЕДПРИЯТИЯ

Ключевые слова: инновационная система, инновационная деятельность, логика инновационной деятельности, хозяйствующий субъект, структура, компоненты.

В работе рассматриваются вопросы обеспечения инновационной деятельности хозяйствующего субъекта, например, предприятия. Для формирования структуры компонентов и/или оценки полноты (достаточности) соответствующей инновационной системы предлагается использовать логику инновационной деятельности хозяйствующего субъекта

И.В. Плохов, О.А. Егоров
СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ АНАЛИЗА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АСУ ТП
ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Ключевые слова: электростанция, автоматическая система управления технологическими процессами, нейронная сеть.

В статье рассмотрена система диагностики автоматической системы управления технологическими процессами (АСУТП) тепловой электростанции (ТЭС) на базе искусственной нейронной сети (ИНС). Такая, предварительно обученная нейронная сеть, будет вычислять выходные сигналы АСУТП на основе входных сигналов с датчиков процессов. Полученные сигналы будут сравниваться с реальными выходными сигналами АСУТП с оповещением о несоответствиях.

Д.А. Пудов, Д.А. Груздков, А.А. Рачишкин
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ПОТОКА
И ФОРМИРОВАНИЯ ПАКЕТОВ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ
С ДАТЧИКОВ МАШИНЫ ТРЕНИЯ

Ключевые слова: алгоритмизация, система мониторинга, машина трения, триботехнические испытания.

В работе описан процесс обработки потока данных, получаемого с датчиков машины трения. Описывается способ разбиения потока на исходные пакеты данных. Разработан алгоритм фильтрации пакетов данных, позволяющий избежать попадание поврежденной последовательности к последующей обработке. Он значительно сокращает вероятность ошибки в дальнейших расчетах, повышая отказоустойчивость системы. Представлена схема алгоритма, наглядно показывающая последовательность действий при его выполнении.

А.В. Репина
ВИБРАЦИОННОЕ ГОРЕНИЕ В АКУСТИЧЕСКИ
СВЯЗАННЫХ СИСТЕМАХ

Ключевые слова: вибрационное горение, акустические системы, биения.

В работе изучено влияние отдельных элементов топочных устройств на характер вибрационного горения. Показано, что при приближении собственных акустических частот отдельных элементов установки в последней возникают биения значительной амплитуды.

Л.А. Симонова, Д.Н. Демьянов, А.А. Капитонов
ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА
ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДИЗЕЛЬНОГО
ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Ключевые слова: дизельный двигатель, цилиндропоршневая группа, остаточный ресурс, нечеткий логический вывод, база правил.

В работе рассмотрена реализация предложенной ранее методики, позволяющей оценить фактическое состояние основных узлов двигателя внутреннего сгорания, для определения величины остаточного ресурса цилиндропоршневой группы. Приведен перечень основных диагностических

reducing a number of characteristics to one single indicator of time resources is considered.

A.R. Kudelko, A.I. Pugacheva
THE TECHNOLOGY OF FORMING THE STRUCTURE
OF THE COMPONENTS OF THE ENTERPRISE
INNOVATION SYSTEM

Keywords: innovation system, innovation activity, logic of innovation activity, economic entity, structure, components.

This paper considers the issues of providing innovation activities of an economic entity, such as an enterprise. To form the structure of components and/or assess the completeness (adequacy) of the corresponding innovation system, it is proposed to use the logic of innovative activity of an economic entity.

I.V. Plokhov, O.A. Egorov
CREATION OF THE EXPERT SYSTEM FOR
THE ANALYSIS OF THE FUNCTIONING OF THE APCS
OF A THERMAL POWER PLANT

Keywords: power plant, automatic process control system, neural network.

The article considers the possibility of creating a diagnostic system for an automatic process control system (APCS) of a thermal power plant (TPP) based on an artificial neural network (ANN) using fuzzy logic. Such a pre-trained neural network will calculate the output signals of the process control system based on the incoming input signals from the process sensors. Further, the received signals will be compared with the real output signals of the process control system based on a model built on fuzzy logic.

D.A. Pudov, D.A. Gruzdkov, A.A. Rachishkin
DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR PROCESSING
THE FLOW AND FORMATION OF DATA PACKETS
RECEIVED FROM THE SENSORS OF THE FRICTION
MACHINE

Keywords: algorithmization, monitoring system, friction machine, tribotechnical tests.

The article describes the process of processing the data stream received from the sensors of the friction machine. A data packet filtering algorithm has been developed to get rid of corrupted sequences. It significantly reduces the probability of errors in further calculations, increasing the fault tolerance of the system. The scheme of the algorithm is presented, which clearly shows the sequence of actions during its execution.

A.V. Repina
VIBRATIONAL GORENJE IN ACOUSTICALLY
COUPLED SYSTEMS

Keywords: vibrational gorenje, acoustic systems, beats.

The influence of individual elements of furnace devices on the nature of vibrational combustion is studied in the work. Gorenje It is shown that when the natural acoustic frequencies of individual elements of the installation approach, beats of significant amplitude occur in the latter.

L.A. Simonova, D.N. Demyanov, A.A. Kapitonov
ESTIMATION OF THE CYLINDER-PISTON GROUP
RESIDUAL LIFE OF A DIESEL ENGINE BASED
ON FUZZY LOGIC

Keywords: diesel engine, cylinder-piston group, residual life, fuzzy logic inference, rule base.

The paper considers the implementation of the previously proposed methodology, which allows estimating the actual state of the main units of the internal combustion engine, to determine the value of the residual life of a cylinder-piston group. A list of the main diagnostic parameters and ranges of their changes is given, the dependence between the values of

параметров и диапазоны их изменения, выявлена зависимость между значениями диагностических параметров и степенью износа, формализованная в виде базы правил подсистемы нечеткого логического вывода. Описана программная реализация методики и проведена оценка адекватности получаемых результатов.

С.С. Емельянова, Н.Н. Иващенко, Е.А. Киселева
ИСПРАВЛЕНИЕ ПРОБЛЕМ В ОС ROCKS CLUSTERS ПРИ
ВНЕДРЕНИИ ФС LUSTRE

Ключевые слова: многопроцессорная вычислительная система, операционная система, сетевая файловая система, Rocks Clusters, Lustre, troubleshooting.

В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с устранением неполадок в многопроцессорной вычислительной системе, разработанной для расчета задач численного моделирования и построенной на основе ОС Rocks Clusters с использованием сетевой файловой системы Lustre.

Н.Н. Иващенко, С.С. Емельянова
ИССЛЕДОВАНИЕ TERRAFORM КАК СРЕДСТВО IAC.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННОГО ПО ДЛЯ СОЗДАНИЯ
ОБЛАЧНЫХ ИНФРАСТРУКТУР.

Ключевые слова: облачная инфраструктура, cloud computing, terraform, облачные вычисления.

В данной работе рассматриваются вопросы использования Terraform для создания облачной инфраструктуры. Детально рассматривается программное обеспечение Terraform, его характеристики, возможности, преимущества. Также рассматривается файловая структура Terraform и процесс работы данного ПО.

М.В. Стрихарь
УСЛОВИЕ РАВЕНСТВА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СУММ
ДИАГОНАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ПИРАМИДЫ ПАСКАЛЯ

Ключевые слова: Паскаль, пирамида Паскаля, свойства пирамиды Паскаля, сечение пирамиды Паскаля, числовая последовательность, рекуррентное соотношение.

В работе рассмотрены суммы элементов диагональных сечений пирамиды Паскаля. Сформулирована и доказана теорема о равенстве последовательностей сумм диагональных сечений пирамиды Паскаля. Приведен пример, иллюстрирующий применение доказанной теоремы.

З.Ш. Абдураманов, З.С. Сейдаметова, Г.С. Сейдаметов
ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ХАКАТОНА

Ключевые слова: хакатон, сотрудничество, заинтересованные стороны, модель, разработка программных приложений.

Рассмотрены теоретические и практические аспекты, связанные с организацией и проведением хакатонов. Авторы описали этапы проведения соревновательных мероприятий, преимущества и недостатки в организации хакатонов. Представлена модель хакатона, а также инструменты организации и проведения хакатонов, в частности, технологических.

М.В. Александрова, О.К. Головнин, А.В. Иващенко,
А.В. Кривошеев, П.В. Ситников, О.Л. Сурнин
ТЕХНОЛОГИИ ТЕКСТОПОНИМАНИЯ И
ТЕКСТОГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ ЮРИДИЧЕСКИХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: база знаний, онтология, нейронная сеть, искусственный интеллект, распознавание текста.

В статье представлено программное решение, позволяющее реализовать возможности автоматического текстопонимания и текстогенерации в отрасли Legal Tech. Рассмотрены и обобщены современные тенденции внедрения информационных технологий в этой сфере, даны рекомендации по их развитию с использованием технологий искусственного интеллекта.

diagnostic parameters and the degree of wear is revealed, formalized in the form of a rule base of the fuzzy logic inference subsystem. The software implementation of the methodology is described and the adequacy of the results obtained is evaluated.

S.S. Emelyanova, N.N. Ivaschenko, E.A. Kiseleva
FIXING PROBLEMS IN ROCKS CLUSTERS OS WHEN
INTRODUCING FS LUSTRE

Keywords: multiprocessor computing system, operating system, network file system, Rocks Clusters, Lustre, troubleshooting. This paper discusses issues related to troubleshooting a multiprocessor computing system designed to solve numerical simulation problems and built on the basis of the Rocks Clusters OS using the Lustre network file system.

N.N. Ivaschenko, S.S. Emelyanova
TERRAFORM STUDY AS A MEANS OF IAC.
USE OF THIS SOFTWARE TO CREATE CLOUD
INFRASTRUCTURES.

Keywords: cloud infrastructure, cloud computing, terraform, cloud computing.

This paper discusses the use of Terraform to create a cloud infrastructure. The Terraform software, its characteristics, capabilities, and advantages are considered in detail. The file structure of Terraform and the workflow of this software are also considered. In addition, several examples of using Terraform software in various cloud infrastructures are given.

M.V. Strikhar
EQUALITY CONDITION FOR THE SEQUENCE
OF PASCAL'S PYRAMID DIAGONAL SECTIONS SUMS
Keywords: Pascal, Pascal's pyramid, properties of Pascal's pyramid, section of Pascal's pyramid, numerical sequence, recurrence relation.

This paper considers the sums of Pascal's pyramid diagonal sections elements. There was formulated and proven the theorem about an equality for sum's sequences of Pascal's pyramid diagonal sections elements. An example is illustrating the application of the proven theorem.

Z.S. Abduramanov, Z.S. Seidametova, G.S. Seydametov
TOOLS FOR ORGANIZING AND CONDUCTING
A TECHNOLOGICAL HACKATON

Keywords: hackathon, collaboration, stakeholders, model, software application development. Theoretical and practical aspects related to the organization and conducting of hackathons are considered. The authors presented the stages of holding competitive events, the advantages and disadvantages of the hackathon's organization. A hackathon model is presented, as well as tools for organizing and conducting hackathons, in particular, technological ones.

M.V. Aleksandrova, O.K. Golovnin, A.V. Ivaschenko,
A.V. Krivosheev, P.V. Sitnikov, O.L. Surnin
TECHNOLOGIES OF TEXT UNDERSTANDING
AND TEXT GENERATION FOR LEGAL TECH

Keywords: knowledge base, ontology, neural network, artificial intelligence, text recognition. The paper presents a software solution of automatic text understanding and text generation in the Legal Tech industry. Modern trends in the introduction of information technologies in this area are considered and summarized, recommendations are given for their development using Artificial Intelligence. The proposed solution is based on the implementation of an ontological knowledge base for describing, organizing and

Предложенное решение основано на реализации онтологической базы знаний для описания, организации и представления отношений между извлеченными из документов атрибутами, например, нормативными правовыми актами, их отдельными пунктами и подпунктами.

Г.А. Гареева, М.Р. Хамидуллин,
М.В. Южаков, Р.Р. Нуриев, Р.Ф. Фархутдинов
**СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССОРА ПУТЁМ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ**

Ключевые слова: кремниевая лотерея, напряжение, андервольт, видеокарта, видеоадаптер, GPU, график, бенчмарк, температура, чип, частота, MSI Afterburner, мониторинг, вендор.

В данной статье описывается процесс понижения температуры и энергопотребления графического процессора, без потерь в производительности, путём понижения стандартного напряжения. Весь алгоритм описан путём использования программного обеспечения MSI Afterburner. Функционал программы позволяет мониторить показатели основных компонентов персонального компьютера, и производить ручную настройку параметров видеокарты процессора.

В.Н. Дюпин
**МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ АССОЦИАТИВНЫЙ СЛОЙ
ВИРТУАЛЬНОГО АДАПТАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА**

Ключевые слова: виртуальная реальность, виртуальное адаптационное пространство, моделирование, цветовые пространства.

В работе содержится обзор описание метода погружения объектов в виртуальную реальность. Приводится пример погружения объектов в виртуальное адаптационное пространство. Рассматриваются вариации метода для статических и динамических систем.

Ю.А. Чурсин, Р.А. Нурмухаметов
**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ
МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ**

Ключевые слова: ПЛИС, БИХ-фильтр, КИХ-фильтр, граница тени, лазер.

В статье описывается решение проблемы зашумленности сигнала при использовании оптического метода получения геометрических параметров объекта, основанного на анализе границ тени объекта в расходящемся световом потоке. В статье рассматриваются и сравниваются два метода фильтрации видеосигнала в режиме реального времени, с высокой частотой и использованием ПЛИС.

И.Б. Елтунова, А.С. Нестеров
**СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ СЕТЕВЫХ ВТОРЖЕНИЙ
НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА**

Ключевые слова: информационная безопасность, сетевые атаки, система обнаружения вторжений, искусственный интеллект, нейронная сеть.

Современные темпы развития цифровых технологий способствуют бурному развитию киберпреступности. Специалисты в области информационной безопасности прогнозируют взрывной рост числа кибератак в ближайшие годы, уже сегодня фиксируется порядка 20 млрд атак ежедневно. В условиях цифрового общества объем информации, циркулирующей в компьютерных сетях, существенно возрос, что пропорционально увеличивает количество сетевых атак. Сетевая безопасность может быть частично решена при помощи систем обнаружения вторжений. В данной статье рассматривается построение узловой системы обнаружения вторжений в корпоративную локальную вычислительную сеть, в которой анализ и принятие решения реализуется с помощью алгоритмов искусственного интеллекта.

presenting relationships between attributes extracted from documents, for example, regulatory legal acts, their individual clauses and subparagraphs.

G.A. Gareeva, M.R. Khamidullin,
M.V. Yuzhakov, R.R. Nuriev, R.F. Farkhutdinov
**REDUCING GPU POWER CONSUMPTION
BY VOLTAGE REGULATION**

Keywords: silicon lottery, voltage, undervolt, video card, video adapter, GPU, graph, benchmark, temperature, chip, frequency, MSI Afterburner, personal computer, monitoring, vendor, manufacturer.

This article describes the process of lowering the temperature and power consumption of the GPU, without loss in performance, by lowering the standard voltage. The whole algorithm is described by using the MSI Afterburner software. The functionality of the program allows you to monitor the indicators of the main components of a personal computer and manually adjust the parameters of the processor's graphics card.

V.N. Dyupin
MODEL OF VIRTUAL ADAPTATION SPACE

Keywords: virtual reality, virtual adaptation space, modeling, color spaces.

The paper contains an overview of the description of the method of immersing objects in virtual reality. An example of immersing objects in a virtual adaptation space is given. Variations of the method for static and dynamic systems are considered.

Y.A. Chursin, R.A. Nurmukhametov
**IMPROVING THE ACCURACY
OF CREATING DIGITAL MODELS OF OBJECTS**

Keywords: FPGA; IIR filter; FIR filter; shadow borders; laser; CCD sensor; vhd.

The article describes the solution to the problem of signal noise when using an optical method for obtaining the geometric parameters of an object, based on the analysis of the boundaries of the object's shadow in a divergent light flux. The article discusses and compares two methods of photo signal filtering in real time, with high frequency and using FPGAs.

I.B. Eltunova, A.S. Nesterov
**INTRUSION DETECTION SYSTEM BASED
ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS**

Keywords: information security, network attacks, intrusion detection system, artificial intelligence, neural network.

The current pace of development of digital technologies contributes to the rapid development of cybercrime. Experts in the field of information security predict an explosive growth in the number of cyber attacks in the coming years; today, about 20 billion attacks are recorded daily. In a digital society, the amount of information circulating in computer networks has increased significantly, which proportionally increases the number of network attacks.

Network security can be partly solved with the help of intrusion detection systems. This article discusses the construction of a nodal intrusion detection system in a corporate local area network, in which analysis and decision making are implemented using artificial intelligence algorithms.

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**

№11 2022

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 27.11.2022 Формат А4. Печать цифровая.
Дата выхода в свет 27.11.2022
14,1 усл.печ.л. 16,5 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 4430.

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»