Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й

В Е С Т Н И К

П О В О Л Ж Ь Я

№8 2021

Направления:

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

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

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

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

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

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

Казань
2021

УДК 60
ББК 30-1
Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №8 2021г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2021. – 110 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.ntvp.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).
Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.
Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № Е12025.

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.

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, 2021 г.**

СОДЕРЖАНИЕ

05.13.01 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

В.В. Баканов, А.А. Кузнецов, К.А. Липатников ДАТЧИК ТОКА НА БАЗЕ ЭФФЕКТА МАГНИТОСТРИКЦИИ 7
А.П. Буйносов АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ЭП2К 11
И.А. Волков, Д.С. Зырянова, Л.В. Синицына ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ СТУДЕНТАМИ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ УЧЕБНЫХ ЗРИТЕЛЬНЫХ РАБОТ 15
В.С. Крылов СБОРКА АЛГОРИТМА АНАЛИЗА ЛАТЕНТНЫХ ТЕМ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ 19
Е.С. Кузнецова, А.Ю. Панов, С.В. Кузнецов ПРИМЕНЕНИЕ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЙ 22
Р.И. Нургалиев, А.А. Василец, В.И. Баязитова, А.Ж. Сахабутдинов, А.А. Кузнецов, А.Н. Пикулев, В.В. Садчиков АЛГОРИТМ ТРОЙНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ СВЕРХУЗКИХ СТРУКТУР РЕЗОНАНСНОГО ТИПА В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ 28
А.А. Хохрин ТРЕХМЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛИЦА ИЗ ОДНОГО 2D-ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И БАЗЕЛЬСКОЙ МОДЕЛИ ЛИЦА 32

05.13.06 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

И.Н. Козлов О ИЗМЕНЕНИИ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОВОГО ПРИБОРА НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДНОЙ МАТРИЦЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВТОРИЧНОЙ ОПТИКИ В ВИДЕ ЗЕРКАЛЬНОЙ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ 36
М.В. Таланов, В.М. Таланов БЕЗДАТЧИКОВАЯ СИСТЕМА ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ СИГМА-ТОЧЕЧНОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА 39

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

Г.А. Гареева, А.Р. Шакиров, Д.Р. Григорьева, Р.Р. Басыров ДИАГНОСТИКА ПРОГРАММНОГО И АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПК НА ПРЕДПРИЯТИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ 45
А.А. Голубничий, А.Д. Яблонцева РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В РАМКАХ ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ КАМПАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ) 49

05.13.18 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

А.А. Голубничий, А.Д. Яблонцева РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗВЕДОЧНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ 52

А.А. Каменских, М.М. Пащенко ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНО-УПРОЧНЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА КОНТАКТ ШТАМПА И ПОЛУПРОСТРАНСТВА 56
А.А. Каменских, М.М. Пащенко ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРА КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШТАМПА С МНОГОСЛОЙНЫМ ЗАЩИТНО-УПРОЧНЯЮЩИМ ПОКРЫТИЕМ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ ШТАМП-ПОЛУПРОСТРАНСТВО 59
А.В. Колсанов, С.С. Чаплыгин, Е.Г. Орехова, А.В. Иващенко МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ОПЕРАЦИОННОГО МИКРОСКОПА 63
А.С. Мальцев, П.В. Максимов ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОНИЯ В КВАРЦЕВОМ АКСЕЛЕРОМЕТРЕ ПРИ СВАРНОМ И КЛЕЕВОМ СОЕДИНЕНИЯХ 67
А.С. Мальцев, П.В. Максимов ОЦЕНКА МЕТОДАМИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КВАРЦЕВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА ПРИ РУЧНОЙ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКЕ 71
А.Г. Мухаметзянова, В.В. Бронская МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ БУТИЛКАУЧУКА В РЕАКТОРЕ С МЕШАЛКОЙ 75
А.С. Титовцев, П.В. Антонова ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОГРАНИЧЕННЫМ ВРЕМЕНЕМ ПРЕБЫВАНИЯ ЗАЯВКИ В ОЧЕРЕДИ И ВРЕМЕНЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПО ЗАКОНУ ЭРЛАНГА 79
А.С. Титовцев, П.В. Антонова ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОГРАНИЧЕННЫМ СРЕДНИМ ВРЕМЕНЕМ ПРЕБЫВАНИЯ ЗАЯВКИ В СИСТЕМЕ И ВРЕМЕНЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПО ЗАКОНУ ЭРЛАНГА 83
Г.М. Тутаев, М.А. Бобров, С.А. Моисеев, Ю.А. Агафонов МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ФУНКЦИЕЙ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ 86
Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов СНИЖЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА И КОЛИЧЕСТВА ОБТОЧЕК БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА 91
В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ 95
А.Б. Цветков КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА 99

АННОТАЦИИ 103

THE RELEASE MAINTENANCE

05.13.01 — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING

V.V. Bakanov, A.A. Kuznetsov, K.A. Lipatnikov CURRENT SENSOR BASED ON THE MAGNETOSTRICTION EFFECT 7
A.P. Buinosov FAILURE ANALYSIS OF THE DOMESTIC PASSENGER ELECTRIC LOADER EP2K 11
I.A. Volkov, D.S. Zyryanova, L.V. Sinitsyna ASSESSMENT OF LIGHTING CONDITIONS THE STUDENTS OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS UNDER IMPLEMENTATION OF EDUCATIONAL VISUAL TASKS 15
V.S. Krylov ASSEMBLING OF ANALYSIS ALGORITHM FOR LATENT TOPICS OF THE SCIENTIFIC PUBLICATIONS 19
E.S. Kuznetsova, A.Yu. Panov, S.V. Kuznetsov APPLICATION OF THE BAYESIAN BELIEF NETWORKS TO REDUCING RISKS IN THE DEVELOPMENT AND REALIZATION ENTERPRISE`S STRATEGY 22
R.I. Nurgaliev, A.A. Vasilets, V.I. Bayazitova, A.Zh. Sakhabutdinov, A.A. Kuznetsov, A.N. Pikulev, V.V. Sadchikov ALGORITHM OF PAIRED PROBING OF SUPERNARROW RESONANCE STRUCTURES IN OPTICAL FIBER 28
A.A. Khokhrin 3D FACE RECONSTRUCTION FROM A SINGLE 2D IMAGE BASED ON FEATURES AND A BASEL FACE MODEL 32

05.13.06 — TECHNICAL SCIENCES — AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION

I.N. Kozlov ON CHANGE OF LIGHT DISTRIBUTION OF A LIGHTING DEVICE BASED ON LED MATRIX WHEN USING SECONDARY OPTICS AS A MIRROR PLANE SURFACE 36
M.V. Talanov, V.M. Talanov INDUCTION MOTOR SENSORLESS VECTOR CONTROL SYSTEM WITH SPEED ESTIMATION BASED ON UNSCENTED KALMAN FILTER 39

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

G.A. Gareeva, A.R. Shakirov, D.R. Grigoreva, R.R. Basyrov DIAGNOSTICS OF SOFTWARE AND HARDWARE OF PC IN THE ENGINEERING ENTERPRISE 45
A.A. Golubnichiy, A.D. Yablontseva DEVELOPMENT OF A DATABASE FOR CREATION OF APPLIED GEOINFORMATION SYSTEMS IN ELECTION CAMPAIGNS (ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF KHAKASIYA) 49

05.13.18 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

A.A. Golubnichiy, A.D. Yablontseva DEVELOPMENT OF AUTOMATION SYSTEM EXPLORATION DATA ANALYSIS 52
A.A. Kamenskikh, M.M. Pashchenko INFLUENCE OF PROTECTIVE-STRENGTHENING COATING ON THE CONTACT OF THE STAMP AND HALF-SPACE 56
A.A. Kamenskikh, M.M. Pashchenko RESEARCH OF THE CONTACT INTERACTION CHARACTER INFLUENCE OF A STAMP WITH A MULTI-LAYER PROTECTIVE-HARDENING COATING ON THE DEFORMATION CHARACTERISTICS OF THE STAMP-HALF-SPACE SYSTEM 59

A.V. Kolsanov, S.S. Chaplygin, E.G. Orehova, A.V. Ivaschenko MATHEMATICAL MODEL OF FORMATION AND POSITIONING OF AUGMENTED REALITY OBJECTS ON IMAGES OF OPERATIONAL MICROSCOPE 63
A.S. Maltsev, P.V. Maksimov NUMERICAL SIMULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE IN A QUARTZ ACCELEROMETER WITH WELDED AND ADHESIVE JOINTS 67
A.S. Maltsev, P.V. Maksimov ESTIMATION BY THE METHODS OF NUMERICAL SIMULATION OF THE PERFORMANCE OF A QUARTZ ACCELEROMETER DURING MANUAL AND AUTOMATED ASSEMBLY 71
A.G. Mukhametzyanova, V.V. Bronskaya MODELING OF BOTTLE RUBBER POLYMERIZATION PROCESS IN A REACTOR WITH A STIRRER 75
A.S. Titovtsev, P.V. Antonova PROPERTIES OF THE QUEUING SYSTEMS WITH THE BOUNDED AVERAGE WAITING TIME AND THE SERVICE TIMES DISTRIBUTED BY ERLANG LAW 79
A.S. Titovtsev, P.V. Antonova NUMERICAL RESEARCH OF THE STABLE MODES OF THE QUEUING SYSTEMS WITH THE BOUNDED AVERAGE TIME IN THE SYSTEM AND THE SERVICE TIMES DISTRIBUTED BY ERLANG LAW 83
G.M. Tutaev, M.A. Bobrov, S.A. Moiseev, Yu.A. Agafonov SIMULATION OF PMSM ELECTRIC DRIVE SUPPLIED FROM BACKUP DC SOURCE 86
N.G. Fetisova, A.P. Buinosov REDUCTION OF WEAR INTENSITY AND THE NUMBER OF RUNNERS OF WHEEL SETS 91
V.N. Fryanov, L.D. Pavlova NUMERICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF STRUCTURAL HETEROGENEITY OF THE ROCK MASSIF ON GEOMECHANICAL PARAMETERS OF THE CUTTING AREA OF THE COAL MINE 95
A.B. Tsvetkov CONCEPT OF CONSTRUCTING A NONLINEAR MATHEMATICAL MODEL OF THE STRESS-DEFORMED STATE OF A ROCK MASS 99

ABSTRACTS 103

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

05.13.01

В.В. Баканов, А.А. Кузнецов, К.А. Липатников

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ,
институт Радиоэлектроники, фотоники и цифровых технологий,
кафедра Радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, romosanto@gmail.com

ДАТЧИК ТОКА НА БАЗЕ ЭФФЕКТА МАГНИТОСТРИКЦИИ

В работе представлен альтернативный датчик тока на базе магнитострикционного материала никеля. Разработана математическая модель датчика в переменном магнитном поле при удлинении никеля и решетки Брэгга. Произведено моделирование удлинения в магнитном поле, распределение нагрузок при влиянии внешнего магнитного поля. Проанализированы технические характеристики и конструктивные особенности устройства.

Ключевые слова: *оптоволокно, решетка Брэгга, эффект Фарадея, магнитострикция, никель.*

Сейчас идет активное развитие оптоволоконных технологий, систем контроля и повышение их точности, энергоэффективности. Альтернативой для контроля переменного тока является «Датчик тока на базе эффекта магнитострикции», устройство обладает повышенной точностью за счет микроперемещений из-за эффекта магнитострикции.

Эффектом магнитострикции обладают материалы никель, литой кобальт, феррит. На графике зависимости деформации магнитострикционных материалов от напряженности магнитного поля «рис.1» видно, что у никеля при напряженности магнитного поля от 0 до 1000 Э изменение геометрических параметров больше по сравнению с кобальтом и ферритом. Так же у никеля на коротком участке линейная зависимость, что упростит аппроксимацию. [1]

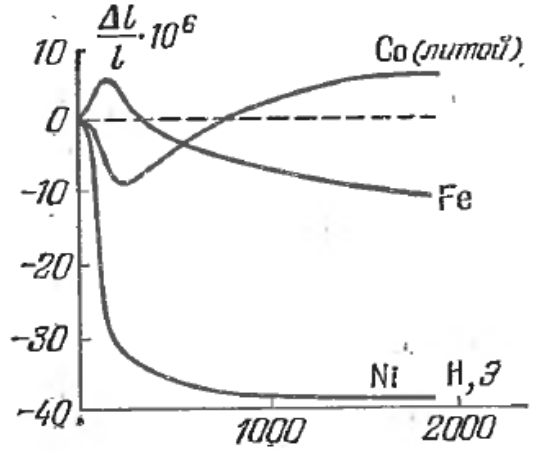


Рис.1 – График зависимости деформации магнитострикционных материалов от напряженности магнитного поля

Для определения контролируемых параметров формируем зависимость относительного удлинения от напряженности магнитного поля, основываясь на графике зависимости деформации стержня из никеля.

Напряженность магнитного поля вычисляем по формуле (1):

$$H = \frac{I * n}{2\pi r} \quad (1)$$

где H-напряженность магнитного поля; I-сила тока в катушке; n-число витков; r-радиус от центра провода до центра сердечника.

Параметр r определяем по формуле (2):

$$r = \frac{D}{2} + t + \frac{d}{2} \quad (2)$$

где D-диаметр сердечника; d-диаметр провода; t-толщена стенки каркаса.

Длина волны прямо пропорционально зависит от удлинения сердечника, эту зависимость выражаем в формуле (3):

$$\Delta \boldsymbol{l} = {(\Delta \boldsymbol{\lambda}_{\mathrm{B}} * \boldsymbol{l})}/{\boldsymbol{\lambda}_{\mathrm{B}}} \quad (3)$$

Где l-начальная длина сердечника; Δl-относительное удлинение сердечника в магнитном поле, λ-длина волны, Δλ-относительное изменение длины волны.

На участке Δl/l {от $-10*10^6$, до $-40*10^6$} и H{от 0, до 1000} после аппроксимации данных получаем формулы (4):

$$\Delta l = \frac{\left(l * 0{,}602 * e^{-0{,}202 * \frac{I*n}{2\pi r}}\right)}{10^6} \quad (4)$$

В формулу (4) подставляем зависимость (3), заменяя Δl и получаем окончательную формулу (5):

$$\Delta \boldsymbol{\lambda}_{\mathrm{B}} = \frac{\left(l * 0{,}602 * e^{-0{,}202 * \frac{I*n}{2\pi\left(\frac{D}{2}+t+\frac{d}{2}\right)}}\right) * \boldsymbol{\lambda}_{\mathrm{B}}}{10^6 * \boldsymbol{l}} \quad (5)$$

Волоконная Брэгговская решетка представляет участок оптического волокна, в сердцевине которого показатель преломления периодически изменяется в продольном направлении. Особенность Брэгговской решетки заключается в изменение длины волны, которое происходит при сжатии и растяжении решетки [2,3].

После формирования математической модели была сформирована структурная схема «рис.2», которая включает в себя широкополосный лазер, который подает сигнал через оптоволокно датчик тока построенный на эффекте магнитострикции. На датчик подается переменное напряжение, из-за эффекта магнитострикции происходит сжатие-растяжение стрежня из никеля и происходит синхронная деформация Брэгговской решетки. При сжатии-растяжении происходит изменение длины волны сигнала, изменения считывает приемник, далее данные отправляются на персональный компьютер, где методом преобразований получаем величину переменного тока. [4]

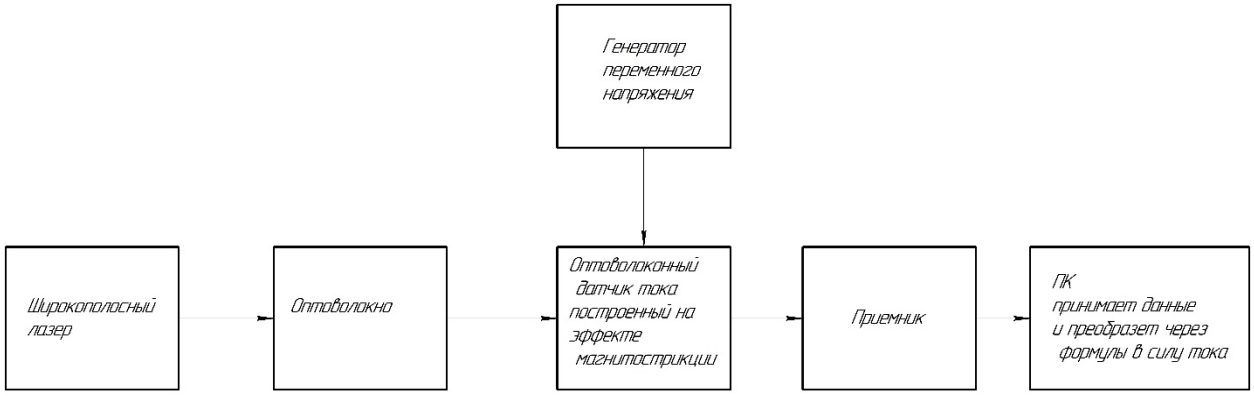


Рис.2 – Структурная схема

На основании формул и полученных данных осуществили моделирование магнитострикции внутри сердечника и распределение магнитных полей в программе COMSOL Multiphysics.

В Comsol смоделировали напряженность магнитного поля и деформации в магнитном поле на основании графика видим распределение напряжений в стержне. Наибольшая деформация указана красным цветом, наименьшая деформация указана синим «рис.3».

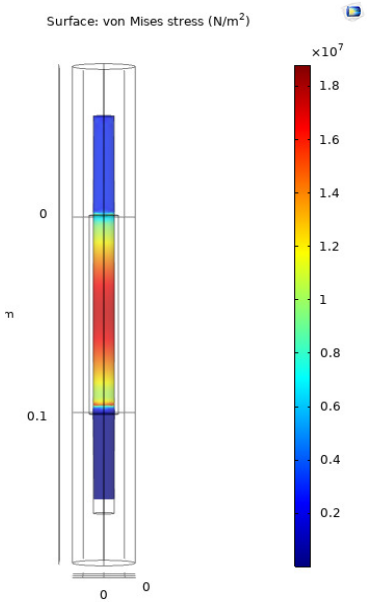


Рис.3 – Распределение напряжении магнитострикции в магнитном поле

Сердечник начинает выстраивать частицы вдоль магнитного поля по всему стрежню. Магнитострикция оказывает суммарное действие на деформацию всего стержня.

Отдельно строим график распределения напряжения при магнитострикции «рис.4», на графике видим, что максимальное напряжение сместилось из центра ферритового сердечника к постоянному магниту, выделено красным. Зона с минимальным значением переместилась в противоположную сторону относительно магнита, на самом конце ферритового стержня наблюдаем минимальные значения напряжения магнитострикции, которые обозначены синим цветом.

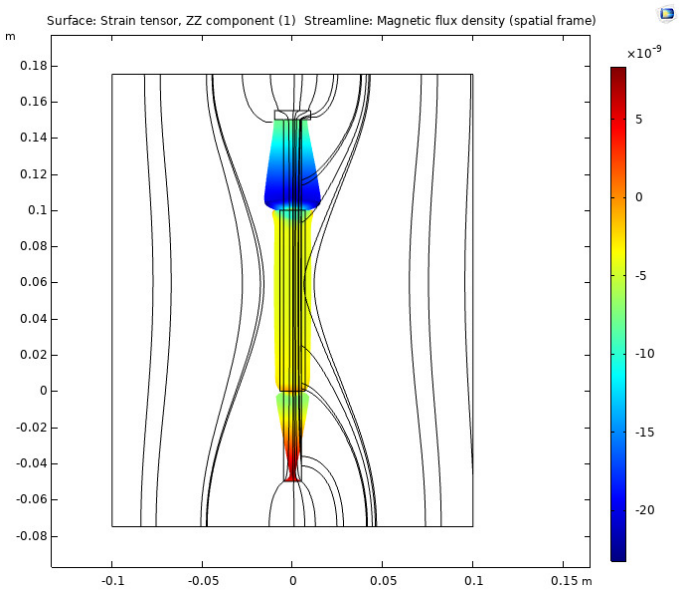


Рис.4 – Распределение напряжении магнитострикции
при внесении внешнего постоянного магнитного поля

В заключении «Датчик тока на базе эффекта магнитострикции» обладает высокой точностью, простотой в изготовлении, малой чувствительностью к температуре по сравнению с другими оптоволоконными датчиками тока за счет магнитострикционного материала.

Список литературы

1. *Майер В.В.* Простые опыты с ультразвуком /В.В. Майер — Москва: Издательство «Наука»,1978г. — 160 с.
2. *Варжель С.В.* Волоконные Брэгговские решетки: Учебное пособие рекомендовано для бакалавров, обучающихся по направлению 210700.62.01 «Оптические системы и сети связи», и магистров, обучающихся по направлению 11.04.02 «Нанотехнологии в волоконной оптике»/ Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015. – 65 с.
3. *Васильев С.А., Медведков О.И., Королев И.Г., Божков А.С., Курков А.С., Дианов Е.М.* Волоконные решетки показателя преломления и их применение // Квантовая электроника. – 2005. – Т. 35. – № 12. – С. 1085-1103.
4. *Баканов В.В., Нуреев И.И., Кузнецов А.А., Липатников К.А.*/ Оптоволоконный датчик тока на основе брэгговской решетки// Инженерный вестник Дона. — 2021. — №6 — С.13 — URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_19__6_Bakanov_Nureev.pdf_871a815329.pdf (Дата обращения 12.05.2021). — Текст: электронный.

05.13.01

А.П. Буйносов д-р техн. наук

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

АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ЭП2К

Приводятся методика и результаты расчетов для построения характеристик тягового двигателя и проектируемого электровоза постоянного тока для работы на железнодорожных путях необщего пользования. За аналог для проектируемого электровоза была принята подлежащая списанию в настоящее время одна секция электровоза серии ВЛ11. Приводится полученная магнитная характеристика двигателя, электромеханические и тяговые характеристики проектируемого электровоза.

Ключевые слова: *электровоз, железнодорожный путь, необщего пользования, двигатель, характеристика, методика, построение.*

На основе данных о неисправностях электровоза ЭП2К за 2018, 2019 и 2020 гг., полученных в эксплуатационном депо «Барабинск», был проведен сравнительный анализ неисправностей технических средств.

Удельное количество отказов оборудования – показатель, которым можно описать состояние эксплуатируемого парка электровозов [1, 2]. Этим показателем также возможно охарактеризовать электровоз в целом, а также по отдельным видам оборудования, используемого на электровозе [3].

В табл. 1 показано общее количество неисправностей технических средств, соответствующее определенному виду оборудования. Анализ неисправностей технических средств показывает, что наибольшее число неисправностей электровозов серии ЭП2К приходится на механическое оборудование (32 % от общего количества неисправностей). На втором месте по количеству неисправностей находятся электрооборудование (31 %). Также большое количество неисправностей приходится пневматическое оборудование (17 % от общего количества неисправностей) (рис. 1).

Таблица 1 - Распределение неисправностей по видам оборудования

В случаях

Вид оборудования	Количество неисправностей по годам			Итого
	2018	2019	2020	
Механическое оборудование	39	102	184	325
Электронное оборудование	97	117	100	314
Пневматическое оборудование	46	46	82	174
Тяговый двигатель	32	30	24	86
Приборы безопасности	51	11	10	72
Вспомогательные машины	18	14	12	44

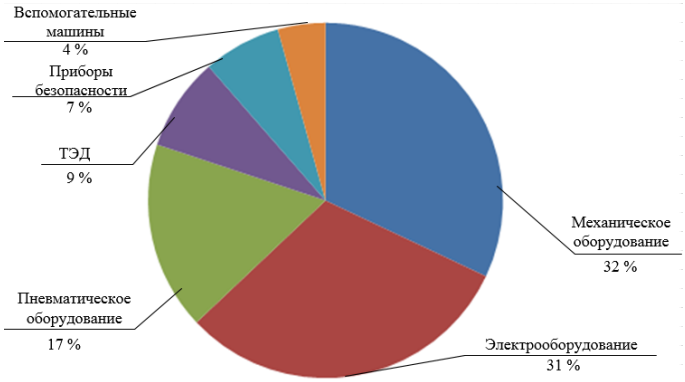


Рис. 1 – Диаграмма неисправностей оборудования электровозов серии ЭП2К

Прочие неисправности – это неисправности кузова, тележки, рычаг ручного тормоза, триангель, форсунка системы пескоподачи, стяжной хомут секционного уплотнения [4], трос привода подъема токоприемника, крепление кронштейна кузовного демпфера, возвращающее устройство [5].

На рис. 2 представлено распределение количества неисправностей по годам.

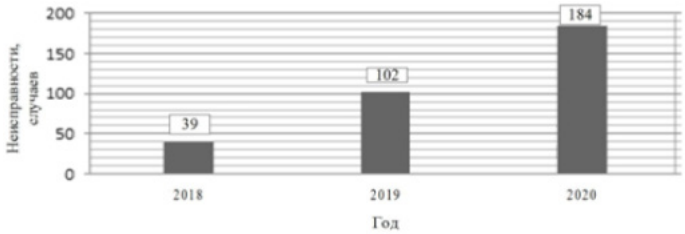


Рис. 2 – Гистограмма общего количества неисправностей механической части электровоза ЭП2К за 2018-2020 гг.

Гистограмма (см. рис. 2) показывает, что распределение общего числа неисправностей механической части электровоза ЭП2К в течение трех лет количество неисправностей увеличивается. Как видно из табл. 2 и рис. 3, наиболее уязвимым элементом в механической части электровоза ЭП2К является гидродемпфер [6]. Основной причиной его неисправности является течь масла из буксового демпфера, облом проушин, повреждение сальника штока, ослабление гайки корпуса, недостаток рабочей жидкости.

Таблица 2 – Количество неисправностей механического оборудования электровоза ЭП2К

В случаях

Механическое оборудование	Количество за год			Итого
	2018	2019	2020	
Гидродемпфер	13	70	145	228
Колесная пара (КП)	8	12	8	28
Механизм передачи силы тяги (МПСТ)	9	4	2	15
Букса	1	1	8	10
Автосцепное устройство (автосцепка)	2	1	7	10
Колесно-моторный блок (КМБ)	4	1	4	9
Тяговый редуктор	–	1	7	8
Прочие неисправности	2	9	6	17
Итого	325			

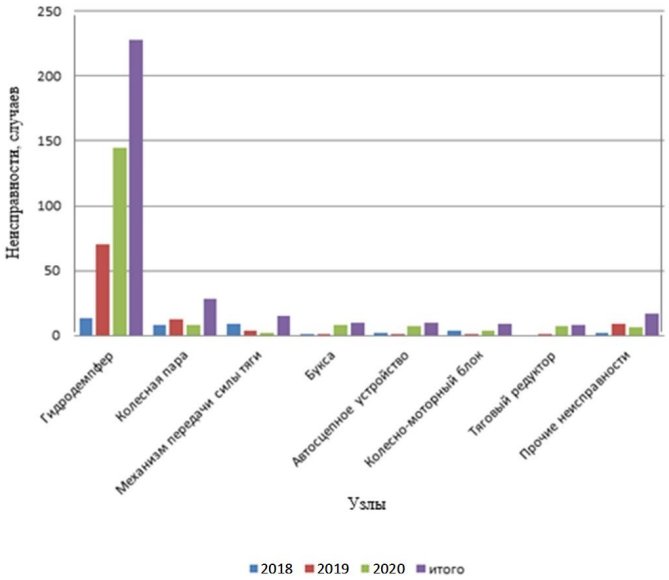


Рис. 3 – Гистограмма неисправностей

Причина появления таких неисправностей как течь масла и ослабление гайки корпуса является особенность конструкции гидродемпфера, что напрямую зависит от соблюдения технологии сборки и проектировки, осуществляемых на заводе-изготовителе. Данные неисправности составляют до 65 % от общего числа дефектов данного узла, что вызвало необходимость более подробного исследования представленных неисправностей и усовершенствования конструкции применяемого гидродемпфера.

Для того, чтобы повысить надежность механической части электровоза ЭП2К, в первую очередь, нужно повысить надежность гидравлического гасителя колебаний. Повысить надежность гидродемпфера можно несколькими способами: – усовершенствовать шарнирные узлы крепления (1 на рис. 4), после чего эти узлы компенсируют углы перекоса ±7°, а также сохранят работоспособность гидравлического гасителя колебаний. Этим же усовершенствованием можно достичь облегчения процесса монтажа гидродемпфера на ЭПС; усовершенствовать шток путем хромирования (2 на рис. 4), которое придаст штоку гасителя очень большую коррозийную стойкость, что существенно повысит эксплуатационные свойства изделия; улучшить устройство клапанно-дроссельной системы (3 на рис. 4), которое обеспечит изменение силовых характеристик в широком диапазоне, за счет применения нового механизма регулирования без конструкционных изменений гидродемпфера; заменить материалы уплотнений (4 на рис. 4), для того, чтобы они обеспечивали высокую герметичность и низкий коэффициент трения деталей. Это позволит повысить износостойкось деталей гидродемпфера, а также рабочие характеристики будут оставаться неизменными, даже при длительной эксплуатации гидравлического гасителя колебаний; обновленная конструкция (5 на рис. 4) сможет обеспечить работу по круговому циклу и позволит быстро и эффективно отводить тепло, возникающее в процессе работы гасителя, следовательно, наиболее эффективно гасить колебания; все детали и рабочие жидкости (7 на рис. 4), при помощи усовершенствования отдельных узлов, применяемых в гасителе, станут обеспечивать эффективную работу гидродемпфера в диапазоне температур от минус 60 до + 60 °С [7].

Рис. 4 – Узлы гидродемпфера, требующие усовершенствования

Качественное демпфирование пассажирских локомотивов позволяет получить целый ряд преимуществ, которые существенно повышают эффективность пассажирских перевозок. Наряду с большой экономией энергии (до 30 % и более) увеличивается сохранность ходовой части транспортного средства и рельсового пути не менее чем в 2 раза, может быть увеличена нагрузка на ось до 25 т., увеличена скорость перевозки пассажиров до 140–160 км/ч на существующих путях, а также уменьшаются компенсационные экологические затраты.

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Бган Е.В., Мишин Я.А.* Исследование причин повреждения подшипников тяговых двигателей электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С. 113-116.

2. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Повышение долговечности опорных цилиндрических роликовых подшипников тягового привода пассажирского электровоза // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 151-154.

3. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Модель эксплуатационного износа сложной технической системы // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2013. № 1 (297). С. 52-57.

4. *Buynosov A., Lapshin V., Smolyaninov A., Dinislamov A.* Calculation of hardening process parameters for locomotive parts // В сборнике: MATEC Web of Conferences. 10th International Scientific and Technical Conference «Polytransport Systems», PTS 2018. 2018. С. 02020.

5. *Буйносов А.П., Головатый А.Т., Исаев И.П., Горский А.В.* Система ремонта локомотивов на конкретных участках обращения // Железнодорожный транспорт. 1992. № 7. С. 40-44.

6. *Буйносов А.П., Наговицын В.С., Боярских Г.С.* Уральский характер (Свердловской дороге - 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8-10.

7. *Буйносов А.П., Наговицын В.С., Трофимов М.Н., Цихалевский В.С., Кузьмин К.А., Ганулин В.Х.* Новый смазывающий состав повышает надежность // Локомотив. 1998. № 7. С. 36-38.

05.13.01

И.А. Волков, Д.С. Зырянова, Л.В. Синицына

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ СТУДЕНТАМИ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ УЧЕБНЫХ ЗРИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Статья посвящена оценке условий освещения студентами высшего учебного заведения при выполнении учебных зрительных работ.

Ключевые слова: *исследование, экспериментальная исследовательская установка, испытуемый, учебная нагрузка, движущийся объект.*

Световая среда высших учебных заведений должна всячески располагать студентов к процессу получения знаний. В оптимальных условиях обучающиеся более сосредоточены, внимательны, работоспособны, комфортнее себя чувствуют. Скорость распознавания информации и усилия, прилагаемые для ее усвоения, напрямую зависят от условий световой среды. Блики, тени, недостаточный уровень освещенности в помещении, искажения цветов – факторы, приводящие к ослаблению внимания, потери концентрации и быстрой утомляемости, что в свою очередь влечет за собой ухудшение зрения, которое всегда являлось серьезной проблемой для большинства студентов.

Учитывая вышесказанное, можно сказать, что работы направленные на исследования условий освещения в учебных помещениях и влияние их на зрительную работоспособность являются актуальными. Благодаря таким исследованиям можно определить оптимальные условия освещения в учебных помещениях для плодотворного учебного процесса и благоприятного самочувствия обучающихся [1].

Исследования проводились в лабораториях учебного корпуса № 16 ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева» в течение учебного семестра, преимущественно в вечернее время. Уровень освещенности на рабочих поверхностях составлял 300 лк [2] В исследованиях принимали участие 12 студентов в возрасте от 20 до 25 лет с нормальным зрением (в том числе и с коррекцией зрения). Предварительно у студентов измерялись давление и частота сердечных сокращений. Для измерений использовались тонометры Omron Comfort HEM-7000-E. В исследованиях использовался приборный комплекс для психофизиологических исследований КПФК-99М «Психомат».

Первое из исследований, оценивающее работоспособность испытуемых, – это «Чувство времени». Оно обеспечивает возможность оценки точности воспроизведения испытуемым предъявляемых интервалов времени. Исследование проводилось следующим образом. Испытуемый должен подтвердить понимание смысла задания, нажав контактным щупом на кнопку «Готов» пульта испытуемого (ПИ). Затем испытуемому предъявляется промежуток времени для запоминания, и он должен был воспроизвести промежуток без пауз несколько раз. Результаты фиксировались в протоколе (таблица 1). Затем испытуемый в течение 3 часов 15 минут проводил занятия по расписанию в учебной лаборатории (компьютерный класс). По завершению учебной работы проводилось повторное исследование «Чувство времени» для утомленного состояния испытуемого. Результаты заносились в протокол (таблица 1).

Таблица 1 – Исследования «Чувство времени»

Показатели	До занятий	После занятий
Средний интервал (мс)	22	2025
Среднее квадратичное отклонение интервала (мс)	75	204
Средний тренд (мс)	1	7
Среднее квадратичное отклонение тренда (мс)	130	421

Следующее исследование – «Внимание по расстановке чисел». Оно обеспечивает возможность оценки произвольного внимания по скорости и точности поиска чисел. Исследование проводилось следующим образом.

Испытуемому предлагается из заполненной в произвольном порядке двузначными числами таблицы выбрать числа в порядке возрастания. По окончанию испытания выдаются значения показателей. Результаты представлены в таблице 2. Затем испытуемый, как и в первом исследовании, в течение 3 часов 15 минут выполнял учебные задания. По завершению учебной работы проводилось повторное исследование «Внимание по расстановке чисел». Результаты фиксировались в протоколе (таблица 2).

Таблица 2 – Исследования «Внимание по расстановке чисел»

Показатели	До занятий	После занятий
Полное время поиска, мс	110366	118436
Среднее время поиска, мс	2299	4964
Среднее квадратичное отклонение времени поиска, мс	2965	2877
Среднее время ответа, мс	2624	1922
Среднее квадратичное отклонение времени ответа, мс	2297	1126
Количество ответов, шт.	48	24
Количество ошибок, шт.	36	18

Исследования «Реакция на движущийся объект» – обеспечивают возможность измерения времени реакции на движущийся объект. Задача испытуемого заключалась в слежении за перемещающимся по окружности на экране компьютера объектом (зелёным кругом) и пометкой совпадений его положения с меткой – красным квадратом – при выполнении некоторых дополнительных условий: студент должен запустить движение объекта, дождаться момента совпадения объекта с меткой и нажать на центральную кнопку ПИ. По окончании испытания выдаются значения показателей. Затем испытуемый в течение 3 часов 15 минут выполнял учебные задания. По завершению работы проводилось повторное исследование. Результаты фиксировались в протоколе (таблица 3).

Таблица 3 – Исследования «Реакция на движущийся объект»

Показатели	До занятий	После занятий
Опережающих реакций, %	0	0
Отстающих реакций, %	0	0
Точных реакций, %	100	100
Число ошибочных реакций, %		0
Среднее по опережающим реакциям, град	0	0
Среднее по отстающим реакциям, град	0	0
Среднее по точным реакциям, град	0,60	0,20
Среднее по точным реакциям, град	0,60	0,20
Среднее квадратичное отклонение по опережающим реакциям, град	0	0
Среднее квадратичное отклонение по отстающим реакциям, град	0	0
Среднее квадратичное отклонение по точным реакциям, град	0	3,01
Среднее квадратичное отклонение по всем реакциям, град	3,47	3,01

Анализ результатов по трем методикам показал, что у испытуемых после выполнения зрительной работы изменились исследуемые показатели. Показатели снизились, но не более, чем на 20 %. А в исследовании «Внимание при расстановке чисел» результаты повысились, но не более, чем на 10 %.

Данные статистической обработки результатов каждого наблюдателя позволили провести совместную обработку данных всех наблюдателей. В таблицах 4, 5 и 6 представлены средние значения (всех наблюдателей) измерений до и после выполнения учебной работы соответственно чувства времени, внимания при расстановке чисел, реакции на движущийся объект.

Таблица 4 – Средние значения исследования «Чувство времени»

Показатели	До занятий	После занятий
Средний интервал, мс	1813	1022
Среднее квадратичное отклонение интервала, мс	493	220
Средний тренд, мс	108	20
Среднее квадратичное отклонение тренда, мс	662	328

Таблица 5 – Средние значения исследования «Внимание по расстановке чисел»

Показатели	До занятий	После занятий
Полное время поиска, мс	187958	149933
Среднее время поиска, мс	7286	6681
Среднее квадратичное отклонение времени поиска, мс	5750	5313
Среднее время ответа, мс	3785	3037
Среднее квадратичное отклонение времени ответа, мс	3506	2926
Количество ответов, шт.	28	23
Количество ошибок, шт.	9	3

Таблица 6 – Средние значения исследования «Реакция на движущийся объект»

Показатели	До занятий	После занятий
Опережающих реакций, %	0	2
Отстающих реакций, %	0	0
Точных реакций, %	100	98
Число ошибочных реакций, %	0,6	0,2
Среднее по опережающим реакциям, град	0	-2,6
Среднее по отстающим реакциям, град	0	0
Среднее по точным реакциям, град	1,1	0,2
Среднее по всем реакциям, град	1,1	0,2
Среднее квадратичное отклонение по опережающим реакциям, град	0	0
Среднее квадратичное отклонение по отстающим реакциям, град	0	0
Среднее квадратичное отклонение по точным реакциям, град	3,2	3,4
Среднее квадратичное отклонение по всем реакциям, град	3,2	3,4

Анализ результатов, представленных в таблицах 4 – 6, позволил заключить, что снижение показателей связано с ростом зрительного утомления. При недостаточном уровне освещенности в помещении утомление развивается быстрее, а вместе с этим падает зрительная работоспособность [3].

Отмечено, что снижение реакции на движущийся объект и чувства времени незначительны. Это говорит о благоприятных условиях освещения в учебном помещении. Снижение времени в ходе выполнения учебной работы связано с характером зрительной работы за монитором компьютера.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о соответствии условий освещения нормативным требованиям, что оказывает благоприятное воздействие на зрительную работоспособность обучающихся, способствуя оптимизации процесса получения и усвоения знаний.

Список литературы

1. *Корсуков А.А.* Актуальные вопросы освещения высших образовательных учреждений / А. А. Корсуков, Л. В.Синицына // В сборнике: Материалы XXI науч-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва: в 3 ч. Составитель А.В. Столяров. Отв. за выпуск П.В. Сенин, 2017. – Изд-во: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск). Ч. 1 : Технические науки – С. 434 – 443.

2. СП 52.13330.2016 (Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*). Естественное и искусственное освещение. – Введ. 2017-05-08. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2016. – 106 с.

3. *Еншина О.Д.* О величине зрительного утомления в общественных помещениях / О. Д. Еншина, М. А. Фаермарк // Светотехника, 1981. – № 9. – С.10 – 12.

05.13.01

В.С. Крылов

ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»,
факультет экономики, менеджмента и информационных технологий,
кафедра прикладной информатики,
Симферополь, vskrylov@gmail.com

СБОРКА АЛГОРИТМА АНАЛИЗА ЛАТЕНТНЫХ ТЕМ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ

В работе представлены результаты применения сборки алгоритма на основе латентного размещения Дирихле (LDA) тематического моделирования для выделения латентных тем из текста научного издания. Научное издание, с определенными авторами и темами разделов, представляет собой коллекцию документов из этих разделов. Выделенные латентные темы визуализируют скрытые связи между разделами научного издания.

Ключевые слова: *тематическое моделирование, латентные темы, латентное размещение Дирихле.*

Научное издание, например, монографию можно представить как коллекцию документов. Тема каждого из них определена автором. Тематическое моделирования позволяет выявить множество латентных или скрытых тем. Они образуют скрытые связи между разделами с определенными темами.

В области тематического моделирование понятие модели определяется в зависимости от научной школы [1]. Тематическая модель коллекции текстовых документов определяет то, к каким темам относится каждый документ коллекции, а также то, какие темы присутствуют в каждом из документов. Соответственно формально тему определяют, как вероятностное распределение слов заданного словаря, например, слов научном издания.

Задача тематического моделирования состоит в извлечении тем из документов. Каждый документ представляется мешком слов – случайной независимой выборкой слов, порожденной обычно небольшим количеством латентных тем. Решение задачи тематического моделирования состоит в восстановлении вероятностных распределений всех тем и определении их доли в документе [1].

Язык R позволяет в короткий срок собирать из пакетов программ алгоритмы анализа текстов не только профессиональными программистами, но и исследователями аналитиками. Использование функций из пакетов программ предоставляет значительно больше возможностей собирать алгоритм для решения конкретной исследовательской задачи, в сравнении с предлагаемыми библиотеками программ. В том числе при необходимости собирать алгоритмы в специализированные библиотеки [2, 3].

Сборка алгоритмов и их реализация во многом похожи на экспериментальные исследования, например, в области физики газового разряда. Экспериментальная установка собирается из готовых компонентов и дополняется нестандартным дополнительным оборудованием.

Процесс анализа начинается с импорта оцифрованного текста книги научного издания. Книги представлены как правило в .pdf формате. Далее в процессе подготовке книга преобразуется в текстовый вектор и далее во фрейм данных. Такое представление позволяет применить алгоритмы частотного анализа токенов текстов (отдельных слов, сочетаний слов, предложений и т.д.). Например, исследовать эмоциональность научных текстов в области инноваций в экономике [3, 4].

Фрейм данных анализируемого текста научной книги является исходным объектом для генерации корпуса документов. В данной публикации анализируется корпус документов, созданный с помощью пакета программ tm языка R [5].

Корпус можно представить, как упорядоченную коллекцию документов, в формате простого текста и сохранены вместе с метаданными на уровне корпуса и на уровне документа. Существует специальное имя для метаданных на уровне документа [5]. Это переменные или функции, которые описывают атрибуты каждого документа.

На рис. 1 представлена схема сборки алгоритма тематического моделирования. Текст издания преобразуются в корпус. То есть в контейнер текстов, где тексты не изменяются. Тексты могут быть извлечены из корпуса для обработки и образования новых объектов. Ключевая идея состоит в том, что корпус остается как исходная справочная копия для того, чтобы решать задачи анализа в соответствии с поставленными целями научного исследования с помощью иных инструментов.

Рис. 1 – Схема сборки алгоритма тематического моделирования

После создания объекта корпус для вычисления тематической модели LDA (латентное размещение Дирихле) из текста документов удаляют стоп-слова, которые имеют относительное, а не содержательное значение. Удаляются все специальные и вспомогательные символы, а также переводят все буквы верхнего регистра в нижней. Полученный объект является исходным для расчета терм документной матрицы (DTM), в которой представлена частота терминов, присутствующих в коллекции документов. Далее в расчет модели включаются только те термины, встречающиеся в теле текстов документов с заданной минимальной частотой [4].

LDA – это математический метод для оценки одновременно: слов из мешка, связанных с каждой темой, а также определение множества тем, представленных в каждом документе. В этой публикации представлены результаты моделирования с помощью LDA объектов из пакета topicmodels [6].

Расчет тематических моделей направлен на определение пропорционального состава количества латентных тем в разделах книги. Задание частоты терминов, изменение значений параметров в расчете LDA объекта можно экспериментально подобрать значения для эффективного анализа результатов моделирования научного издания.

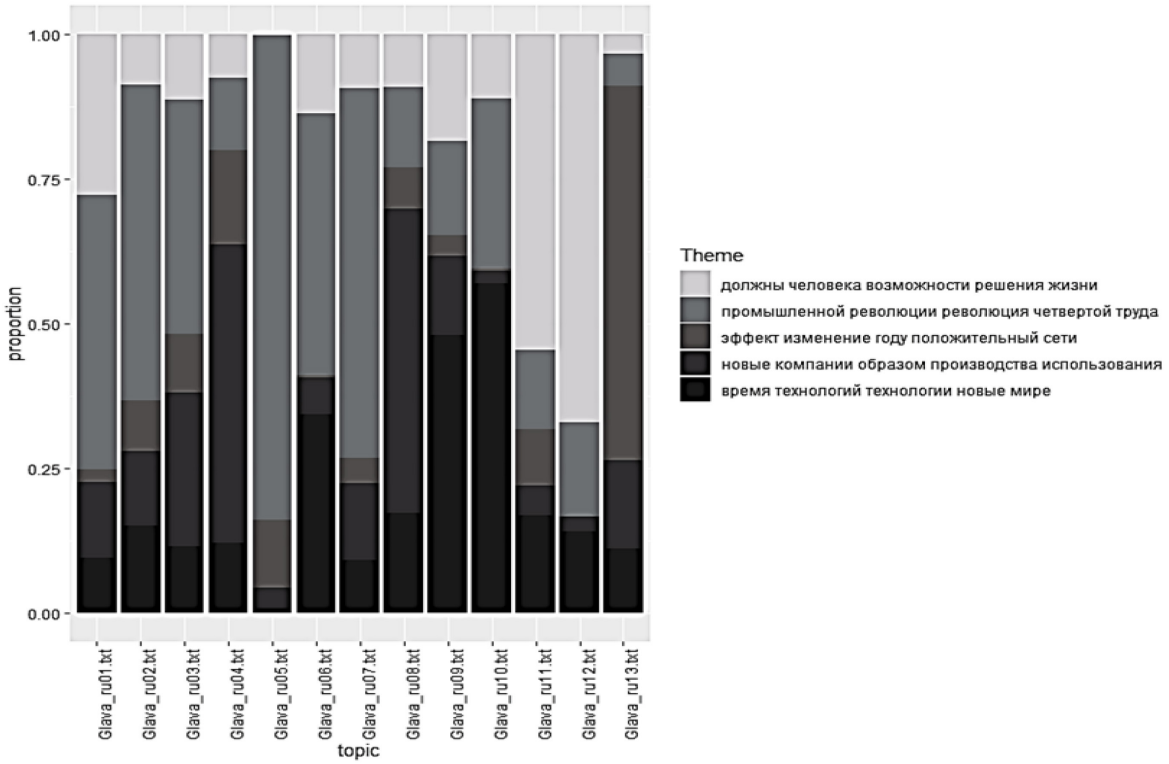


Рис.2 – Распределение скрытых тем между главами и внутри глав книги К. Шваба «Четвертая промышленная революция»

На рис. 2 столбчатая диаграмма визуализирует один из результатов тематического моделирования текста книги К. Шваба «Четвертая промышленная революция» [7]. На диаграмме представлено распределение долей скрытых тем как между главами, так и внутри глав издания.

Таким образом, R язык, платформа позволяет составлять сборки алгоритмов для содержательного анализа текстов, в том числе тематического моделирования. Пакеты программ позволяют решать исследовательские задачи не только профессиональными программистами, но и аналитиками. С их помощью можно собирать системы автоматизированной обработки документов, научных публикаций и анализа их смыслового содержания в возрастающем информационного потоке для ориентации специалистов в решении управленческих, организационных и исследовательских задач.

Список литературы

1. *Daud A., Li J., Zhou L., Muhammad F.* Knowledge discovery through directed probabilistic topic models: a survey // Proceedings of Frontiers of Computer Science in China. – № 4(2), 2010. – P. 280-301. – DOI: 10.1007/s11704-009-0062-y
2. CRAN [Электронный ресурс] / CRAN – Режим доступа: https://cran.r-project.org/
3. *Крылов В.С., Кудрявцев А.А., Абдурайимов Л.Н.* Компьютерный анализ эмоциональной компоненты научных публикаций на примерах в физике и экономике // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, №4(38). – С.449-462. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-449-462.
4. *Silge J., Robinson D.* Text Mining with R. A Tidy Approach. – Shroff/O'Reilly; First edition, 2017. – 196 p.
5. *Feinerer I.* Introduction to the tm Package. Text Mining in R [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://cran.r-project.org/web/packages/tm/vignettes/tm.pdf
6. *Grün B., Hornik K.* Topicmodels: An R Package for Fitting Topic Models [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://bit.ly/3BBCBvK
7. *Шваб К.* Четвертая промышленная революция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://bit.ly/3ePCDqb

05.13.01

Е.С. Кузнецова, А.Ю. Панов д-р техн. наук, С.В. Кузнецов канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р. Е. Алексеева»,
Институт промышленных технологий машиностроения,
кафедра «Теоретическая и прикладная механика»,
Нижний Новгород, lena-kuzn2014@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЙ

В статье рассмотрена возможность и целесообразность применения методикирасчета рисков при разработке и реализации стратегии производственного предприятия на основе применения Байесовских сетей. Программная реализация предлагаемого метода осуществляется с помощью программного пакета Hugin Lite.

Ключевые слова: *стратегия предприятия, стратегия развития, разработка и реализация стратегии предприятия, риски, сети Байеса*.

Стратегия любого производственного предприятия направлена на получение максимальной прибыли за счет создания конкурентоспособной, гибкой и адаптивной производственной среды, которая обеспечивает высокий уровень удовлетворенности потребителя в производимых товарах и услугах, их индивидуализацию, высокую скорость технологического обновления и стабильную занятость. Руководство предприятий стремится приложить все возможные усилия и задействовать доступные ресурсы, чтобы разработанные стратегические решения были успешно реализованы.

При реализации стратегии возникает потребность определения риска её неисполнения, оценки жизнеспособности стратегии, определения ее выигрышных сторон и точек роста.

Производственное предприятие, как любая открытая система, существенно зависит от внешней среды (состояние и поведение рынков, стоимости материалов и энергии, запросов потребителей, действий конкурентов и пр.). Так как существуют неизвестные, непостоянные, либо плохо проанализированные факторы, руководству приходится приниматься решения в условиях неопределенностей. Следовательно, наличие неопределенностей накладывает существенный отпечаток на реализацию и выработку стратегий.

Деятельность современного производственного предприятия невозможна без анализа и управления рисками в ходе определения дальнейшего развития на этапах инициирования, разработки и принятия управленческих решений. Существуют различные способы минимизации рисков. В основном, мероприятия направлены на снижение вероятности возникновения рисков или снижения размеров возможного ущерба.

В данной работе предлагается использовать иной подход к оценке рисков, основанный на применении сетей Байеса.

Целью проводимых исследований является создание инструмента на основе Байесовских сетей доверия, проведение моделирования с его помощью, иподтверждения его эффективности в сфере стратегического менеджмента и области принятия управленческих решений.

В настоящее время Байесовские сети доверия успешно применяются во многих сферах деятельности, для которых характерно наличие неопределенностей, неполного понимания или отсутствия взаимосвязей между рассматриваемыми объектами (например, в медицине – создание генетических сетей и структур белков, при обработке изображений и данных).

Однако, как показывает анализ отечественных и зарубежных научных источников, данный подход крайне редко применяется в области стандартизации и управлении качеством продукции, рассмотрении методов принятия решений и оценке рисков. Отмечается также редкое применение и вероятностного подхода в производстве, в машиностроении в частности.

Нами предлагается применить Байесовские сети доверия для оценки производственных рисков, и рисков, связанных с принятием решений и их математическим обоснованием, описанием и предсказанием возможных исходов. В качестве базовой стратегической цели при проведении исследований выбрана цель «повышения производительности труда на 20%». Разработка стратегии базируется на основе имеющихся данных о машиностроительном предприятии, выпускающем продукцию мелкими сериями.

В рамках рассматриваемой стратегической цели предприятия– необходимости увеличения производительности, возможно применение общеинженерных и специальных методов управления качеством, например, дерева стратегий и тактик Е.Голдрата. Для этого выделяются и формулируются возможные тактики (наборы действий по достижению цели) для разных уровней рассмотрения (уровень предприятия, подразделения, отдела, цеха) с разной степенью детализации и с последующим отбором одной альтернативы из возможных на основе применения практически любого из известных методов оценки рисков.

В дополнение к данным методам, рассмотрим более подробно способ использования Байесовских сетей доверия для возможности оценивать риски. Позволяя снижать риски, связанные с неопределенностью, Байесовские сети доверия могут входить в состав систем поддержки принятия решений. «Байесовские сети доверия имеют вероятностную семантику, используются для рассуждений в условиях неопределенности и все чаще применяются в диагностике и предсказании наиболее вероятных состояний оборудования или процесса, применяются и при выборе оптимального управленческого решения, с возможностью предсказать исходы».[3] Байесовские сети доверия позволяют моделировать знания с неопределенностью. Любой из методов оценки рисков имеет те или иные недостатки, которые приходится учитывать при определении его приемлемости. Также важна легко осуществляемая воспроизводимость, прослеживаемость промежуточных результатов, и возможность осуществления верификации результатов и процессов.[3]

Аппарат Байесовской сети доверия позволяет комбинировать имеющиеся статистические данные о характеристиках интересующих нас параметров в дополнение к экспертной информации, которую предоставляют специалисты. При помощи сетей появляется возможность моделировать вероятность возникновения нескольких событий, например, отказов, или негативных последствий. Байесовские сети доверия строятся на основании экспертной информации; однако, информация и статистические данные могут не всегда быть корректно получены, собраны и сохранены. Данная сеть считается простейшим инструментом с искусственным интеллектом, отсюда можно выделить еще одно достоинство–возможность обучения на основании вновь поступающих данных. Допустимо начинать строить модель, понимая, что знания о ней неполные, и её структура будет совершенствоваться по мере дополнений данными.

Байесовские сети доверия дают понятное объяснение выводов, полученных на их основе, допускают логическую интерпретацию и модификацию структуры отношений между переменными задачи, а также позволяют в явной форме учесть априорный опыт экспертов в соответствующей предметной области.

Одной из классических проблем, с которой сталкивается предприятие в процессе разработки и реализации стратегии, является не достаточный анализ и оценка возможных рисков при решении задач, при выполнении требований тактик нижних уровней стратегии.[1] Из этого следует и следующая проблема, заключающаяся в том, что если какие-либо риски и брались во внимание и оценивались на машиностроительных предприятиях, то, преимущественно, с финансовой точки зрения[2]. Проводилась оценка: принесет или нет разработанная стратегия необходимую прибыль.

С оценкой рисков может помочь построение Байесовской сети доверия, которая графически изображает учтенные в ней переменные и их вероятностные взаимосвязи. Её следует понимать как степень уверенности в определенном событии в противоположность классическому подходу, основанному на объективных свидетельствах. Немаловажным обстоятельством выбора сети Байеса в качестве «помощника» при разработке стратегии послужило и то, что сети могут применяться для изучения причинных связей, углубления понимания проблемной области и прогнозирования последствий вмешательства в систему, т.к. вмешательства в систему, внешние воздействия могут служить в качестве входных данных, необходимых для применения сетей.

Основными этапами проведения оценки рисков с использование сети Байеса являются: определение переменных системы; определение причинных связей между переменными; определение условных и априорных вероятностей; добавление объективных свидетельств к сети; обновление доверительных оценок; определение апостериорных доверительных оценок. [3] Нас интересовала возможность применения Байесовской сети доверия как инструмента оценки приемлемости той или иной возможной альтернативы, которые должны быть сформулированы на более ранних этапах разработки стратегии. С помощью данного инструмента мы определяем перечень действий, выполнив которые будем иметь наибольшую вероятность достижения стратегической цели.

Расчеты Байесовской сети проводились с использованием программного пакета Hugin Lite, т.к. данный продукт позволяет существенно сократить время проведения расчетов, и дает возможность провести моделирование сети в зависимости от набора рассматриваемых (входящих) параметров.

Компания – разработчик данного ПО специализируется на разработке инструментов поддержки страхования, в области прогнозирования и прогнозной аналитики (в банковском деле, в производстве и пр.).[4][5]

Продукция компании Hugin применяется в более чем 25 странах, особенно распространена и популярна в странах Скандинавии и Восточной Европы. Её успешно используют в направлениях финансов, производства, медицины, телекоммуникаций такие известные корпорации, как ABB Industrial, Grundefos, Nykredit, Finance for Danish Industry, IBM,GlaxoSmithKline[6]. Программный пакет Hugin Lite не имеет интерфейса на русском языке, поэтому, при создании сетей и моделировании наименование всех переменных было транслитерировано и записано латиницей.

При построении Байесовской сети доверия для возможности оценить риск, связанный с неуспешной реализацией стратегии «Повысить производительность», за основу взяты стратегические цели необходимых уровней. Построенная сеть, характеризующая поэтапное рассмотрение тактик реализации стратегии, представлена на рисунке 1.

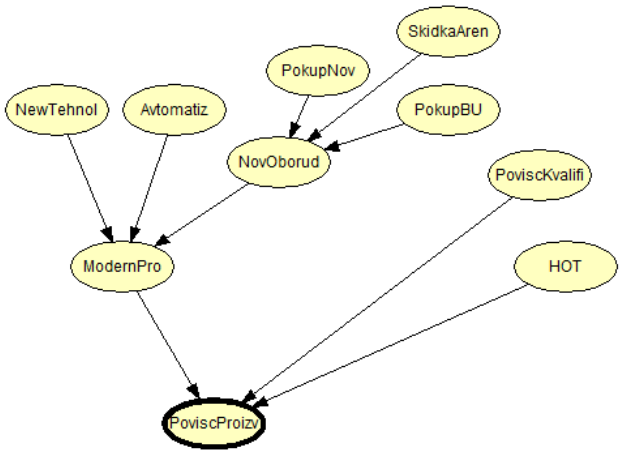


Рис. 1 – Байесовская сеть

В начале работ по стратегическому планированию было установлено, что возможность успешного «Повышения производительности» зависит от следующих переменных (тактик): Модернизации производства, Повышения квалификации, Научной организации труда (в программе обозначено «НОТ»). Считаем, что каждая вершина (переменная) может находиться только в одном из 2 возможных состояний:

– научная организация труда: «Внедрена» или «Не внедрена»;

– повышение квалификации (проводилось): «Да» или «Нет»;

–модернизировано производство: «Удовлетворительно» или «Неудовлетворительно».

Именно от успешного осуществления данных событий зависит, удастся ли достигнуть необходимого повышения производительности.

Проводилось моделирование представления о событиях с применением Байесовской сети доверия, в которой содержалось четыре основные вершины событий: Повышение производительности, Научная организация труда, Повышение квалификации и Модернизация оборудования. Модернизация оборудования зависит от ряда переменных: Новые технологии, Автоматизация, Новое оборудование, которые так же отображены в окне построения сетей.

В основе Байесовского подхода к работе с неопределенностями лежит понятие условной вероятности, и соответствующая формула:

$$P(A|B) = X\,, \tag{1}$$

где A и B – события, X – вероятность.

После построения сети (см. рисунок 1), необходимо задать таблицы условных вероятностей для каждой из вершин. Таблицы условных вероятностей являются количественным описанием сети. Заполнение таблиц производится на основании данных, полученных от экспертов.

Таблица – Пример заполнения таблиц условных вероятностей

P(Научная организация труда (НОТ)	
Состояние «Vnedrena» («Внедрено»)	Состояние «NeVnedrena» («Не внедрено»)
0,7	0,3
P(Повышение квалификации)	
Состояние «Da»	Состояние «Net»
0,5	0,5
P(Модернизация производства)	
Состояние «Uspeh» («Успешно»)	Состояние «NeUspeh» («Не успешно»)
0,95	0,05

Аналогично задаются вероятности для всех вершин (переменных) и комбинаций их состояний, которые в программе будут иметь следующий вид.

ModernPro	Udovl				NeUdovl			
PoviscKvalific	Da		Net		Da		Net	
HOT	Vnedrena	NeVnedrena	Vnedrena	NeVnedrena	Vnedrena	NeVnedrena	Vnedrena	NeVnedrena
RealizStratUs	0.95	0.8	0.8	0.5	0.07	0.05	0.0513834	0.09
NeRealizStrat	0.05	0.2	0.2	0.5	0.93	0.95	0.948617	0.91

Рис. 2 – Пример представления таблицы условных вероятностей

Если необходимо оценить вероятность одновременного происхождения двух и более событий, в основе расчетов в программе лежит формула полной вероятности (произведение вероятностей).

$$P(A,B) = P(A|B) \times P(B) \tag{2}$$

Считаем, что для того, чтобы добиться повышения производительности, руководством предприятия принято решение одновременно проводить мероприятия по повышению квалификации сотрудников, внедрять основы научной организации труда и модернизировать оборудование.

При этом, имеются данные, что успешная модернизация оборудования (вероятность 95%успеха) достижима в случае одновременного применения новой технологии, автоматизации и обеспечении цехов новым оборудованием. Результаты программного расчета (реализация стратегии успешна, и стратегия не реализована) выведены в окне состояний и представлены на рисунке 3. Было получено, что вероятность успешной реализации стратегии- повышения производительности - составит 56,05%.

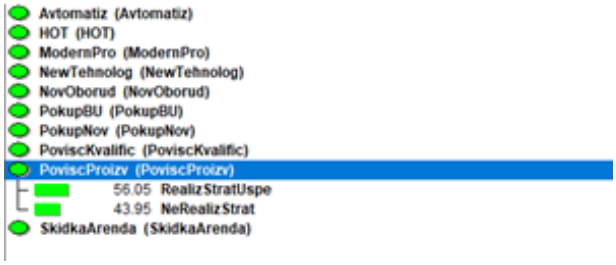


Рис. 3 – Вероятность повышения производительности при применении всех доступных методов

Далее в программе воспользуемся функцией распределения вероятностей, но выбрав при этом только одну из переменных–Модернизацию производства (она станет выделена красным маркером на окне состояний). Моделируем ситуацию исходя из предположения, если бы руководство предприятия с целью повышения производительности направило усилия и ресурсы только на модернизацию производства. В результате было получено, что вероятность успешной реализации стратегии при выборе всего одной из возможных тактик – модернизации производства, увеличивает с 56,05% до 80,75% вероятность успеха.

Рис.4 – Оценка вероятности повышения производительности при выборе тактики, основанной на модернизации производства

Из результатов моделирования видно, что одновременное стремление реализовать и решать задачи на основе нескольких тактик может негативно отразиться на результате, и привести к противоположным от требуемых результатам. Причину данного результата мы видим в рассредоточении ресурсов вместо концентрации и полной реализации одной, наиболее предпочтительной тактики. Получено, что есть альтернативы, которые могут привести к результату или с меньшими затратами, или с большей вероятностью успеха, либо другими критериями.

Кроме того, сети Байеса способны решить и задачу по определению наиболее вероятной комбинации состояний (выбору одной, наиболее предпочтительной тактики) на основе многочисленных критериев, которые могут быть заданы диапазонами значений на основании поступления обновленной информации.

Положительным (оптимальным) считаем сценарий или комбинацию состояний, при котором нас удовлетворяет большинство из параметров. Например, вероятность успеха некоторого события (ряда мероприятий) составляет определенную вероятность, но на его проведение затрачено несоизмеримо больше материальных и временных ресурсов.

Проведя моделирование, было установлено, что выбор всего лишь одной тактики, основанной на модернизации производства, может оказаться необходимым и достаточным для успешной реализации стратегии.

Выводы

1. В статье предложен и рекомендован к использованию подход к оценке рисков на разных этапах разработки и реализации стратегии производственного предприятия, основанный на применении Байесовских сетей доверия.

2. Практическая значимость предлагаемого подхода подтвердилась при сопоставлении результатов моделирования управленческих решений с реальными (фактическими) решениями и результатами деятельности ряда Нижегородских предприятий.

3. Применение сетей Байеса перспективно в качестве самостоятельного инструмента поддержки и принятия инженерных решений, решений автоматизации, оптимизации и риск-менеджмента. О перспективах говорит и опыт применения самообучающихся сетей искусственного интеллекта на основе Байесовских сетей доверия на многих успешных мировых предприятиях.

4. Рекомендуем применять данный метод в качестве «помощника» при принятии управленческих и стратегических решений, решений по управлению персоналом, вопросов социальной политики с их объективной многокритериальной оценкой.

Список литературы

1. *Ансофф И.* Стратегическое управление. Под ред. проф. Л.А. Данченок. Учебник. - М.: ООО «Маркет ДС Корпорейшн», 2004

2. *Бандурин А.В., Чуб Б.А.* Стратегический менеджмент организации. Знание. Понимание. Умение. —№ 4. - 2007.

3.*Уродовских, В.Н.* Управление рисками предприятия: учебное пособие/ В.Н. Уродовских— М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2011. - 168 с.

4. HUGIN EXPERT A/S [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.hugin.com/—(Дата обращения 10.07.2021)

5. *Madsen A.L.* Prediction Parts Demand in the Automotive Industry. An Application of Probabilistic Graphical Models, Proceedings of the first Bayesian Application Modeling Workshop/ A.L. Madsen, J. Gebhardt, H. Detmer// Computational Intelligence in Automotive Applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2003. pp 79-88.

6. HUGIN EXPERT Customers [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.hugin.com/index.php/customers-2/—(Дата обращения 10.07.2021)

05.13.01

Р.И. Нургалиев, А.А. Василец, В.И. Баязитова,
А.Ж. Сахабутдинов, А.А. Кузнецов, А.Н. Пикулев, В.В. Садчиков

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

АЛГОРИТМ ТРОЙНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ СВЕРХУЗКИХ СТРУКТУР РЕЗОНАНСНОГО ТИПА В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

В работе представлены результаты синтеза алгоритма зондирования сверхузких структур резонансного типа (ССРТ) в оптическом волокне (ОВ) с помощью симметричного двухполосного тройного векторного анализатора. На примере гауссовых волоконных брэгговских решеток (ГВБР) показано, что реализация алгоритма позволяет осуществить характеризацию их амплитудно-частотных характеристик с разрешающей способностью в 2-20 фемтометров. Данная характеристика определяется модуляционным разносом боковых частот зондирующего излучения на 0,12-1,2 МГц от несущей, что дополнительно позволяет проводить прием и обработку информационных сигналов в узкой полосе и на промежуточной частоте, имеющей максимальное значение 2,4 МГц (разнос между боковыми частотами) с повышением чувствительности и отношения сигнал/шум измерений.

Ключевые слова: *радиофотоника; оптический векторный анализатор; гауссова волоконная брэгговская решетка; амплитудная модуляция несущей; двухполосный тройной зондирующий сигнал*

Введение. Классические подходы оптического спектрального анализа очень дороги и используются только в уникальных проектах, а иногда они не удовлетворяют требованиям по разрешающей способности измерений и получению фазовой информации [1-2]. В связи с этим необходимо исследовать возможности построения оптических векторных анализаторов с использованием доступной элементной базы, обладающих высокой спектральной разрешающей способностью и отличающихся простотой исполнения.

В данной статье рассмотрим метод, близкий к методам [3-5], который основан на предположении, что можно сформировать тройное колебание с фиксированной боковой частотой, лежащей в радиодиапазоне из оптического одночастотного излучения (с подавленной несущей). Далее при векторном анализе вычисляется только амплитуда огибающей биений на фиксированной боковой и удвоенной радиочастоте. Фазовая спектральная характеристика восстанавливается из амплитудной [6].

Теоретическое обоснование метода. В соответствие с задачей формирования трехчастотного симметричного излучения, амплитуды гармоник второго порядка должны быть много меньше амплитуды первой гармоники [7-8], следовательно, необходимо максимизировать разность $J_1(\Delta\varphi) - J_2(\Delta\varphi)$, который достигается при $\Delta\varphi$ =0,1. Выражение для симметричного трехчастотного оптического спектра принимает вид:

$$E_{\text{out}}(t) = \frac{\sqrt{2}}{2} E_0 \left\{ \begin{array}{c} 0.97\sin(\omega t) + 0.2\left[-\cos(\omega-\Omega)t + \cos(\omega+\Omega)t\right] + \\ +0.02\left[\sin(\omega-2\Omega)t + \sin(\omega+2\Omega)t\right] \end{array} \right\}. \quad (1)$$

Результирующий спектр, полученный в программном пакете OptiSystem 7.0, и полученный в результате численного моделирования, при указанных параметрах модуляции приведены на рис. 1.

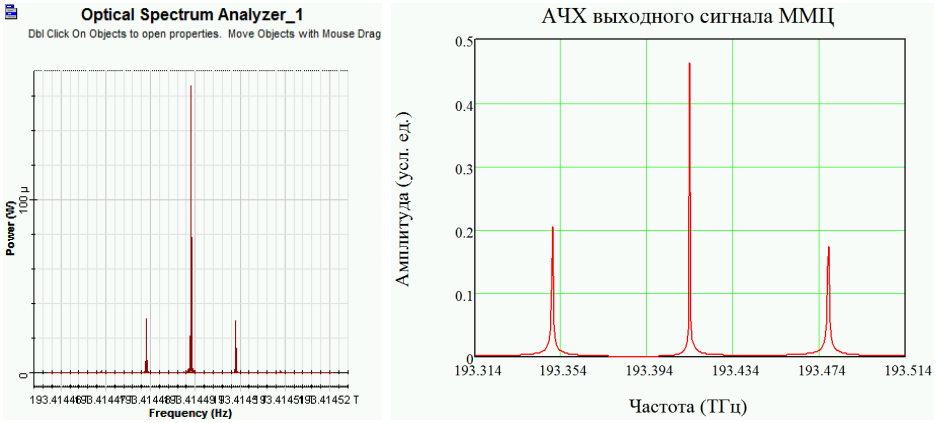


Рис. 1 – Трехчастотный симметричный оптический спектр при Δφ = 0,1: результат моделирования в OptiSystem 7.0 (а) и численного моделирования (б)

Как можно видеть из рис. 1, полученный спектр полностью удовлетворяет поставленной задаче, спектр симметричен как по амплитуде, так и по разностной частоте. Разности начальных фаз между спектральными составляющими постоянны.

Алгоритм реализации тройного зондирования. Примем разнос частот тройного зондирования равным для обеих боковых частот 10 фемтометрам. Амплитуды боковых составляющих также равны. Зададим фазовые зависимости для боковых и несущей $\varphi_L(\omega)$, $\varphi_C(\omega)$ и $\varphi_R(\omega)$ в виде зависимости близкой к теоретической:

$$\mathrm{Phase}(\omega,u,v) = -\tanh\left((\omega-\omega_{Br})\cdot v\right)\cdot e^{-\frac{(\omega-\omega_{Br})^2}{u}}, \qquad (2)$$

где ω – частота, *u* и *v* – параметры фазовой кривой.

Амплитудно- и фазо-частотная характеристики (АЧХ и ФЧХ) исследуемой ГВБР приведены на рис. 2.

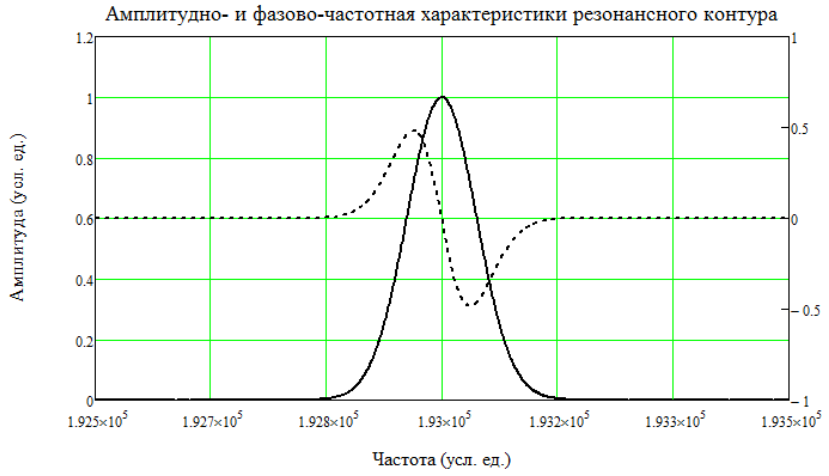


Рис. 2 – Характеристики исследуемой ГВБР:
АЧХ – сплошная линия; ФЧХ – пунктирная линия

Критерий попадания тройного зондирующего излучения в диапазон отклика ГВБР, приведен на рис. 3. Как хорошо можно видеть, в пределах исследуемой ГВБР критерий удовлетворяют условию постоянства значений, а за пределами контура наблюдаются непредсказуемые осцилляции, по которым можно сделать вывод о выходе излучения из них.

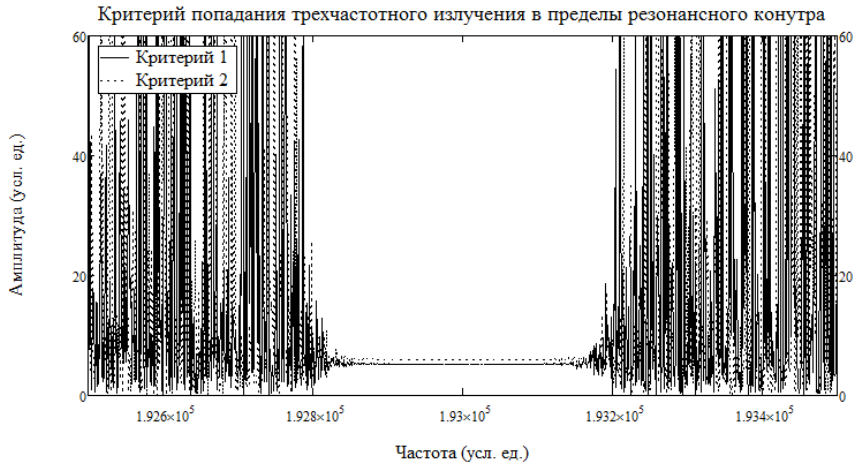


Рис. 3 – Критерии попадания тройного зондирующего излучения в диапазон ГВБР

На рис. 4 приведена восстановленная форма ГВБР методом тройного зондирования с равными разностными частотами и амплитудами. Малая относительная погрешность свидетельствует о перспективности построения таких измерительных систем, поскольку формирование симметричного трехчастотного излучения является наиболее простым и надежным.

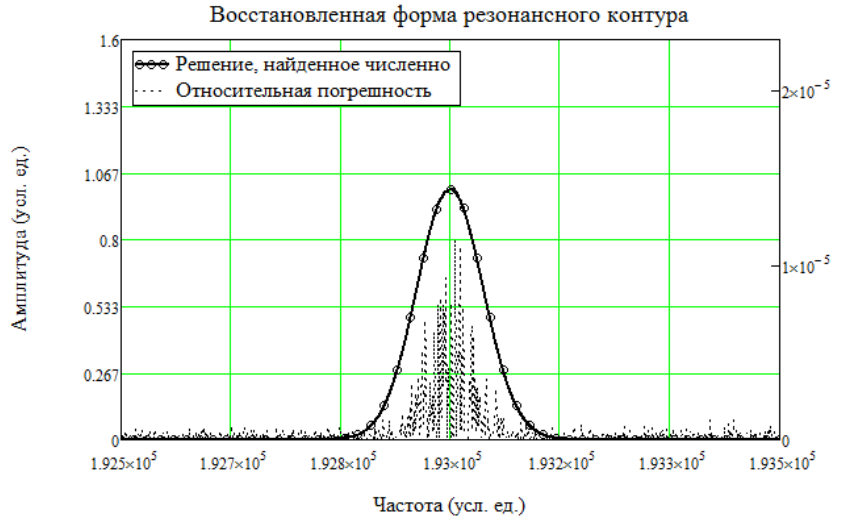


Рис. 4 – Восстановленный контур ГВБР: кривая с маркерами – контур; тонкая линия – относительная погрешность определения формы контура (ось справа)

Однозначность определения амплитуд является следствием того, что мы предполагаем сохранение отношений амплитуд сканирующего излучения в виду малого разноса его частот [9-10].

Заключение. Таким образом, по полученным уравнениям огибающей биений между амплитудами боковых составляющих и несущей, а также собственно боковых, прошедших через ГВБР можно осуществить характеризацию АЧХ и восставновить ФЧХ сверхузкополосных решеток с разрешающей способностью в 2-20 фемтометров. Данная характеристика определяется модуляционным разносом пары частот зондирующего излучения на 0,12-1,2 МГц от несущей, что дополнительно позволяет проводить прием и обработку информационных сигналов в узкой полосе и на промежуточной частоте, имеющей максимальное значение до 2,4 МГц (разнос между боковыми частотами) с повышением чувствительности и отношения сигнал/шум в 3-7 раз.

Список литературы

1. *Morozov O. et al.* Ultrahigh-resolution optical vector analyzers // Photonics. 2020. Vol. 7. № 1. P. 14.
2. *Морозов О.Г., Папазян С.Г., Сахабутдинов А.Ж.* Электрооптические векторные анализаторы спектра: возможности, элементная база и перспективы развития // Фотон-экспресс. 2019. № 6 (158). С. 79-80.
3. *Нургалиев Р.И. и др.* Алгоритм парного зондирования сверхузких резонансных структур в оптическом волокне // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 7. С. 44-46.
4. *Губайдуллин Р.Р. и др.* Алгоритм зондирования высокодобротных волоконно-оптических структур // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 6. С. 16-19.
5. *Заболотный В.А. и др.* Алгоритм формирования двухчастотного зондирующего излучения для мониторинга симметричных высокодобротных волоконно-оптических структур // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 6. С. 20-23.
6. *Muriel M.A. et al.* On the measurement of FBG phase responses and the applicability of phase reconstruction methods // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2011. Vol. 60. № 14. P. 1416-1422.
7. *Айбатов Д.Л., Морозов О.Г., Садеев Т.С.* Преобразование спектра оптического излучения в двухканальном модуляторе Маха-Цендера и ROF-фильтр на его основе // Нелинейный мир. 2010. Т. 8. № 5. С. 302-309.
8. *Sadeev T.S., Morozov O.G.* Investigation and analysis of electro-optical devices in implementation of microwave photonic filters // Proc. of SPIE. 2012. V. 8410. P. 841007.
9. *Василец А.А. и др.* Симметричный векторный анализатор для характеризации спектральных параметров оптических высокодобротных структур // Фотон-экспресс. 2020. № 7 (167). С. 15-21.
10. *Морозов О.Г. и др.* Оптический векторный анализатор на основе двухполосной модуляции с подавленной несущей и волоконной брэгговской решетки с фазовым сдвигом // Фотон-экспресс. 2018. № 5 (149). С. 24-30.

05.13.01

А.А. Хохрин

Нижегородский Государственный Технический Университет им Р.Е. Алексеева,
Арзамасский Политехнический институт,
кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств,
Арзамас, aleksey.a.ho@gmail.com

ТРЕХМЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛИЦА ИЗ ОДНОГО 2D-ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И БАЗЕЛЬСКОЙ МОДЕЛИ ЛИЦА

В статье предлагается эффективный алгоритм трехмерной реконструкции лица. Метод состоит из трех основных этапов: извлечение отличительных особенностей, расчет глубины и создание трехмерного изображения с использованием Базельской модели лица. Отличительные особенности извлекаются с помощью масштабно-инвариантного преобразования признаков, которые используются для трехмерной реконструкции лица на более позднем этапе. Второй этап включает вычисление глубины, чтобы добавить изображению третье измерение. Многомерное нормальное распределение помогает восполнить третье измерение, которое дополнительно настраивается с помощью техники распознавания форм по затенению. Результаты экспериментов показывают, что предложенный метод является надежным, имеет высокую точность восстановления трехмерной модели лица, характеризуется низким временем вычислений по сравнению с другими современными методами.

Ключевые слова: *трехмерная реконструкция лица, многомерное нормальное распределение, извлечение признаков.*

3D-реконструкция лица в последнее время активно применяется в области компьютерного зрения, обработки изображений, медицине, робототехнике, безопасности. Задача реконструкции является актуальной научно-технической задачей, поскольку требования в достигаемой точности и производительности методов постоянно растут.

Существует множество методов 3D-реконструкции лица. В одном из методов проекция 2D-ориентиров совмещается с 3D-ориентирами и оптимизируется для получения 3D-граней. Известно, что 2D-распознавание лиц чувствительно к позе и освещению. Авторы работы [1] использовали технику затенения для реконструкции 3D-поверхности. Суть метода в следующем: при изменении ориентации поверхности изменяются затенение и интенсивность пикселя изображения. Для использования метода распознавания формы по затенению (SFS) необходимо понимать принцип, по которому в нём формируется изображение. SFS рассматривает лицо как поверхность Ламберта, яркость которой не зависит от угла зрения.

Некоторые способы реконструкции 3D-изображений основаны на методах статистического обучения. Эти методы направлены на получение ранее неизвестных данных из исходных 2D-изображений для формирования 3D-реконструкции. К их недостаткам относятся необходимость использования нескольких входных изображений и ручная обработка данных. Методы нейронных сетей имеют хорошую производительность, однако требуют высоких вычислительных мощностей и использование большого набора фронтальных изображений. Применение вероятностных методов, например, алгоритма максимизации ожиданий, позволило применять также изображения лица в профиль.

Авторы работы [2] предложили использовать симметрию лица, чтобы получать 3D-реконструкцию по одному изображению. С использованием векторов текстуры и формы лица получают морфируемые модели, которые помогают создать 3D-реконструкцию. В данной работе также используется метод морфируемой модели.

В работе [3] была описана система построения 3D-модели лица на основе использования сверточной нейронной сети, сравнение с которой будет также рассмотрено.

В первую очередь, преимущество разработанного метода – это высокая вычислительная эффективность, так как в качестве входных данных используется только одно 2D-изображение. Благодаря низким затратам на вычисление и высокой скорости обработки метод может быть использован в системах реального времени. Метод также выделяет на изображении отличительные масштабно-инвариантные особенности (SIFT-признаки), что повышает эффективность реконструкции.

Глубина изображения вычисляется с помощью многомерного нормального распределения, а затем применяется техника затенения, что обеспечивает точное 3D-выравнивание лица. Предложенный метод позволяет поворачивать плоскость изображения на угол до 90 градусов. Данный способ получения 3D-изображения полностью автоматизирован.

Предлагаемый метод состоит из трёх этапов: извлечение особенностей, расчет глубины и создание 3D-изображения. Используется одно 2D-изображение.

1. Извлечение особенностей.

Этот этап состоит из двух шагов. На первом шаге извлекаются такие черты лица, как нос, глаза, губы и рот и т.д., а на втором шаге для обнаружения отличительных признаков используется SIFT.

Сначала 2D-изображение сканируется для распознавания лица методом Виолы-Джонса и на лице локализуются 68 ориентиров.

Первый шаг извлечения отличительных признаков методом SIFT – обнаружение точек интереса методом разности гауссианов. Затем определяется их масштаб и положение; в направлении локального градиента им присваиваются несколько векторов направления. Измеряются градиенты локальных изображений. Метод распознает множество особенностей лица, которые плотно покрывают всё изображение.

2. Оценка глубины.

Оценка глубины (расстояние между камерой и поверхностью) состоит из двух частей: многомерное нормальное распределение и метод затенения формы. Двумерному изображению присваивается третье измерение (глубина), тогда распределение имеет вид:

$$G_a[a|\mu,\sigma] = \frac{1}{(2\pi)^{S/2}|\sigma|^{1/2}} e^{1/2(a-\mu)^T\sigma^{-1}(a-\mu)} \quad (1)$$

Здесь μ – среднее значение в данных, σ – ковариация, которая рассчитывается путем оценки максимального правдоподобия глубины.

Для упрощения вычислений используется метод главных компонент (МГК). Метод находит ковариационную матрицу с помощью собственного разложения. Сперва МГК вычитает из данных среднее значение μ. Ковариационная матрица находится путем разложения по сингулярным значениям (SVD) согласно формулы

$$I = I^T I \quad (2)$$

Далее по условному распределению определяется глубина:

$$P\left(\frac{a_n}{a_m}\right) = G_a(\mu_n + \sigma_{nm}\sigma_{mm}^{-1}(a_m - \mu_m), \sigma_{nn} - \sigma_{nm}\sigma_{mm}^{-1}\sigma_{mn}) \quad (3)$$

Глубина определяется методом наименьших квадратов (WLS)

$$D = argmin\left\{\sum_{i\in\Omega^0}(D_i - D_i^o)^2 + \alpha\sum_{i\in\Omega}\sum_{i\in N(i)}\omega_{i,j}^c\,(D_i - D_i)^2\right\} \quad (4)$$

Здесь D_i^o – это измерения, которые отображаются как глубина, N(i) – окрестности I для квадратного участка, который может быть установлен на нужный размер, и $\omega_{i,j}^c$ зависит от C=$\{R,G,B\}$ или C=$\{Y,U,V\}$ (различные каналы цветного изображения).

Для поиска большего количества деталей на изображении используется технология SFS. Изображение рассматривается как поверхность, которая рассеивает свет с поверхностью Ламберта. Для реконструкции поверхности используется функция отражения Пентленда:

$$I_{(x,y)} = \frac{p\cos\tau\sin\alpha + q\sin\tau\sin\alpha + \cos\alpha}{(p^2+q^2+1)^{1/2}} \quad (5)$$

Здесь p и q – это наклоны поверхности, τ – наклон источника света, α – угол, который ось z образует с вектором источника света. Так уравнение 4 преобразуется в такую форму, которая поможет связать его с трехмерной поверхностью. Функция Пентленда берет ряд Тейлора и расширяет его функцию отражения. Она распространяет информацию вдоль затененной поверхности, которая начинается с точек с неизвестной ориентацией поверхности, и оценивает форму по локальным изменениям интенсивности.

3. Создание 3D-изображения.

После выполнения вышеуказанных шагов, рассчитанные данные сопоставляются с трансформируемой трехмерной моделью, в качестве которой использовалась Базельская модель лица (BFM) [4]. Для установления соответствия нужно минимизировать сумму разностей квадратов пикселей между обработанным изображением и BFM. С помощью стохастического алгоритма Ньютона сумма записывается как:

$$E_{I,approx} = \sum_k \left\| I_{input}(p_{x,k}, p_{y,k}) - I_{mod\ el,k} \right\|^2 \quad (6)$$

Здесь $p_{x,k}, p_{y,k}$, определяют положение плоскости изображения. Это уравнение позволяет расположить (выровнять) изображение на Базельской модели.

Результаты

Метод был протестирован на открытой базе изображений AFLW2000-3D, а также была произведена оценка изображений, полученных из разных источников, в том числе из [5].

Заметно, что 3D-реконструкция предложенным методом более похожа на исходное изображение, чем результаты работы [3] и [6]. Заметно более четкое изображение носа, морщин, ямочек. В таблице 1 представлены количественные результаты оценки параметров изображений.

Таблица 1 – Расчет погрешностей восстановленных изображений

Величины	Лицо 1	Лицо 2	Лицо 3	Лицо 4
Среднеквадратичное отклонение	0.8866	0.8689	1.6468	0.8560
Отношение интенсивности пика к шуму	27.275	29.433	28.523	35.626
Среднее отклонение	0.4035	0.3790	0.3821	0.2043
Стандартное отклонение	0.3277	0.3487	0.3348	0.4163
Индекс структурного сходства (SSIM)	0.9906	0.9881	0.9283	0.9941

Среднеквадратичная ошибка (RMSE) очень низкая, а значение отношения интенсивности пика к шуму достаточно высокое. Высокий индекс сходства изображений показывает, что восстановленное изображение похоже на эталонные изображения. Сравнение полученных результатов с данными из работ [3] и [7] показано в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение методов [3], [7] с предложенным методом

Метод	SSIM	Отклонение, %	Среднее отклонение, %	Стандартное отклонение, %
[3]	0.9331	4.73	1.903	0.883
[7]	0.9696	3.04	1.647	0.856
Предложенный	0.9864	1.36	0.499	0.307

Предложенный метод не требует ручной разметки ориентиров, что облегчает и ускоряет работу. В будущем метод будет усовершенствован за счет расширения базы данных изображений. Также он будет работать с различными выражениями лица и использован для целей распознавания лиц.

Заключение

В этой статье предлагается автоматический метод восстановления 3D-изображения по одному 2D-изображению в три этапа. Сначала извлекаются черты лица и отличительные особенности (техника SIFT). Затем глубина изображения определяется с помощью многомерного нормального распределения. Для поиска деталей с высоким разрешением используется метод затенения формы. Показано, что предложенный метод эффективно восстанавливает такие элементы изображения, как морщины, а результирующие данные сопоставляются с общедоступной Базельской 3D-моделью лица. Среднеквадратичное отклонение предложенного метода ниже, чем у других методов, что указывает на его высокую эффективность в 3D-реконструкции лиц.

В настоящее время алгоритм реконструкции трехмерной модели лица внедрен в исходный код программного айтрекера с целью повышения точности проецирования взгляда на экран монитора при изменении позы лица.

Список литературы

1. *Hu J.-F., Zheng W.-S., Xie X., and Lai J.,* "Sparse transfer for facial shapefrom-shading," Pattern Recognit., vol. 68, pp. 272-285, Aug. 2017.
2. *Chen J., Patel V.M., Liu L., Kellokumpu V., Zhao G., Pietikäinen M., andChellappa R.* "Robust local features for remote face recognition," Image Vis. Comput., vol. 64, pp. 34-46, Aug. 2017.
3. *Хохрин А.А.* Системы построения 3D-модели лица на основе 2D изображения, / IT Арктика #4 / 2017, стр. 4-15
4. *Paysan P., Knothe R., Amberg B., Romdhani S., and Vetter T.* "A 3D face model for pose and illumination invariant face recognition," in Proc. 6th IEEE Int. Conf. Adv. Video Signal Based Surveill., Sep. 2009, pp. 296-301.
5. *Jain H., Hellwich O., and Anand R.S.* "Improving 3D face geometry by adapting reconstruction from stereo image pair to generic morphable model," in Proc. 19th Int. Conf. Inf. Fusion (FUSION), Aug. 2016, pp. 1720-1727.
6. *Kemelmacher-Shlizerman I. and Seitz S.M.* "Face reconstruction in the wild," in Proc. Int. Conf. Comput. Vis., Nov. 2011, pp. 1746-1753.
7. *Peng W., Xu C., and Feng Z.* "3D face modeling based on structure optimization and surface reconstruction with B-spline," Neurocomputing, vol. 179, pp. 228-237, Feb. 2016.

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

05.13.06

И.Н. Козлов

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
институт электроники и светотехники,
Саранск, zen940812@yandex.ru

О ИЗМЕНЕНИИ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОВОГО ПРИБОРА НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДНОЙ МАТРИЦЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВТОРИЧНОЙ ОПТИКИ В ВИДЕ ЗЕРКАЛЬНОЙ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В данной статье рассматриваются влияние вторичной оптики на прожектор СДО-07-20-65 на основе SMD-светодиодов. Представлена схема модифицированной конструкции прожектора СДО-07-20-65 с расположенными вдоль рядов светодиодов, перпендикулярно поверхности платы, на которой расположены SMD-светодиоды, параллельно друг другу плоские пластины с высоким коэффициентом отражения. Измерены КСС прожектора без добавления вторичной оптики и с модификацией. Проанализированы полученные результаты измерений кривых сил света.

Ключевые слова: *световой прибор, светодиод, освещение, характеристики.*

Прожектор – это СП, который с помощью оптического устройства захватывает световой поток источника в большем телесном угле и концентрирует его в малом, (измеряемом плоским углом раскрытия 1-2%). Как правило, коэффициент усиления симметричных приборов – более 15, осесимметричных – значительно превышает 30. Прожекторы применяются для освещения удаленных объектов, находящихся на расстояниях, в десятки, сотни и даже тысячи раз превышающих размер прожектора, или для передачи световых сигналов на большие дистанциях [1].

Прожектор можно назвать единственным в своему роде осветительным устройством. Они пользуется для освещения предметов и объектов, удавленных на расстояния, многократно превышающие размер самого прибора. Наиболее часто встречающимися являются прожекторы общего назначения. Прожекторы общего назначения применяются при освещении рабочих периметров, открытых территорий, зданий и памятников. Такие прожекторы часто называют прожекторами заливающего света.

В освещении архитектуры как правило применяются прожекторы общего назначения, которые предназначены для длительного освещения рабочих поверхностей и используются для освещения открытых пространств, фасадов зданий, архитектурных памятников.

Архитектурное освещение – одно из направлений светового дизайна. Раньше его задействовали преимущественно для подсветки городских памятников архитектуры в ночное время. Однако в последнее время архитектурное освещение стало обязательным атрибутом любого пространства города. Разработка проектов архитектурного освещения является одной из перспективных тенденций проектирования дизайна архитектурной среды. С развитием данного направления появились новые способы и приемы освещения зданий, объектов и пространства. Проектирование архитектурной подсветки происходит в комплексе с разработкой освещения автомобильных дорог общего пользования.

Прожектор состоит из: корпуса с креплением, осветительной арматуры, пускорегулировочные устройства, электропроводки и распределительные устройства с аппаратами защиты и управления, источника света - лампы, дающей ненаправленный, или

направленный под широким углом свет, рефлектора и/или линзы, концентрирующих свет в нужном направлении. В качестве рефлектора обычно используется параболическое, либо гиперболическое, в случае использования совместно с линзой, зеркало. В качестве линзы обычно используется линза Френеля, что позволяет достичь меньших габаритов и массы, чем при использовании обычных линз. Прожекторы, предназначенные для освещения открытых пространств, требуют обязательной защиты от пыли и влаги [2].

Наиболее распространены прожекторы заливающего света с параболоцилиндрическим отражателем на основе разрядных ламп высокого давления или линейных галогенных ламп накаливания, которые имеют симметричные кривые силы света в двух плоскостях.

Для светодиодных светильников целесообразным является применений индивидуальной вторичной оптики, то есть установленной на каждый светодиод, что ведёт к наиболее эффективному использованию света. Для каждой серии светодиодов выпускаются специально разработанные линзы с полным внутренним переотражением TIR (англ. totalinternalreflection), что позволяет получить эффективность вторичной оптики более 90% [3].

Исследования показали, что подавляющее большинство светодиодных прожекторов не имеют вторичную оптику, формирующую КСС прожектора. В таких прожекторах в качестве источника света используются либо светодиодные матрицы, либо модуль с SMD-светодиодами (имеющие косинусный тип светораспределения и которые формируют соответствующий тип КСС прожектора, используемый в таких прожекторах отражатель, незначительно изменяет косинусную КСС и, в основном, играет декоративную роль.

Один из возможных способов изменения светораспределения светодиодных световых приборов – это использование вторичной оптики, которая помогает изменить распределение силы света в пространстве.

Рассмотрим влияние вторичной оптики на прожектор СДО-07-20-65 на основе SMD-светодиодов.

Светодиодный прожектор заливающего света содержит корпус из теплопроводного материала, внутри, на плоском основании, крепится печатная плата с SMD-светодиодами. Выходное отверстие прожектора прикрывается защитным стеклом, а в промежутке между защитным стеклом и платой со светодиодами располагается рефлектор. Вдоль рядов светодиодов, перпендикулярно поверхности плат, на которой расположены SMD-светодиоды, располагаем параллельно друг другу плоские пластины с высоким коэффициентом отражения, высотой, не менее 1/2 расстояния между этими пластинами. Драйвер, обеспечивающий питание светодиодов, либо расположен на той же плате, что и светодиоды, либо крепиться с внешней стороны прожектора, либо является независимым блоком.

На рисунке 1 изображена модифицированная конструкция светодиодного прожектора заливающего света.

Рис. 1 – Конструкция модифицированного светодиодного прожектора

На рисунке 2 показана кривая силы света прожектора с SMD-светодиодами; на рисунке 3 показана кривая силы света прожектора с SMD-светодиодами, перпендикулярно которым расположены параллельно друг другу плоские пластины с высоким коэффициентом отражения.

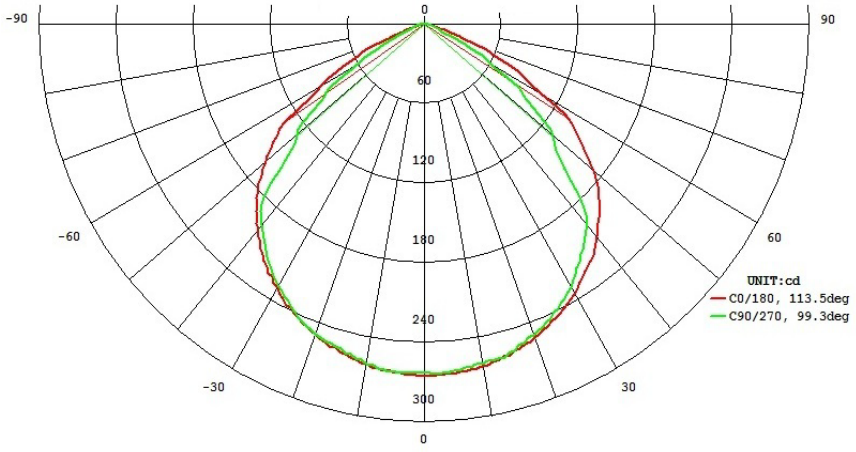


Рис. 2 – Кривая С 90/270

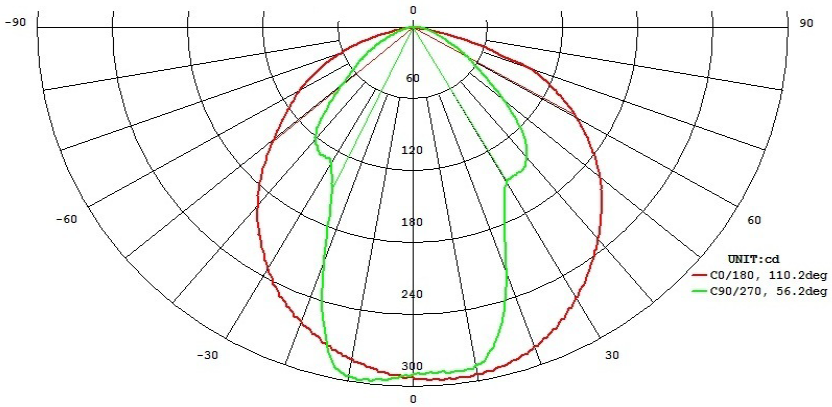


Рис. 3 – Кривая С 0/180

Предлагаемое техническое решение позволяет изменить светораспределение светового прибора и сформировать требуемый тип светораспределения светодиодного прожектора заливающего света построенного на основе SMD-светодиодов[10].

Список литературы

1. *Карякин Н.А.* Световые приборы. Учебник для вузов / *Н. А. Карякин* – М.: Высшая школа, 1975. – 335 с.
2. Виды и монтаж прожекторов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=865643– Загл. с экрана
3. *Бугров В.Е., Виноградова К.А.* Оптоэлектроника светодиодов / В.Е. Бугров, К.А. Виноградова // Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 174
4. Патент РФ № 203825/28, 04.04.2021.
5. *Ашрятов А.А., Прытков С.В, Чуракова Д.К., Козлов И.Н.* Светодиодный прожектор заливающего света // Патент России заявка № 2020140779.

05.13.06

[1]М.В. Таланов, [2]В.М. Таланов

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева,
институт электроники и светотехники,
[1]кафедра электроники и электротехники,
[2]кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, mvtal@mail.ru

БЕЗДАТЧИКОВАЯ СИСТЕМА ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ СИГМА-ТОЧЕЧНОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА

В работе приводится имитационная модель бездатчиковой системы векторного управления асинхронным электродвигателем. Представлен алгоритм оценивания скорости вращения ротора асинхронного электродвигателя на основе сигма-точечного фильтра Калмана. В статье описаны результаты экспериментальной апробации модели системы управления с предложенным алгоритмом оценки скорости вращения.

Ключевые слова: *система векторного управления, сигма-точечный фильтр Калмана, асинхронный электродвигатель, бездатчиковая система управления.*

В работе [1] приводится сравнение использования расширенного фильтра Калмана (РФК), сигма-точечного фильтра Калмана (СТФК) и отказоустойчивого фильтра Калмана для оценки вектора состояния нелинейного объекта управления. В данной работе предлагается модифицировать способ расчета матрицы усиления СТФК для восстановления дополнительного вектора состояния: скорости вращения ротора. Так же предлагается использовать дополнительный наблюдатель потокосцепления ротора асинхронного электродвигателя на этапе коррекции вектора состояния. СТФК способен обеспечить более высокий порядок аппроксимации оценки математического ожидания вектора состояния объекта управления по сравнению с РФК при той же вычислительной сложности.

Особенностью СТФК является то, что в алгоритме производится оценка первых двух моментов распределения вектора состояния с помощью unscented-преобразования (безцентрированное преобразование Джеффри Ульманна). Это означает, что нелинейная функция системы не линеаризуется, вместо этого выбирается и анализируется набор сигма-точек вокруг полученной оценки вектора состояния системы.

Рассмотрим далее основные уравнения СТФК. В качестве математической модели дискретной стохастической системы $f(x[k],u_s[k])$ используются дифференциальные уравнения асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором [2]. Вектор состояния системы $x[k]$ задается разностным уравнением:

$$x[k+1]=f(x[k],\mathrm{u}_s[k])+w[k], \quad (1)$$

где $w[k]=(0,\mathrm{Q}[k])$ – белый шум с нулевым математическим ожиданием и матрицей ковариации Q; $u_s[k]$ – управляющее воздействие.

Вектор измерений описывается следующим уравнением:

$$y[k]=h(x[k],\mathrm{u}_m[k])+v[k], \quad (2)$$

где $v[k]=(0,\mathrm{R}[k])$ - белый шум с нулевым математическим ожиданием и матрицей ковариации R; $u_m[k]$ – вектор управления.

Перед началом выполнения алгоритма фильтрации СТФК необходимо задать начальные значения прогноза вектора состояния $\hat{x}$ и матрицы ковариации ошибки экстраполяции P:

$$\hat{x}[0|-1] = \mathrm{E}(x[0]),$$

$$P[0|-1] = \mathrm{E}(x[0] - \hat{x}[0|-1])(x[0] - \hat{x}[0|-1])^T.$$

Первый этап фильтрации СТФК состоит в обработке измерений. На этом этапе выбор сигма-точек $\hat{x}^i$ определяется следующими выражениями:

$$\hat{x}^{(0)}[k|k-1] = \hat{x}[k|k-1], \quad (3)$$

$$\hat{x}^{(i)}[k|k-1] = \hat{x}[k|k-1] + \Delta x^{(i)}, i=1,...,2M, \quad (4)$$

$$\Delta x^{(i)} = (\sqrt{cP[k|k-1]})_i, i=1,...,M, \quad (5)$$

$$\Delta x^{(M+i)} = -(\sqrt{cP[k|k-1]})_i, i=1,...,M, \quad (6)$$

$$c = \alpha^2(M+\kappa), \quad (7)$$

$$\sqrt{cP}(\sqrt{cP})^T = cP. \quad (8)$$

Параметры СТФК имеют следующие значения: $\beta = 2$; $\kappa = 0$; $\alpha = 1\text{e-}3$. $M = 5$ – размерность вектора состояния. $(\sqrt{cP})_i$ обозначает i-й столбец матрицы $\sqrt{cP}$. В алгоритме используется разложение Холецкого вида (8), где $\sqrt{cP}$ – нижняя треугольная матрица.

Далее для каждой сигма-точки $\hat{x}^i$ рассчитывается прогноз $\hat{y}^i$ на основе уравнения измерений (2):

$$\hat{y}^{(i)}[k|k-1] = h(\hat{x}^{(i)}[k|k-1], u_m[k]), \; i=0,1,...,2M, \quad (9)$$

$$\hat{y}[k] = \sum_{i=0}^{2M} W_M^{(i)} \hat{y}^{(i)}[k|k-1], \quad (10)$$

$$W_M^{(0)} = 1 - \frac{M}{\alpha^2(M+\kappa)}, \quad (11)$$

$$W_M^{(i)} = \frac{1}{2\alpha^2(M+\kappa)}, i = 1,2,...,2M. \quad (12)$$

В уравнении (9) $u_m[k] = 0$ для модели асинхронного электродвигателя, которая используется в данной работе.

Матрица ковариации невязки измерений:

$$P_y = \sum_{i=0}^{2M} W_c^{(i)} (\hat{y}^{(i)}[k|k-1] - \hat{y}[k])(\hat{y}^{(i)}[k|k-1] - \hat{y}[k])^T + R[k], \quad (13)$$

$$W_c^{(0)} = (2 - \alpha^2 + \beta) - \frac{M}{\alpha^2(M+\kappa)}, \quad (14)$$

$$W_c^{(i)} = \frac{1}{2\alpha^2(M+\kappa)}, i = 1,2,...,2M. \quad (15)$$

Матрица кросс-ковариации:

$$P_{xy} = \frac{1}{2\alpha^2(M+\kappa)} \sum_{i=1}^{2M} (\hat{x}^{(i)}[k|k-1] - \hat{x}[k|k-1])(\hat{y}^{(i)}[k|k-1] - \hat{y}[k])^T. \quad (16)$$

В уравнении (16) суммирование начинается с $i = 1$, т.к. $\hat{x}^{(0)}[k|k-1] - \hat{x}[k|k-1] = 0$.

Матрица усиления СТФК:

$$K = P_{xy} P_y^{-1}. \quad (17)$$

Коррекция оценки вектора состояния $\hat{x}$ на основе измеренного вектора значений y:

$$\hat{x}[k|k] = \hat{x}[k|k-1] + K(y[k] - \hat{y}[k]) \quad (18)$$

В уравнении (18) y - это вектор измеренных токов статора асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат.

Матрица ковариации ошибки оценивания рассчитывается с использованием матрицы ковариации ошибки экстраполяции:

$$P[k|k] = P[k|k-1] - KP_y K^T \quad (19)$$

Второй этап фильтрации СТФК состоит из экстраполяции вектора состояния и расчета матрицы ковариации ошибки экстраполяции. Сигма-точки $\hat{x}^i$ вычисляются с помощью следующих уравнений:

$$\hat{x}^{(0)}[k|k] = \hat{x}[k|k], \quad (20)$$

$$\hat{x}^{(i)}[k|k] = \hat{x}[k|k] + \Delta x^{(i)}, i = 1,...,2M, \quad (21)$$

$$\Delta x^{(i)} = (\sqrt{cP[k|k]})_i, i = 1,...,M, \quad (22)$$

$$\Delta x^{(M+i)} = -(\sqrt{cP[k|k]})_i, i = 1,...,M. \quad (23)$$

Прогноз вектора состояния $\hat{x}$ на основе набора сигма-точек $\hat{x}^i$ выполняется с учетом модели объекта управления по следующим формулам:

$$\hat{x}^{(i)}[k+1|k] = f(\hat{x}^{(i)}[k|k], u_s[k]), \quad (24)$$

$$\hat{x}[k+1|k] = \sum_{i=0}^{2M} W_M^{(i)} \hat{x}^{(i)}[k+1|k], \quad (25)$$

$$W_M^{(0)} = 1 - \frac{M}{\alpha^2(M+\kappa)}, \quad (26)$$

$$W_M^{(i)} = \frac{1}{2\alpha^2(M+\kappa)}, i = 1,2,...,2M. \quad (27)$$

Матрица ковариации ошибки экстраполяции:

$$P[k+1|k] = \sum_{i=0}^{2M} W_c^{(i)} (\hat{x}^{(i)}[k+1|k] - \hat{x}[k+1|k])(\hat{x}^{(i)}[k+1|k] - \hat{x}[k+1|k])^T + Q[k], \quad (28)$$

$$W_c^{(0)} = (2 - \alpha^2 + \beta) - \frac{M}{\alpha^2(M+\kappa)}, \quad (29)$$

$$W_c^{(i)} = \frac{1}{2\alpha^2(M+\kappa)}, i = 1,2,...,2M. \quad (30)$$

После завершения второго этапа переходим к первому этапу коррекции спрогнозированного значения вектора состояния $\hat{x}$.

В описании модели асинхронного электродвигателя присутствуют неизмеряемые величины – это потокосцепление ротора и угловая скорость вращения ротора. Таким образом, предлагается модифицировать этап коррекции по уравнению (18). Значение потокосцепления ротора, с которым выполняется сравнение, предлагается вычислить с помощью дополнительного наблюдателя потокосцепления ротора. При расчете матрицы усиления СТФК предлагается использовать переходную матрицу состояния F объекта управления [3], записанную с учетом дополнительной переменной состояния – скорости ротора. Матрица V рассчитывается с учетом матрицы ковариации ошибки экстраполяции P по формуле:

$$V = F(x[k \mid k-1])P[k \mid k-1]F(x[k \mid k-1])^T. \quad (31)$$

Матрица L рассчитывается по формуле:

$$L = VH^T \left\| HVH^T + R[k] \right\|^{-1}, \quad (32)$$

где $H = \frac{dh}{dx}\Big|_{\hat{x}[k|k-1]}$ – матрица чувствительности, которая составляется по уравнению выхода объекта управления.

Далее необходимо пятую строку матрицы усиления K СТФК заменить пятой строкой матрицы L.

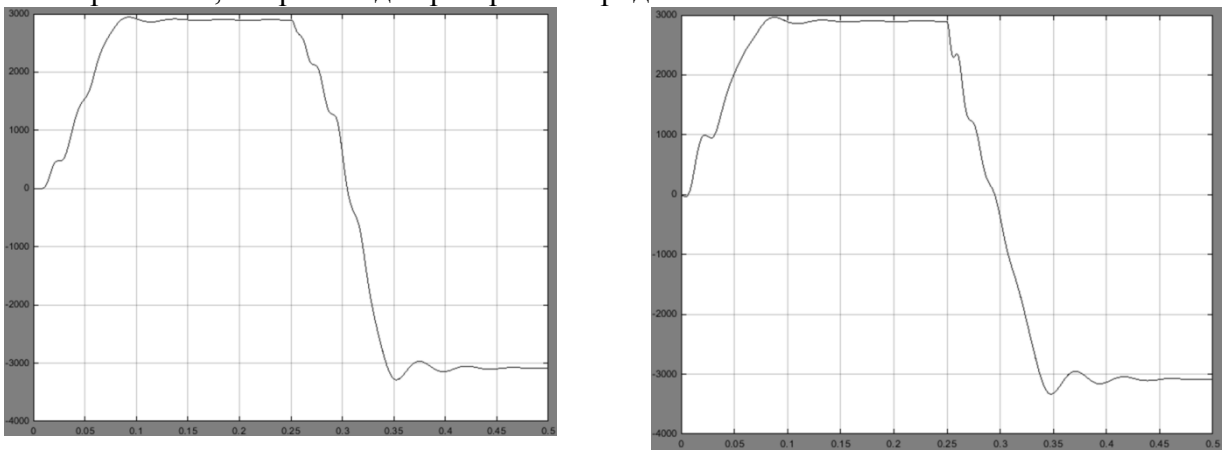
Проверка предложенного алгоритма оценки скорости проводилась на модели электродвигателя RA132MB2 с короткозамкнутым ротором. Были рассчитаны параметры схемы замещения электродвигателя, которые приведены в таблице.

Таблица – Параметры схемы замещения электродвигателя RA132MB2

Мощность, кВт	11
Номинальная скорость вращения, об/мин	2905
Сопротивление обмотки статора, Ом	0.4291
Сопротивление обмотки ротора, Ом	0.3751
Индуктивность рассеяния обмотки статора, Гн	0.0018
Индуктивность рассеяния обмотки ротора, Гн	0.0018
Индуктивность намагничивания, Гн	0.0924
Инерция, кгм^2	0.0195
Коэффициент вязкого трения	0.0025
Количество пар полюсов	1

Для первоначальной проверки имитационной модели электродвигателя был смоделирован прямой пуск электродвигателя от сети с одновременной оценкой скорости вращения ротора.

В модели прямого пуска электродвигателя выполнялись измерения вектора потокосцепления ротора для коррекции вектора состояния по уравнению (18). Результаты пуска до номинальной скорости с номинальной нагрузкой 36,2 Нм показаны на рисунке 1. В момент времени 0,25 происходит реверс электродвигателя.



а) б)

Рис. 1 – Пуск-реверс электродвигателя:
а) скорость с модели электродвигателя; б) оценка скорости

Проверка предложенного алгоритма оценки скорости ротора проводилась в составе системы векторного управления, которая показана на рисунке 2.

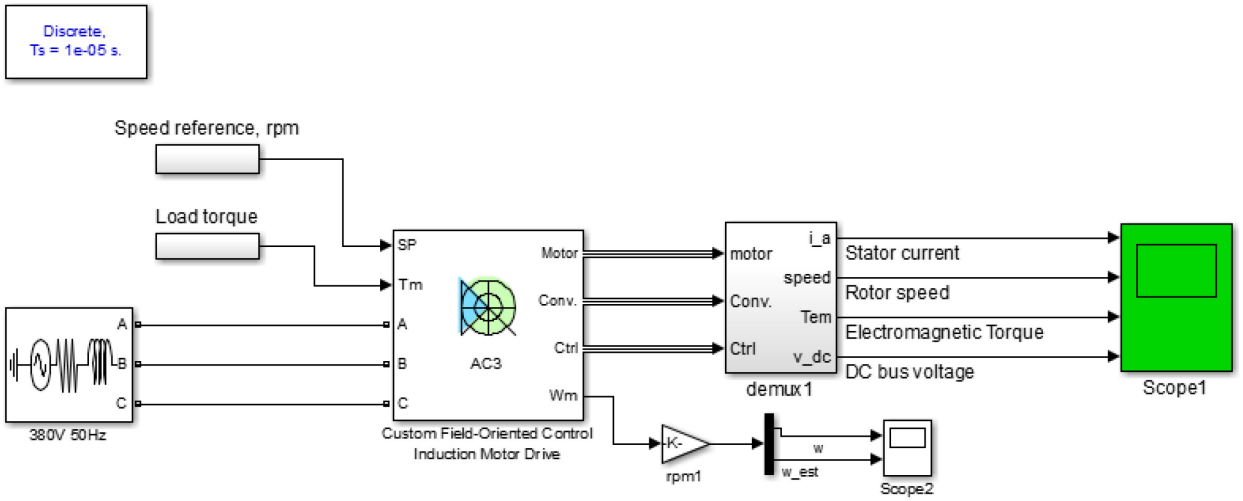


Рис. 2 – Бездатчиковая система векторного управления асинхронным электродвигателем

В модели на рисунке 2 использовался дополнительный наблюдатель потокосцепления для коррекции вектора состояния согласно уравнению (18). Система управления была замкнута на наблюдатель скорости ротора. Моделировался разгон электродвигателя до 1000 об/мин с нагрузкой 10 Нм, в момент времени 0,7 с производился наброс нагрузки в 36,2 Нм. Сравнение результатов моделирования показано на рисунке 3.

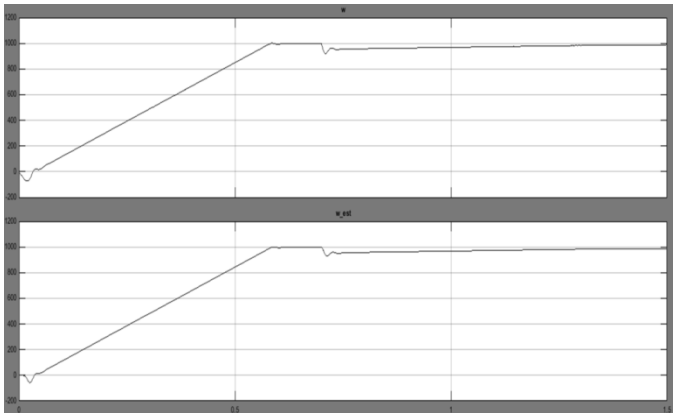


Рис. 3 – Моделирование наброса нагрузки

На рисунке 3 на верхнем графике показана скорость ротора, полученная с модели электродвигателя, на нижнем графике показана оценка скорости вращения ротора, полученная с помощью предложенного алгоритма оценки скорости.

На рисунке 4 показаны проекции вектора потокосцепления ротора на оси неподвижной системы координат α, β, полученные с помощью наблюдателя потокосцепления.

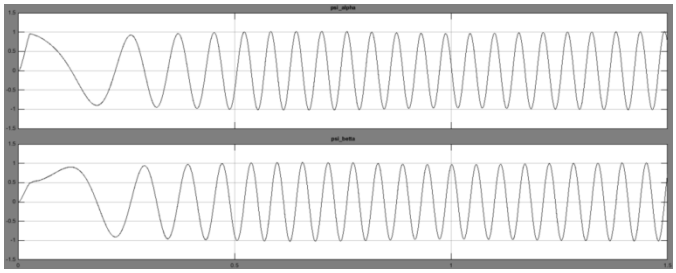


Рис. 4 – Проекции вектора потокосцепления ротора на оси α, β

Проекции вектора тока статора и потокосцепления ротора используются для коррекции вектора состояния согласно уравнению (18).

В статье предложен алгоритм оценки скорости ротора на основе сигма-точечного фильтра Калмана. Предложена модель бездатчиковой системы векторного управления электродвигателем. Приведены результаты моделирования алгоритма оценки скорости при различных режимах работы электропривода. Результаты моделирования подтверждают корректность работы наблюдателя скорости.

Список литературы

1. *Park, J.B., Wang, X.* Sensorless Direct Torque Control of Surface-Mounted Permanent Magnet Synchronous Motors with Nonlinear Kalman Filtering. // Energies 2018, 11, 969. https://doi.org/10.3390/en11040969.
2. *Talanov M.V., Talanov V.M.* Software and hardware solution for digital signal processing algorithms testing // E3S Web Conf., Volume 124, 2019, International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems 2019 (SES-2019), Article number 03006. doi: https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912403006.
3. *Talanov M.V., Karasev A.V., Talanov V.M.* Implementation of extended Kalman filtering algorithm with improved flux estimator on TMS320F28335 processor for induction sensorless drive // Proceedings of the 6th European Embedded Design in Education and Research Conference 11-12 September 2014. Milan, Italy. IEEE. C. 119-123. doi:http://dx.doi.org/10.1109/EDERC.2014.6924371.

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

05.13.11

[1]Г.А. Гареева канд. педагог. наук, [2]А.Р. Шакиров,
[3]Д.Р. Григорьева канд. педагог. наук, [3]Р.Р. Басыров канд. техн. наук

[1]Казанский национальный исследовательский технический университет
им.А.Н. Туполева-КАИ,
кафедра информационных систем,
Набережные Челны, gagareeva1977@mail.ru,
[2]Московский политехнический университет,
факультет машиностроения,
кафедра обработки материалов давлением и аддитивные технологии,
Москва, shakirof@mail.ru,
[3]Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Набережночелнинский институт,
кафедра экономики предприятий и организаций,
кафедра автомобили, автомобильные двигатели и дизайн,
Набережные Челны, d.r.grigoreva@mail.ru, basr@mail.ru

ДИАГНОСТИКА ПРОГРАММНОГО И АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПК НА ПРЕДПРИЯТИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

В работе представлена разработка программного продукта, способного производить диагностику программного и аппаратного обеспечения ПК на предприятии машиностроительной отрасли.

Ключевые слова: *диагностика, программа, программное и аппаратное обеспечение, машиностроение.*

Современная конфигурация вычислительной техники и программное обеспечение все больше совершенствуется, тем самым обуславливая непрерывно возрастающий запрос на наличие диагностического программного обеспечения, и соответственно растет количество вероятных конфликтов и сбоев аппаратного и программного обеспечения.

Актуальность темы исследования заключается в том, что бесперебойная работа ПК чрезвычайно важна на любом предприятии, диагностическое программное обеспечение позволяет решить проблему, если система начинает сбоить, так и заблаговременно устранив неисправность до появления проблемы. Также диагностическое программное обеспечение необходимо, если осуществляется модернизация системы, добавляя новые устройства.

Диагностика – это тщательное тестирование всех компонентов компьютера с целью выяснения соответствия их характеристик заявленным производителем, а также определения реальной производительности (скорости работы) и сравнения этих показателей с эталонным оборудованием. Естественно, что некоторые функции диагностических программ можно использовать для выявления оборудования, работающего со сбоями, но это не говорит о том, что такие программы применяются в основном для поиска неисправностей [1].

Проанализировав имеющиеся средства и утилиты диагностики аппаратного и программного обеспечения, их преимущества и недостатки было выявлено, что изученные варианты являются утилитами общего характера, предназначенными для работы с максимально широкой совокупностью вариантов конфигураций ПК, в то время как в отделе данного предприятия встречается не так много вариантов конфигураций ПК, отчего

большинство утилит обладает избыточным функционалом, при этом потребляя большой объем вычислительных ресурсов, что затрудняет работу с ними на устаревших конфигурациях ПК. Чтобы не создавать еще одну утилиту, обладающую схожим функционалом, было принято создать программу специально для обслуживания ПК на предприятии, обладающую необходимым минимумом диагностических функций, с добавлением узкоспециализированных функций, предназначенных для решения проблем и неполадок, имеющих распространение в конкретном отделе предприятия. Утилита должна обладать малым весом, потреблять минимум ресурсов ПК.

Проектирование программы начинается с построения функциональной модели приложения. Следующим этапом проектирования является декомпозиция построенной ранее функциональной модели приложения и разработка проекта структуры программного обеспечения.

В результате проектирования программного обеспечения разработан алгоритм работы проектируемого программного обеспечения. Данный алгоритм представлен на рисунке 1.

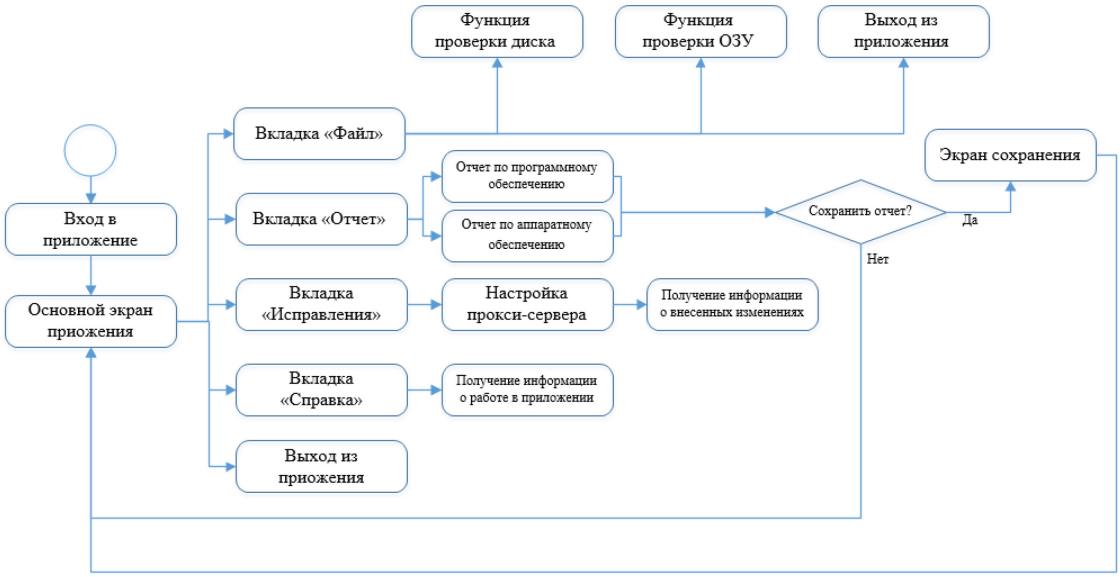


Рис. 1 – Алгоритм работы проектируемого программного обеспечения

Заключительным этапом проектирования является разработка макета интерфейса программы.

Для разработки программного обеспечения был выбран язык программирования C#, разработка произведена в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio. Visual Studio спроектирована таким образом, чтобы делать процесс написания кода, его отладки и компиляции в сборку для поставки конечным потребителям как можно более простым [2].

Первым шагом разработки было создание нового проекта в среде Visual Studio. Далее проект был переименован. «PC Checker» - название разрабатываемого программного обеспечения диагностики программного и аппаратного обеспечения ПК.

Следующим этапом разработки было конструирование интерфейса согласно спроектированному макету, затем написание кода для каждой предусмотренной на этапе проектирования функции, а именно код для запуска системных утилит проверки файловой системы sfc и проверки ОЗУ на наличие ошибок mdsched. Запуск утилит реализован через класс ProcessStartInfo пространства имен System.Diagnostics [3].

Возможность исправления неполадок является одним из основных преимуществ разрабатываемого приложения над аналогами. Был реализован код для исправления частой проблемы на ПК в отделе предприятия, заключающейся в неправильной настройке прокси-сервера. На рисунке 2 изображено окно IDE, демонстрирующее код исправления данной проблемы.

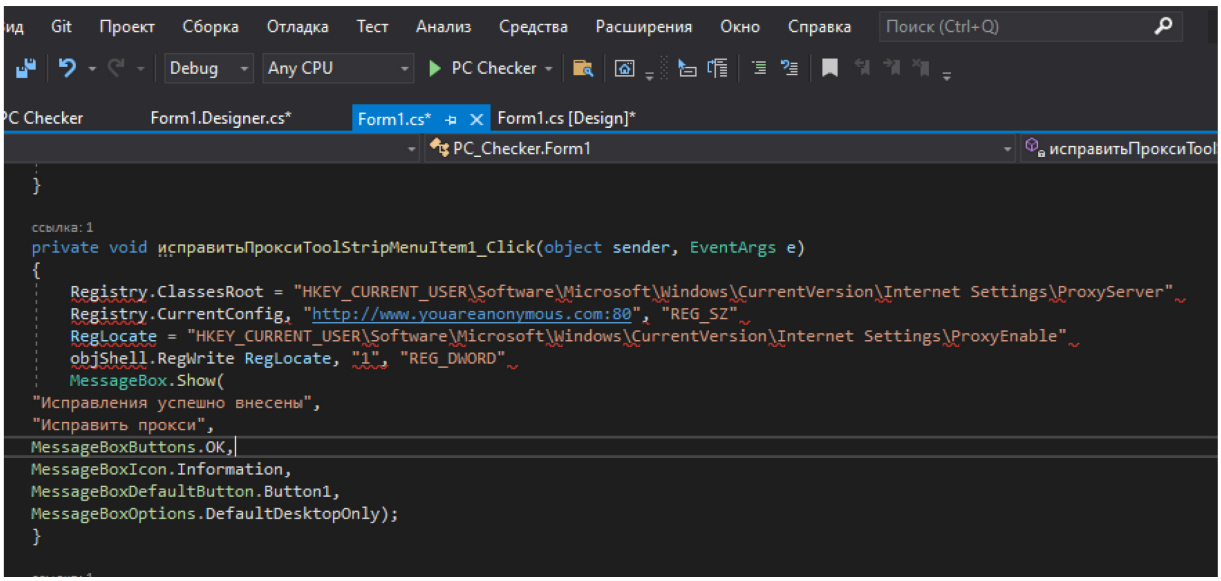


Рис. 2 – Код исправления

Важным шагом при разработке программы было добавление в нее манифеста. Манифест был необходим в программе для запуска ее с правами администратора, ведь большинство функций в ней делают запросы к системе, требующие именно такой уровень прав [4]. В коде манифеста необходимо указать, что программа должна запускаться от имени администратора с помощью тега requestedExecutionLevel level="requireAdministrator" [5].

Завершающим этапом разработки программы является создание пояснительной документации в виде справки. На рисунке 3 показан код вывода справки на экран.

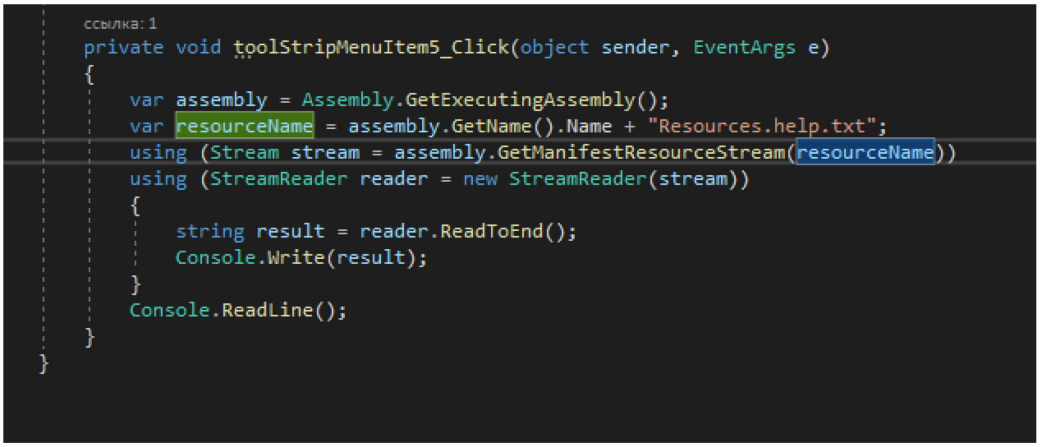


Рис. 3 – Код вывода справки на экран

Следующим этапом создания программы для диагностики аппаратного и программного обеспечения является этап тестирования. Тестирование показало, что программа соответствует требованиям. На рисунке 4 изображено основное окно разработанной программы.

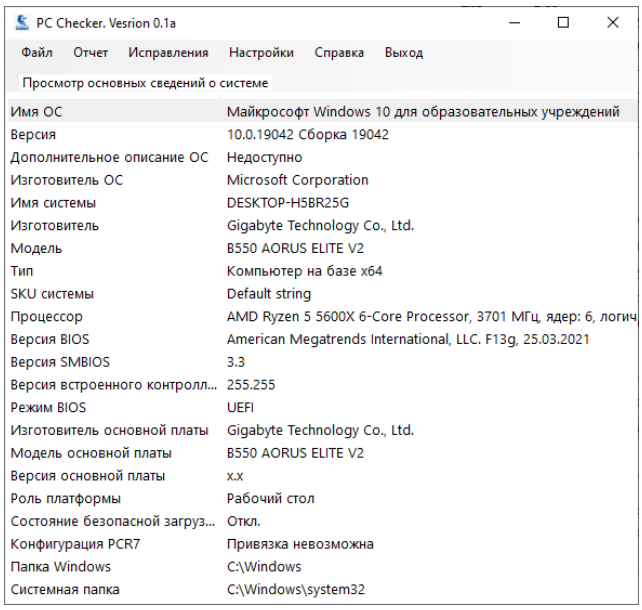


Рис. 4 – Основное окно разработанного программного обеспечения

В результате исследования видно, что программа в полной мере соответствует установленным требованиям: реализован весь заявленный функционал, добавление новых функций легко реализуется, программа занимает малый объем дискового пространства и потребляет незначительный размер вычислительных ресурсов компьютера. Интерфейс программы является понятным и интуитивным.

Разработанное программное обеспечение позволит упростить работу специалистов отдела машиностроительного предприятия, увеличит скорость сбора диагностических данных, позволит легко расширить имеющийся функционал.

Список литературы

1. *Таненбаум Э.* Компьютерные сети / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. - 5-е изд. - СПб.: Питер, 2012. - 960 с.

2. *Калентьев А.А.* Новые технологии в программировании: учебное пособие / А.А. Калентьев, Д.В. Гарайс, А.Е. Горяинов; Томский Государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). – Томск: Эль Контент, 2014. – 176 с.

3. *Круз Р.Л.* Структуры данных и проектирование программ / Р. Л. Круз. - Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 765 с.

4. *Гареева Г.А., Григорьева Д.Р., Басыров Р.Р.* Проектирование программного обеспечения для принятия эффективных управленческих решений / Научно-технический вестник Поволжья. №3, 2020. – Казань. – С. 88-90.

5. *Васильев А.Н.* Программирование на C# для начинающих. Особенности языка / А.Н. Васильев. - М.: Эксмо, 2018. - 530 с.

05.13.11

А.А. Голубничий, А.Д. Яблонцева

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

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В РАМКАХ ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ КАМПАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ)

В работе описывается принципиальная модель структуры данных, планируемая к разработке для создания прикладных геоинформационных систем, для проведения избирательных кампаний. Описывается стек технологий для создания первичной базовой информационной системы, дается рекомендация по развертыванию прикладных программных продуктов, описывается потенциальная область применения информационных систем. Приводится рендеринг отдельных элементов реализованной базы данных для развертывания информационных систем в рамках федеральной избирательной кампании на территории Республики Хакасия.

Ключевые слова: *прикладные геоинформационные системы, геоинформационные базы данных, избирательные кампании.*

Введение

Политические партии, кандидаты на выборные должности, члены избирательных комиссий всех уровней, наблюдатели и активные граждане Российской Федерации проявляют интерес к процессу проведения голосования и ряду других процедур, связанных с волеизъявлением народа. В настоящее время степень внедрения новых информационных технологий в процедуру проведения избирательных кампаний не особо велика. Единственным агрегатором данных о ходе избирательных кампаний выступает Центральная избирательная комиссия Российской Федерации. Цифровые сервисы ЦИК России включают шесть основных ресурсов: «Информирование об избирательных комиссиях и комиссиях референдума», «Информирование о включении в список на избирательном участке, участке референдума», «Информирование о факте подачи заявления о включении в список избирателей по месту нахождения и результатах его обработки», «Информирование о выборах и референдумах и сроках их проведения», «Информирование о кандидатах и избирательных объединения» и «Информирование о результатах выборов и референдумов и сроках их проведения» [1]. Перечисленные сервисы в определенной степени упрощают и автоматизируют процедуру голосования для граждан, однако с точки зрения оперативности информирования о результатах выборов и их визуализации, явно имеют ряд существенных недостатков.

Исходные данные для построения информационной системы

Для оперативного информирования о ходе выборной кампании, визуализации промежуточных сведений о явке избирателей в пределах региона, населенного пункта или конкретного избирательного округа, оптимальным вариантом для работы является использование данных, привязанных к участковым избирательным комиссиям. При этом структура данных включает как статические данные, не меняющиеся на протяжении всей выборной кампании и те данные, которые меняются в определенные промежутки времени. Принципиальная модель структуры базы данных представлена на рисунке 1.

Рис. 1 – Принципиальная модель структуры базы данных

Данные, относящиеся к сведениям о кандидатах и партиях, участвующих в ходе выборной кампании, изменяются редко и все они проходят через территориальные избирательные комиссии, избирательные комиссии субъектов РФ или через ЦИК России. Изменения такого рода данных важны, но оперативность внесения их в систему не принципиальна. С точки зрения проведения выборных кампаний, наибольший интерес представляют данные способствующие оперативно совершать определенные действия в рамках проведения агитационной кампании и непосредственно процедуры голосования. При этом все вышеназванные данные логично разделить на публичные, информирование о которых возможно и принципиально для демонстрации открытости результатов выборов, и те данные, которые являются служебными в ходе проведения избирательных кампаний, такие как сведения о наблюдателях и агитаторах, предварительные данные об общественном мнение избирателей и др.

Стек технологий для реализации информационной системы

При разработке прикладных геоинформационных систем, важным пунктом выступает возможность их расширения посредством добавления нового функционала или корректировке существующих данных и функций приложения. Принципиальным при разработке также является патентная чистота программного продукта, что особо важно с учетом ужесточения выборного законодательства в течение прошлых лет.

На основании всего вышесказанного, для разработки программного продукта использовался стек технологий, базирующийся на свободном программном обеспечении, таком как язык программирования R [2], библиотека leaflet [3] и картографические данные OpenStreetMap [4]. Также, для первичной визуализации, были собраны данные об участковых избирательных комиссиях Республики Хакасия. Согласно действующему законодательству, в Республике Хакасия насчитывается 379 участковых избирательных комиссий [5]. Часть карты, содержащей сведения об участковых избирательных комиссий региона, в пределах города Абакана, приведена на рисунке 2.

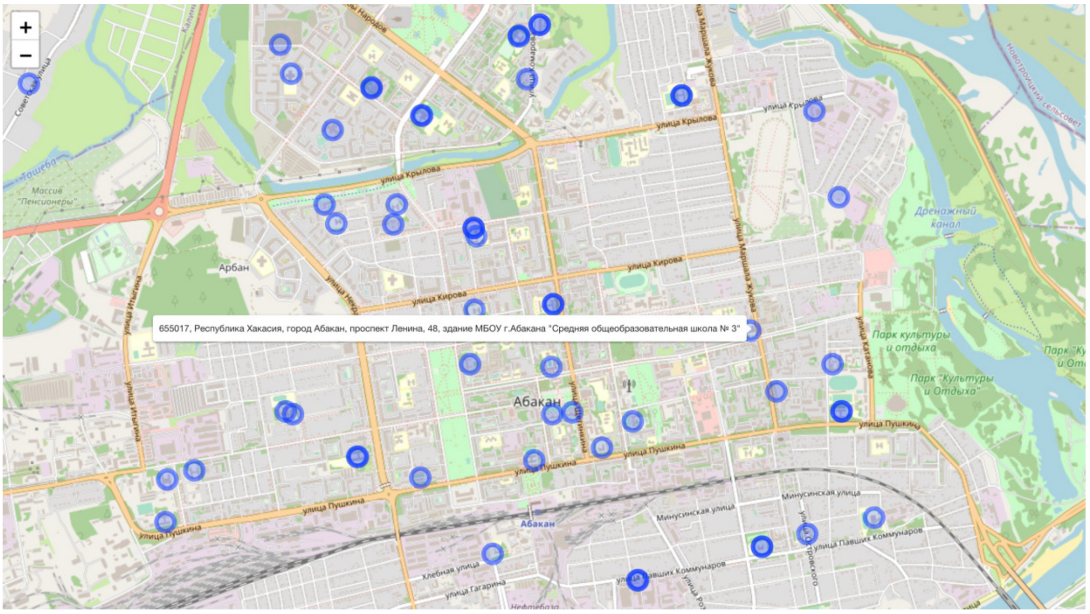


Рис. 2 – Рендеринг карты, содержащий общие сведения об УИК Республики Хакасия

Области применения базы данных

Разработанный программный продукт, базирующийся на геоинформационной базе данных, с точки зрения этапов жизненного цикла программного обеспечения, представляет собой MVP. Показывая минимальный функционал, данное программное обеспечение, при соответствующей доработке, можно использовать для разных целей. Наличие привязки к пространственным данным позволит оптимально формировать маршруты для различного рода агитпробегов и прочих массовых мероприятий. Реализация на базе языка программирования R, дает потенциально широкую базу не только для визуализации данных, в части развертывания геоинформационных систем, но и для детального анализа и прогнозирования данных.

Привязка данных к библиотеке leaflet, не единственный функционал программного продукта. Библиотека имеет достаточно хорошую привязку с интерактивными досками, реализованными через технологию Shinydashboard. Добавление функционала интерактивных досок позволит перевести программное обеспечение в полноценную платформу для внесения новых данных и отображения текущей статистики как в предвыборной кампании партий и кандидатов, так и для отображения хода голосования при независимом подсчете голосов. Сам по себе язык программирования R за счет продвинутой системы декларативной графики, реализованной через грамматику графики, позволяет делать красочную и интерактивную визуализацию, в лучшей степени показывающую ход и результаты голосования.

Таким образом, потенциальный функционал, который возможно развернуть на основе разработанной базы данных, может служить как в целях проведения выборной кампании политических партий и отдельных кандидатов, так и послужить в качестве полноценной справочной информационной системы, позволяющей получить полный доступ к ходу и итогам выборной кампании всех заинтересованных лиц.

Список литературы

1. Цифровые сервисы [Электронный ресурс] URL: http://www.cikrf.ru/digital-services/ (дата обращения: 08.08.2021).
2. R: The R Project for Statistical Computing [Электронный ресурс] URL: https://www.r-project.org (дата обращения 08.08.2021).
3. Leaflet - a JavaScript library for interactive maps [Электронный ресурс] URL: https://leafletjs.com (дата обращения: 08.08.2021).
4. OpenStreetMap [Электронный ресурс] URL: https://www.openstreetmap.org/about (дата обращения: 08.08.2021).
5. Постановление Избирательной комиссии Республики Хакасия от 1 апреля 2021 № 191/1159-7

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

05.13.18

А.А. Голубничий, А.Д. Яблонцева

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

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗВЕДОЧНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

В работе описывается процесс разработки программного продукта, позволяющего автоматизировать разведочный анализ данных посредством многопанельной графики, реализованной в пакете brinton [1]. Анализируются варианты реализации разведочного анализа при помощи языка программирования R. Описывается набор функций, реализованных в программном обеспечении. Приводится рендеринг отчета, генерируемого как результат работы приложения.

Ключевые слова: *разведочный анализ данных, многопанельная графика, прикладное программное обеспечение.*

Введение

Область разведочного анализа данных (EDA) существенно отличается от любой другой в классической системе анализа данных. Основной причиной этому служит факт того, что по завершении процедуры EDA не проверяется та или иная гипотеза, наоборот, предварительное проведение разведочного анализа данных помогает выдвинуть гипотезу в дальнейшем, в зависимости от того, что увидит аналитик. По этой причине область автоматизации разведочного анализа данных невозможна в части решения конкретной проблемы, однако автоматизация самого разведочного анализа данных достаточно тривиальна, что позволяет создать автоматизированную информационную систему.

Инструменты для автоматического создания графики и статистик для набора данных, называются автоматизированным разведочным анализом данных или autoEDA. Эти инструменты облегчают некоторые характерные задачи EDA, такие как описание переменных и подтверждение наблюдений или отношения, установленные между значениями одной или нескольких переменных.

Для разработки системы автоматизации проведения разведочного анализа данных, средствами языка программирования R, планируется использовать пакет brinton. Он показывает только графику, что позволяет его классифицировать как инструмент для автоматизированных графических исследовательских анализов данных или autoGEDA.

AutoGEDA и многопанельная графика

Важной особенностью пакета brinton является то, что он сочетает в себе различные графические типы, позволяющие строить множество графических элементов относящихся к одному набору данных в виде многопанельной графики [2]. Существует ряд инструментов autoGEDA, входящих в базовый функционал языка R и в пакеты, размещенные в официальном репозитории CRAN.

Среди пакетов R, реализующих автоматизацию разведочного анализа данных, лишь несколько позволяют строить изображения. К таким пакетам можно отнести tabplot, visdat и inspectdf. В частности, tabplot и visdat, по сути, предлагают варианты табличных диаграмм, в то время как inspectdf дает возможность строить графики в виде гистограмм.

Другой набор пакетов группирует переменные набора данных по типу и представляет распределение каждой переменной в ячейки многопанельного рисунка. К таким пакетам стоит отнести xray [3], DataExplorer [4] и SmartEDA [5]. Пакеты dataMaid и summarytools предлагают другой способ «наблюдать» за всеми переменными. Эти пакеты имеют функции, которые производят описательную сводку переменных вместе с гистограммой.

Пакеты AutoEDA обычно имеют двойное представление результатов: табличное и графическое. Некоторые из них, такие как dataMaid, summarytools и SmartEDA, позволяют создавать автоматические отчеты и даже адаптировать эти отчеты к потребностям конкретного пользователя.

Пакет brinton

Пакет brinton был создан для облегчения разведочного анализа данных. Основная идея состоит в том, чтобы помочь пользователю в использовании графиков с помощью трех функций: wideplot(), longplot() и plotup().

Функция wideplot() позволяет пользователю исследовать набор данных в целом, используя сетку для построения изображений в которой каждая переменная представлена в виде нескольких графиков. Сначала функция wideplot() группирует переменные в следующей последовательности: логическая, упорядоченная факторная, факторная, символьная, datetime и числовая. Затем она создает многопанельную графику в формате html, в которой каждый переменная набора данных представлена в строке сетки, а в каждом столбце отображается различная доступная графика для каждой переменной.

Единственный аргумент, необходимый для получения результата – это данные, в качестве возможных классов выступают data.frame, параметр dataclass выбирает и сортирует типы отображаемых переменных; ncol фильтрует первые n столбцы сетки, от 3 до 7, которые будут отображаться в итоговом отчете. Пример вызова функции wideplot() приведен на рисунке 1.

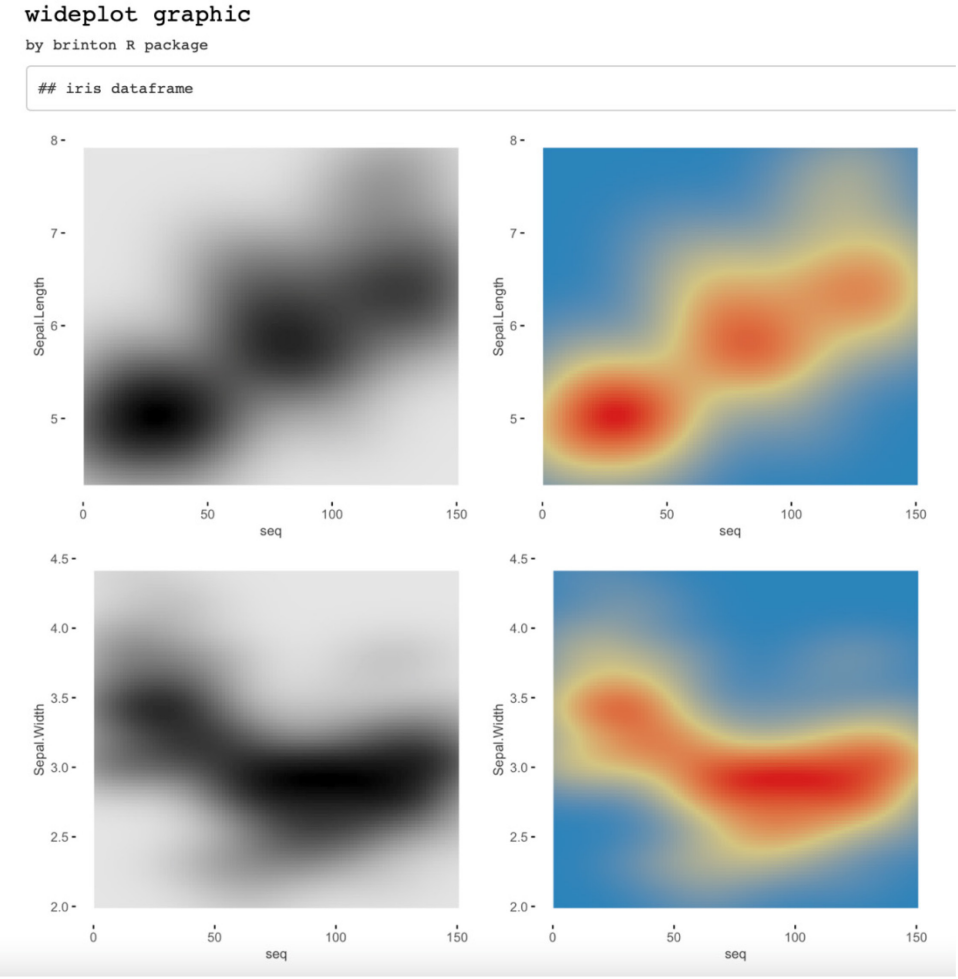


Рис. 1 – Пример реализации функции wideplot() на наборе данных Iris

После изучения набора данных в целом, можно использовать функцию longplot(), позволяющую исследовать другие графики для данной переменной. Эта функция также представляет собой сетку изображений, но вместо того, чтобы показывать выборку графиков для каждой переменной, она представляет полный спектр графиков, доступный в пакете, для представления одной переменной.

Графический тип называется longplot, потому что он показывает полный диапазон доступных графиков для представления отношений между значениями ограниченного набора переменных. В отличие от сетки функции wideplot, сетка функции longplot не включает параметры, ограничивающие диапазон отображаемой графики. Пример вызова функции longplot() приведен на рисунке 2.

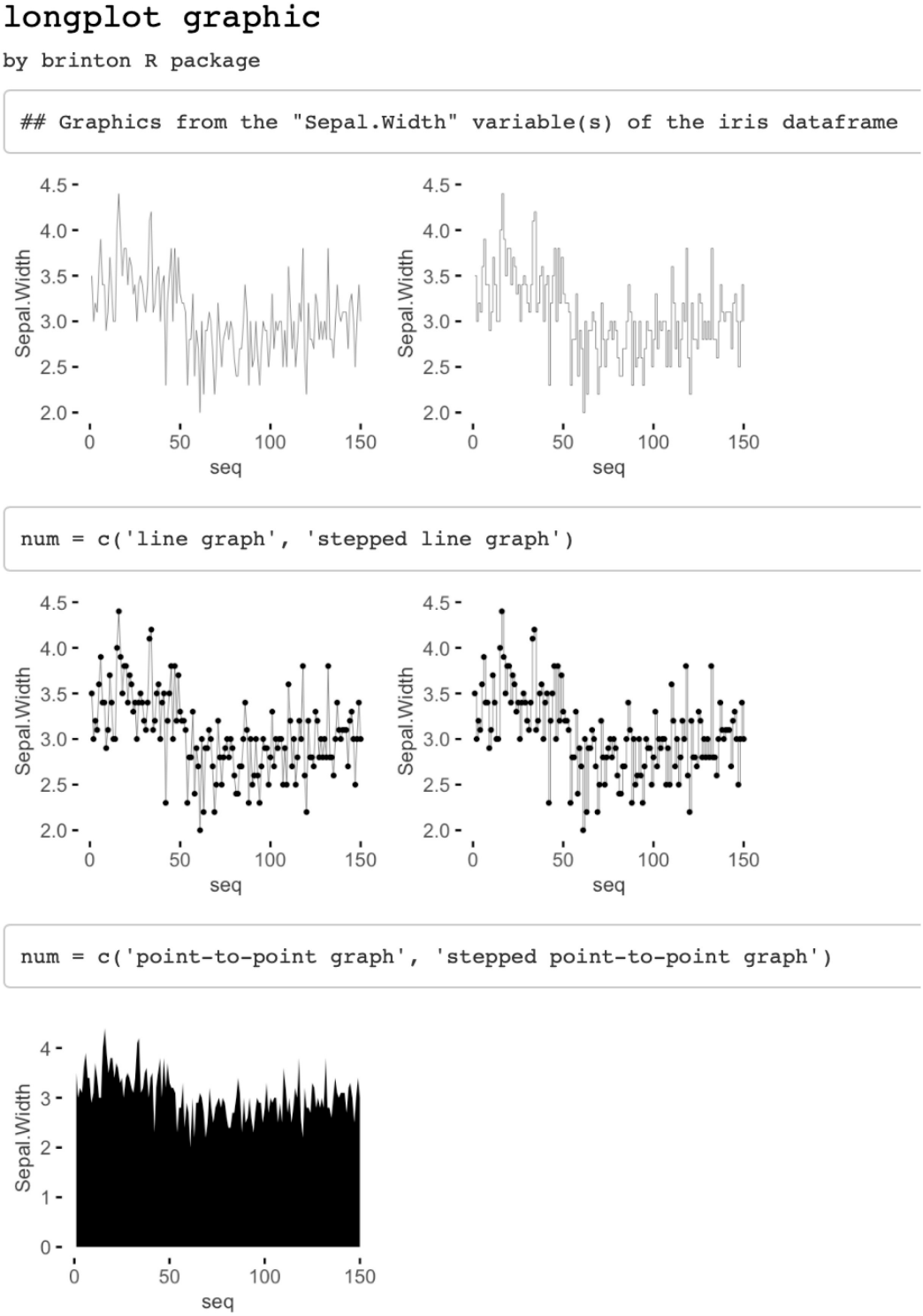


Рис. 2 – Пример реализации функции longplot() на наборе данных Iris

Пакет brinton основан в первую очередь на грамматике графики, реализованной в R пакетом ggplot2. Кроме того, он использует пакет gridExtra для создания многопанельной графика и rmarkdown, для динамического составления результатов.

Создание автоматизированного приложения

Для автоматизации работы с функциями пакета brinton и динамической генерации необходимых отчетов, было реализовано приложение, позволяющее быстро и без лишних дополнительных действий обрабатывать исходные данные вне зависимости от формата и строить соответствующие динамические отчеты в нужном формате.

Приложением позволяет загружать набор данных и в зависимости от выбранной функции выдавать необходимый файл отчета. Рендеринг приложения приведен на рисунке 3.

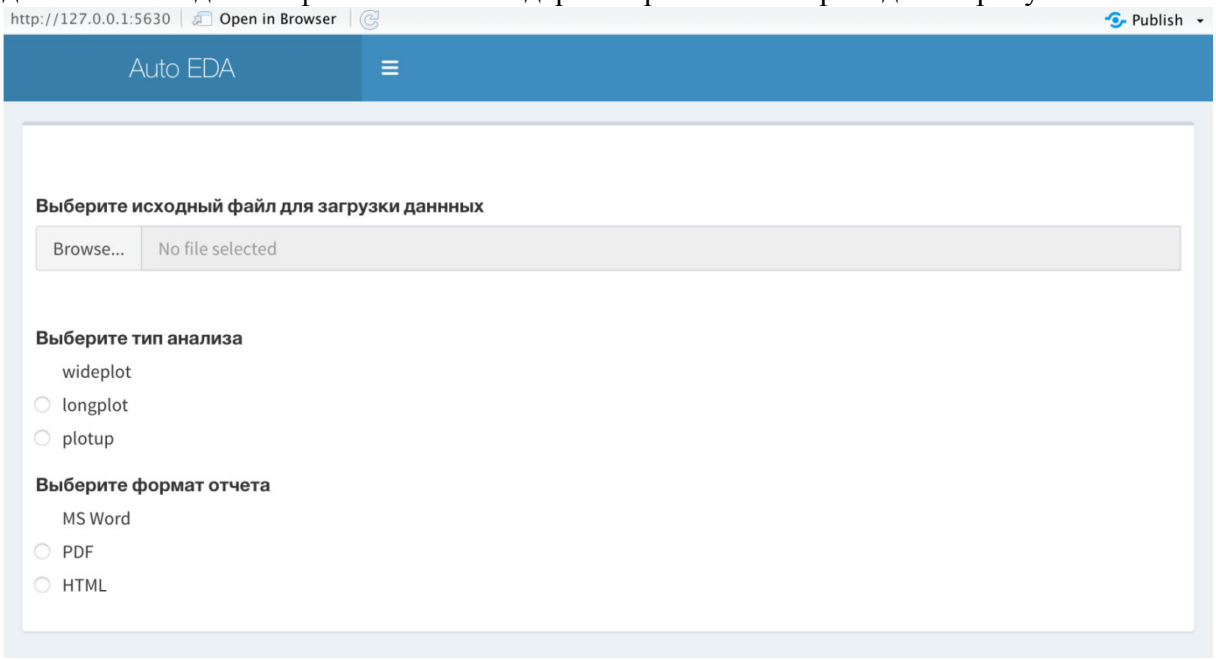


Рис. 3 – Рендеринг итогового приложения

Выводы

В рамках реализации исследования был проанализирован функционал пакета brinton, как инструмент графического представления EDA, предназначенный для облегчения представления, выбора и редактирования статистических графиков, построенных на ggplot2. Для упрощения процедура проведения разведочного анализа данных был разработан программный продукт, позволяющих создавать необходимые отчеты для последующего анализа и генерации гипотез на его основе.

Список литературы

1. CRAN – Package brinton [Электронный ресурс] URL: https://CRAN.R-project.org/package=brinton (дата обращения: 10.08.2021).
2. Data Visualization in R [Электронный ресурс] URL: https://www.datavis.ca/courses/RGraphics (дата обращения: 08.08.2021).
3. CRAN – Package xray [Электронный ресурс] URL: https://CRAN.R-project.org/package=xray (дата обращения: 10.08.2021).
4. CRAN – Package DataExplorer [Электронный ресурс] URL: https://CRAN.R-project.org/package=DataExplorer (дата обращения: 10.08.2021).
5. CRAN – Package SmartEDA [Электронный ресурс] URL: https://CRAN.R-project.org/package=SmartEDA (дата обращения: 10.08.2021).

05.13.18

А.А. Каменских, М.М. Пащенко

ФГАОУ ВО Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, anna_kamenskih@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНО-УПРОЧНЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА КОНТАКТ ШТАМПА И ПОЛУПРОСТРАНСТВА

В работе представлено численное моделирование деформационного поведения многослойного штампа с центральной частью, выполненной из кварца, и двумя полимерными защитными покрытиями в рамках контактного взаимодействия без учета трения с алюминиевым полупространством. Выполнено сравнение деформирования многослойной конструкции с моделью без учета защитно-упрочняющего полимерного многослойного покрытия. Установлено, что при учете защитного покрытия наблюдается снижения максимального уровня параметров зоны контакта и деформационных характеристик.

Ключевые слова: *оптическое волокно, защитно-упрочняющее покрытие, многослойная конструкция, полимер, контакт.*

В современном приборостроении оптические волокна применяются во многих отраслях науки и техники, их широко используют при изготовлении интерферометрических датчиков и оптоволоконных гироскопов [1, 2]. При этом в рамках технологических процессов при производстве и анализе качества оптических волокон возникает ряд задач требующих учет контактного взаимодействия между сопрягающимися поверхностями и анализа параметров зоны контакта. К таким задачам относится исследование влияния контакта на напряженно-деформированное состояние и оптические характеристики кварцевых оптических волокон в рамках технологической механики. Такие задачи можно разделить на два типа: 1) исследование влияния материалов, а так же геометрических особенностей оптических волокон на параметры зоны контакта; 2) анализ влияния контакта на напряженно-деформированное состояние и оптические характеристики кварцевых оптических волокон. На настоящий момент особый интерес представляют задачи связанные с анализом влияния на работу волоконно-оптических волноводов (ВОВ) защитно-упрочняющих покрытий из полимерных материалов [3-4].

Данная работа направлена на реализацию математического моделирования контактного взаимодействия тел канонической формой и анализ влияния свойств материалов защитно-упрочняющих покрытий ВОВ на параметры зоны контакта. Реализуется как тестовая задача и необходима для выхода на задачу процесса тестирования оптических волокон в рамках технологической пробы. В технологической пробе оптическое волокно с многослойным защитно-упрочняющим покрытием взаимодействует с алюминиевой катушкой. Поэтому в рамках модельной задачи рассмотрено контактное взаимодействие сферического многослойного штампа с полупространством (рис. 1).

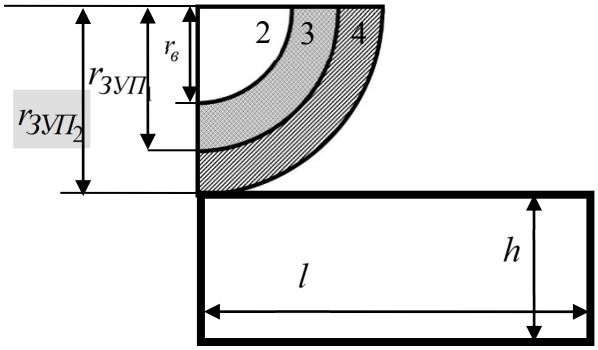


Рис. 1 – Расчетная схема

Расчетная схема задачи очень похожа на классическую задачу Герца и включает: 1 – алюминиевое полупространство, 2-4 – многослойный сферический индентор. Многослойный сферический индентор изготовлен из материалов ВОВ: 2 – кварцевый внутренний слой, 3 и 4 – промежуточный и внешний слой из полимерных материалов. Основные геометрические характеристики контактного узла и величина силы индентирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики расчетной схемы

Параметр	Значение	Параметр	Значение
$r_{кварц}$	40 мкм	l	167 мкм $\left(2r_{ЗУП2}\right)$
$r_{ЗУП1}$	65 мкм	h	83,5 мкм $\left(r_{ЗУП2}\right)$
$r_{ЗУП2}$	83,5 мкм	F	от 5,00E-4 Н до 5,00E-2 Н

Геометрические характеристики сферического индентора соответствуют стандартным геометрическим размерам оптического волокна типа Panda с ЗУП. В качестве материалов контактного узла выбраны основные материалы, входящие в ВОВ и материал катушки, участвующей в технологической пробе. Основным материалом, из которого изготавливаются оптические волокна типа Panda – это кварц. В модели не учитываются материалы других конструкционных элементов оптического волокна типа Panda. ЗУП изготавливаются из полимерных материалов, отличающихся свойствами. Катушки для технологической пробы изготовлены из алюминия. В таблице 2 представлены основные упругие физико-механические свойства материалов контактного узла. Постановка задачи не учитываются фрикционные свойства материалов, а так же контактное взаимодействие между слоями сферического индентора.

Таблица 2 – Физико-механические свойства материалов

Материал	Модуль упругости E, МПа	Коэффициент Пуассона ν
Алюминий	68646,55	0,340
Кварц	72000,00	0,170
Материал внутреннего слоя ЗУП	1,00	0,495
Материал внешнего слоя ЗУП	2000,00	0,350

Задача рассматривается в рамках теории упругости с учетом больших деформаций и контактного взаимодействия без учета трения по сопрягаемым поверхностям, контактные граничные условия соответствуют проскальзывание без трения:

$$\vec{u}^1 \neq \vec{u}^2,\ \sigma_n^1 = \sigma_n^2,\ \sigma_{n\tau}^1 \neq \sigma_{n\tau}^2,$$

где $\vec{u}$ – вектор перемещений контактной границы, σ_n – напряжение по нормали к контактной границе, $\sigma_{n\tau}$ – касательные напряжения на контактной границе, индексы 1 и 2 – соответствуют двум поверхностям сопряжения.

В рамках работы выполнена серия численных экспериментов направленная на анализ влияния нагрузки и учета многослойного защитно-упрочняющего покрытия на параметры контакта и деформационные характеристики. На рис. 2 представлены зависимости максимального уровня контактного давления и радиуса зоны контакта от нагрузки.

Учет многослойного защитно-упрочняющего покрытия из полимерных материалов позволило снизить уровень контактного давления приблизительно в 10 раз и уменьшить радиус зоны контактного взаимодействия штампа и полупространства приблизительно в 3 раза при минимальном уровне нагрузки. Можно заметить, что контактное давление и радиус области контактного взаимодействия нелинейно возрастают, при увеличении нагрузки, что представлено на рис. 2. При увеличении нагрузки на 2 порядка контактное давление и радиус контакта увеличиваются приблизительно в 3,83 и 5,06 раза соответственно.

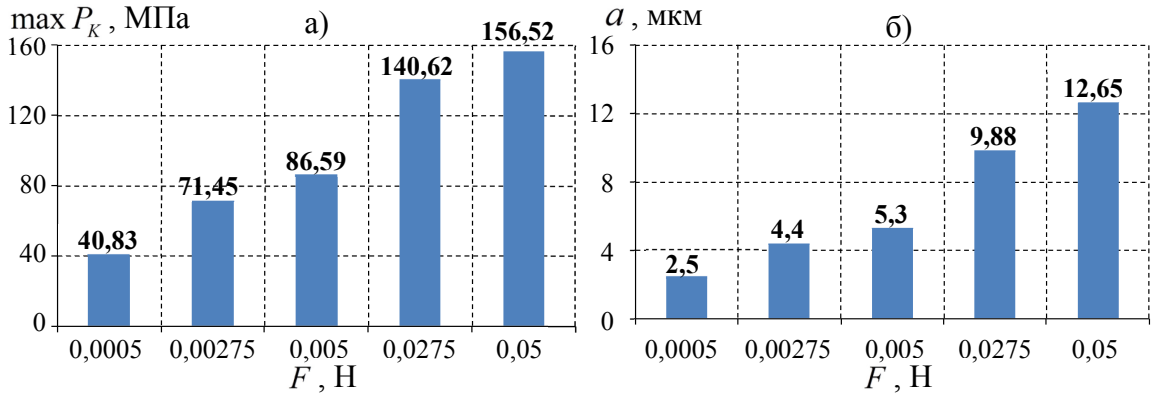


Рис. 2 – Параметры области контакта в зависимости от нагрузки:
а) контактное давление; б) радиус область контакта

Рассмотрим влияние ЗУП на деформирование внутренней части индентора из кварца, сравнение выполнено с моделью контактного взаимодействия сферического штампа из кварца без учета ЗУП (рис. 3).

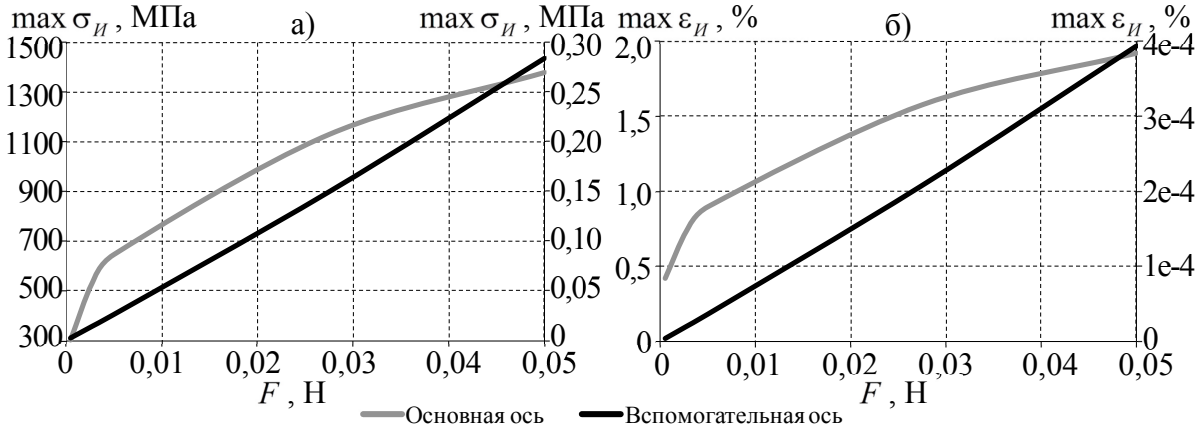


Рис. 3 – Интенсивность напряжений (а) и деформаций (б) кварца:
черная линия – модель с учетом ЗУП; серая – модель без учета ЗУП

Можно отметить, что учет ЗУП оказывает значительное влияние на параметры напряженно-деформированного состояния внутренней части индентора из кварца. Максимальная интенсивность напряжений и упругих деформаций в модели с учетом двухслойного защитно-упрочняющего покрытия на порядки ниже, чем в модели без учета ЗУП.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 20-48-596009.

Список литературы

1. *Даниелян Г.Л., Иванов С.В., Стешаков Е.Г., Молокович И.Н., Иванов Н.А., Вихрова О.В.* Высокотемпературный волоконно-оптический сенсор контроля радиальных зазоров в стендах газотурбинных двигателей // Фотон-экспресс. 2019. №6(158). С. 328-329.

2. *Esipenko I.A., Lykov D.A., Smetannikov O.Y.* Using the transversely isotropic characteristics of the coil to calculate the thermal-drift parameters of a fiber-optic gyroscope // Journal of Optical Technology. 2019. Т. 86, № 5. P. 289-295.

3. *Сметанников О.Ю., Труфанов А.Н., Лесникова Ю.И.* Исследование оптико-механических характеристик волокна в условиях термоцикла // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20, № 6-2(86). С. 255-260.

4. *Лесникова Ю.И., Сметанников О.Ю., Труфанов А.Н.* Численное моделирование контактного термосилового воздействия на оптическое волокно в полимерном защитно-упрочняющем покрытии // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 2. С. 28-31.

05.13.18

А.А. Каменских, М.М. Пащенко

ФГАОУ ВО Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, anna_kamenskih@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРА КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШТАМПА С МНОГОСЛОЙНЫМ ЗАЩИТНО-УПРОЧНЯЮЩИМ ПОКРЫТИЕМ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ ШТАМП-ПОЛУПРОСТРАНСТВО

В работе исследовано влияние характера контактного взаимодействия многослойного индентора с полупространством. Рассмотрено влияния фрикционных свойств зоны сопряжения штампа с полупространством и контактной склейки между слоями многослойного индентора. Установлено, что фрикционные свойства оказывают значительное влияние на параметры контакта и деформационные характеристики сборки. Учет контактной склейки между слоями многослойного индентора оказывают не значительное влияние на напряженно-деформированное состояние системы штамп-полупространство.

Ключевые слова: *оптическое волокно, многослойная конструкция, полимер, трение, контакт, характер контактного взаимодействия.*

Актуальной задачей недропользования, связанной с применением современных полимерных и композиционных материалов в качестве защитных и защитно-упрочняющих покрытий (ЗУП) является создание эффективных волоконных и интегрально-оптических системы передачи и кодирования данных, системы навигации для применения в областях, в которых невозможно позиционирование по сигналу спутниковой сети; развитие методов математического моделирования задач материаловедения применительно к датчикам и приборам, предназначенным для мониторинга и диагностики геологических и промышленных объектов природного и искусственного происхождения. Оптические волокна с полимерными защитными и защитно-упрочняющими покрытиями применяются при создании эффективных волоконных и интегрально-оптических систем, а так же в качестве чувствительных элементов в современных высокоточных датчиках [1-2]. Одной из важных проблем, связанных с моделированием многослойных ЗУП, является реализация контактного взаимодействия как в зонах сопряжения с металлическими и не металлическими объектами контакта, так и между слоями многослойной конструкции.

Данная работа направлена на анализ влияния характера контактного взаимодействия в зоне сопряжебния штамп-полупространство и зонах сопряжения слоев многослойного штампа (рис. 1). Рассматривается модельная задача в рамках технологической механики волоконно-оптических волноводов и направлена на оценку влияния разного характера контактного взаимодействия ЗУП с оптическим волокном и другими объектами.

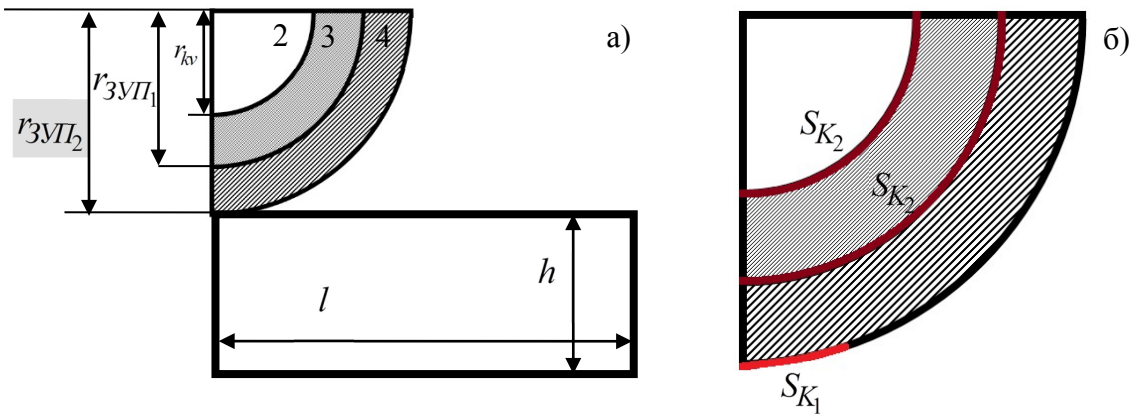


Рис. 1 – Расчетная схема:
а) полная модель; б) сферический индентор

Упрощенная расчетная схема задачи включает полупространство (1) и сферический штамп (2) радиуса r_{kv}= 40 мкм с ЗУП (3-4) радиусами $r_{ЗУП1}$=65 мкм и $r_{ЗУП2}$=83,5 мкм. Моделируется только часть полупространства из алюминия размером $l \times h = 2r_{ЗУП2} \times r_{ЗУП2}$, отброшенные части замебняются условиями симметрии. Многослойный сферический штамп выполнен из трех материалов: внутренний слой – кварц ($E_{kv} = 72000$ МПа и $v_{kv} = 0{,}17$), промежуточный и внешний слой изготовлены из полимерных материалов отличающихся физико-механическими свойствами ($E_{ЗУП1} = 1$ и $E_{ЗУП2} = 2000$ МПа, $v_{ЗУП1} = 0{,}495$ и $v_{ЗУП2} = 0{,}35$ – справочные (табличные) значения).

Задача рассматривается в рамках теории упругости с учетом больших деформаций и направлена на исследование влияния фрикционных свойств материалов на параметры контакта зоны сопряжения многослойного индентора и полупространства, а так же исследование влияния контактной склейки слоев сферического индентора на работу узла. В рамках исследования рассмотрено три варианта контактных граничных условий.

В первом случае, при моделировании контактного взаимодействия между индентором и полупространством без учета трения по сопрягаемым поверхностям контактные граничные условия включают в себя проскальзывание без трения:

$$\vec{u}^1 \neq \vec{u}^2, \ \sigma_n^1 = \sigma_n^2, \ \sigma_{n\tau}^1 \neq \sigma_{n\tau}^2,$$

где $\vec{u}$ – вектор перемещений контактной границы, σ_n – напряжение по нормали к контактной границе, $\sigma_{n\tau}$ – касательные напряжения на контактной границе, индексы 1 и 2 – соответствуют двум поверхностям сопряжения.

Во втором случае моделируется фрикционное контактное взаимодействие, которое включает в себя полный набор статусов контактных состояний (проскальзывание, прилипание, отлипание) с заранее неизвестным характером их распределения ранее описанный в [3].

В многослойном штампе в первом и втором варианте реализации контактного взаимодействия не учитывается контакт между слоями, многослойная конструкция деформируется совместно.

В третьем случае поверхность сопряжения не одна, при этом на разных поверхностях сопряжения реализуются разные типы контактного состояния (рис. 1): на границе контакта S_{K_1}. реализован фрикционный контакт, описанный в [3]; на границе контакта S_{K_2} реализована контактная склейка поверхностей сопряжения без трения: $u_n^1 = u_n^2$, $u_\tau^1 = u_\tau^2$,

$\sigma_n^1 \neq \sigma_n^2$, $\sigma_{n\tau}^1 \neq \sigma_{n\tau}^2$.

В рамках исследования выполнена серия численных экспериментов с силой индентирования от 0,0005 до 0,05 Н, направленная на анализ влияния характера контактного взаимодействия на деформирование сборки штамп-полупространство. На рис. 2 представлены зависимости максимального уровня контактного давления и радиуса зоны контакта от нагрузки для трех вариантов контактного взаимодействия.

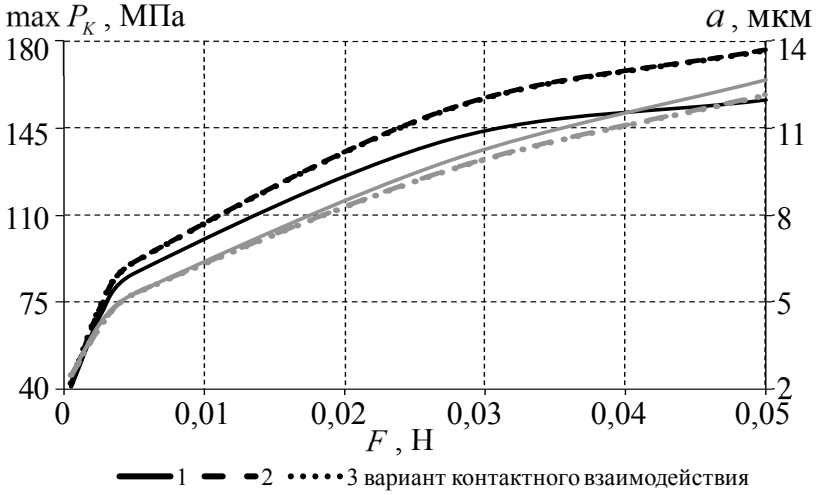


Рис. 2 – Параметры области контакта в зависимости от нагрузки:
а) контактное давление; б) радиус область контакта

Можно отметить, что введение в систему трения между сферическим индентором и полупространством оказывает значительное влияние на параметры контактного взаимодействия: увеличивается уровень максимального контактного давления при снижении радиуса контактного взаимодействия. При этом учет контактной склейки между объемами материалов сферического индентора оказывает незначительное влияние на параметры зоны сопряжения штамп-полупространство.

Влияние характера контактного взаимодействия на деформирование центральной части штампа, изготовленной из кварца (рис. 3).

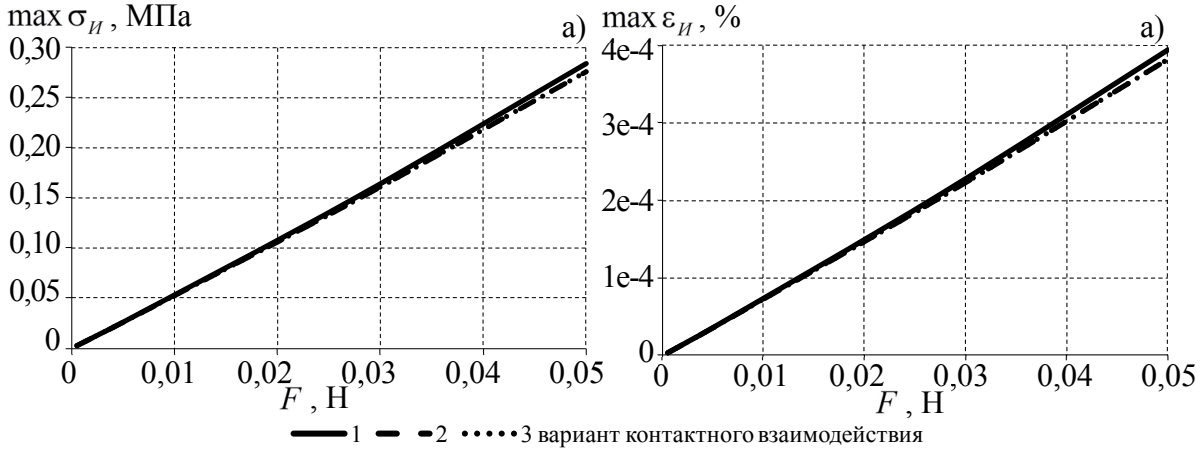


Рис. 3 – Интенсивность напряжений (а) и деформаций (б) кварца

При нагрузках до 0,02 Н учет разных характеристик контактного взаимодействия оказывает незначительное влияние на деформирование центральной части штампа, при нагрузках более 0,02 Н при учете фрикционных свойств в зоне сопряжения индентора и полупространства можно отметить снижение интенсивности напряжений и упругих деформаций. Как и в случае параметров контакта, учет контактной склейки между слоями сферического индентора оказывает незначительное влияние на деформирование

центрального объема сферического штампа. В рамках дальнейшего исследования требуется рассмотрение более широкого набора условий контакта в зонах сопряжения многослойного индентора, учет конструктивных элементов оптического волокна (силовые стержни, светопроводящая жила) с переходом к плосконапряженной и плоско-деформированной постановке задачи, а так же учет экспериментально полученных свойств материалов защитно-упрочняющих полимерных покрытий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 20-48-596009.

Список литературы

1. *Сметанников О.Ю., Труфанов А.Н., Лесникова Ю.И.* Исследование оптико-механических характеристик волокна в условиях термоцикла // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20, № 6-2(86). С. 255-260.

2. *Лесникова Ю.И., Сметанников О.Ю., Труфанов А.Н.* Численное моделирование контактного термосилового воздействия на оптическое волокно в полимерном защитно-упрочняющем покрытии // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 2. С. 28-31.

3. *Adamov A.A., Kamenskikh A.A., Nosov Yu.O.* Deformation behavior numerical analysis of the flat sliding layer of the spherical bearing with the lubrication hole // Integrated Science in Digital Age. 2019. P. 314-325.

05.13.18

А.В. Колсанов, С.С. Чаплыгин, Е.Г. Орехова, А.В. Иващенко

Самарский государственный медицинский университет,
Лидирующий исследовательский центр, реализующий дорожную карту по «сквозной» цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности»,
Самара, anton.ivashenko@gmail.com

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ОПЕРАЦИОННОГО МИКРОСКОПА

Статья посвящена синхронизации аппаратно-программного комплекса «Автоплан», предназначенного для планирования и контроля оперативного хирургического вмешательства в среде дополненной реальности и электронного микроскопа. Предложенная математическая модель используется для согласованного отображения полупрозрачных трехмерных моделей индивидуальной анатомии пациента и намеченных хирургом ориентиров поверх изображения, получаемого через оптическую систему операционного микроскопа, как в его окулярах, так и на мониторе системы хирургической навигации «Автоплан». Интеграция с электронным микроскопом расширяет возможности комплекса, в частности позволяет его применять в нейрохирургии.

Ключевые слова: *дополненная реальность, оптический трекинг, планирование хирургического вмешательства, нейрохирургия.*

Современные технологии дополненной реальности обеспечивают качественно новые возможности в медицинских приложениях. Особенно востребованы они в медицинской диагностике и хирургии, поскольку позволяют реализовать дополнительное информирование в режиме реального времени, существенно повышая тем самым эффективность автоматизированной поддержки принятия решений.

В данной статье описывается специализированное решение по использованию электронного микроскопа в аппаратно-программном комплексе (АПК) «Автоплан», позволяющем реализовать планирование оперативного хирургического вмешательства в среде дополненной реальности. Работа АПК «Автоплан» [1, 2] основана на принципах оптического трекинга: стереокамера комплекса обеспечивает отслеживание системы отражающих сфер на навигационном инструменте в инфракрасном диапазоне. Интеграция с электронным микроскопом расширяет возможности комплекса, в частности позволяет применять его в нейрохирургии.

АПК «Автоплан» предназначен для планирования, управления и контроля результатов хирургического лечения. На основе данных компьютерной томографии производится оконтуривание и получение подробных 3D-моделей оперируемых органов. Благодаря этому возможна четкая визуализация требуемых структур и составление детального плана операции. Данная информация отображается в среде дополненной реальности (см. Рис. 1), что позволяет использовать современные технологии реализации пользовательских интерфейсов [3, 4] для поддержки принятия решений.

После планирования в операционной хирург проводит регистрацию: с помощью навигационной указки отмечается на пациенте несколько точек, с помощью которых система понимает расположение пациента на хирургическом столе. После этого хирург может «навигировать» по телу пациента как по 3D-модели, так и на плоских срезах, корректируя при необходимости направление хирургического вмешательства в соответствии с данными и обеспечивая тем самым минимальную зону хирургического доступа и высокую точность действий.

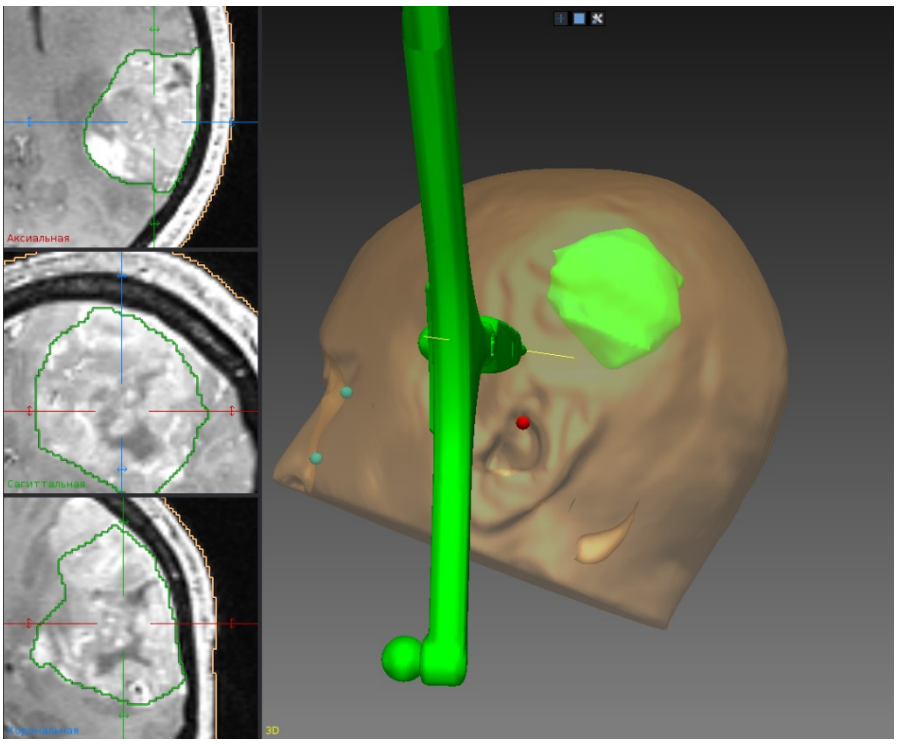


Рис. 1 – Дополненная реальность в АПК «Автоплан»

Стоит отметить, что реализация дополненной реальности в хирургии в настоящее время является актуальной и важной научно-технической проблемой [5 – 7]. Известен успешный опыт применения технологий дополненной реальности [8, 9], вдохновляющей активные исследования в этой области. При этом, многие вопросы остаются открытыми, например, задача сопряжения сцен дополненной реальности в навигационной системе и электронном микроскопе [10].

Данная задача актуальна в нейрохирургии. В операционном микроскопе хирург видит видимые данные (оперируемую область), в АПК «Автоплан» данные, подготовленные по результатам КТ/МРТ.

Интеграция АПК «Автоплан» с операционным микроскопом производится для улучшения пространственной ориентации хирурга во время нейрохирургических операций. В дополненной реальности реализуется отображение полупрозрачных трёхмерных моделей индивидуальной анатомии пациента и намеченные хирургом ориентиры поверх изображения, получаемого через оптическую систему микроскопа.

Исходными данными для работы АПК «Автоплан» являются данных КТ и/или МРТ. С помощью различных инструментов программного обеспечения выполняется детальное оконтуривание необходимых анатомических структур и получение подробных 3D-моделей.

Для совмещения данных навигатора и операционного микроскопа была предложена геометрическая модель, представленная на Рис. 1.

Отслеживание головки операционного микроскопа производится благодаря закреплению относительно нее системы сфер неподвижно, что обеспечивает оптическую взаимосвязь. Аппаратная взаимосвязь реализуется благодаря подключению операционного микроскопа и АПК «Автоплан» комплектом соединительных проводов.

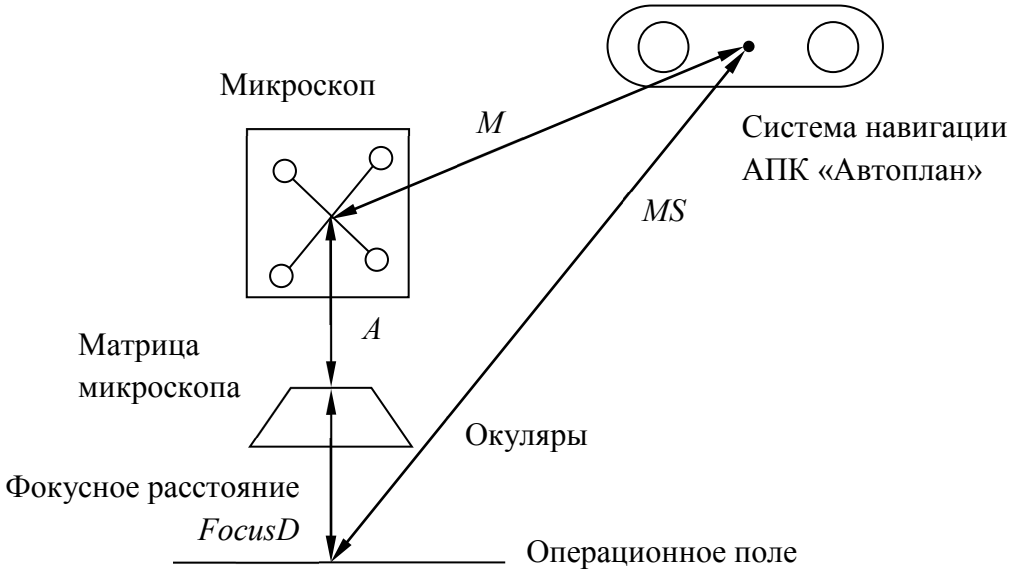


Рис. 2 – Схема согласования операционного микроскопа и АПК «Автоплан»

Для решения задачи по формированию и позиционированию объектов дополненной реальности на изображениях операционного микроскопа необходимо учитывать несколько параметров: сдвиг и поворот фокальной плоскости микроскопа, сдвиг и поворот системы сфер микроскопа, юстировка операционного микроскопа, фокусное расстояние микроскопа.

В предложенной математической модели формирования и позиционирования объектов дополненной реальности на изображениях операционного микроскопа все перечисленные параметры следующим образом:

$$\begin{bmatrix} MSx_0 & MSx_1 & MSx_2 & MSx \\ MSy_0 & MSy_1 & MSy_2 & MSy \\ MSz_0 & MSz_1 & MSz_2 & MSz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Mx_0 & Mx_1 & Mx_2 & Mx \\ My_0 & My_1 & My_2 & My \\ Mz_0 & Mz_1 & Mz_2 & Mz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} Ax_0 & Ax_1 & Ax_2 & Ax \\ Ay_0 & Ay_1 & Ay_2 & Ay \\ Az_0 & Az_1 & Az_2 & Az \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & FocusD \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1),$$

где:

MS - матрица сдвига и поворота фокальной плоскости операционного микроскопа;

M - матрица сдвига и поворота системы сфер операционного микроскопа;

A – матрица юстировки операционного микроскопа;

x_0, y_0, z_0 - оси поворота;

x, *y*, *z* – сдвиг;

FocusD – фокусное расстояние операционного микроскопа.

Благодаря совместной обработке данных производится отображение полупрозрачных трёхмерных моделей индивидуальной анатомии пациента и намеченные хирургом ориентиры поверх изображения, получаемого через оптическую систему операционного микроскопа, как в окулярах операционного микроскопа, так и на мониторе системы хирургической навигации «Автоплан».

Предлагаемое решение позволяет синхронизировать трехмерные сцены, АПК «Автоплан» и операционного микроскопа, что обеспечивает формирование дополненной реальности при проведении хирургического оперативного вмешательства.

Благодарности

Результаты получены в рамках реализации программы деятельности Лидирующего исследовательского центра, реализующего дорожную карту по «сквозной» цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности» при финансовой поддержке Минкомсвязи России и АО «РВК»

(Договор о предоставлении гранта №003/20 от 17.03.2020 г., идентификатор соглашения о предоставлении субсидии - 0000000007119P190002).

Список литературы

1. *Колсанов А.В., Каторкин С.Е., Зельтер П.М., Быстров С.А., Колесник И.В., Чаплыгин С.С., Андреев И.С.* Виртуальное планирование в абдоминальной хирургии: опыт использования в хирургии печени, селезенки и поджелудочной железы // Клиническая и экспериментальная хирургия, Т. 5, № 1 (15). – 2017. - с. 31 – 36

2. *Колсанов А.В., Зельтер П.М., Хобта Р.В., Чаплыгин С.С., Манукян А.А.* Первые результаты применения интраоперационной навигации на основе данных КТ и МРТ у пациента с опухолью межжелудочковой перегородки // Российский электронный журнал лучевой диагностики, Том 10, № 4. - 2020. – с. 271 – 276

3. Virtual and Augmented reality: concepts, methodologies, tools and applications. Information resources management association, IGI Global USA, 2018, 1845 p.

4. *Fong J., Ocampo R., Tavakoli M.* Intelligent robotics and immersive displays for enhancing haptic interaction in physical rehabilitation environments // Haptic Interfaces for Accessibility, Health, and Enhanced Quality of Life. – 2020. - pp. 265 – 297

5. *Vávra P., Roman J., Zonča P., Ihnát P., Němec M., Kumar J., Habib N., El-Gendi A.* Recent development of Augmented Reality in surgery: a review // Journal of Healthcare Engineering, vol 2017, Article ID 4574172. - 2017. - 9 p.

6. *Douglas D., Wilke C., Gibson D., Petricoin E., Liotta L.* Virtual Reality and Augmented Reality: advances in surgery // Biology, Engineering and Medicine, 3. 10.15761/BEM.1000131, 2017

7. *Ha H-G., Hong, J.* Augmented Reality in medicine // Hanyang Medical Reviews, 36(4). – 2016. – pp. 242 – 247

8. *Casari F.A., Navab N., Hruby L.A. et al.* Augmented Reality in orthopedic surgery is emerging from proof of concept towards clinical studies: a literature review explaining the technology and current state of the art // Current Reviews in Musculoskeletal Medicine, 14. – 2021. – pp. 192 – 203

9. *Yong M., Pauwels J., Kozak F., Chadha N.* Application of Augmented Reality to surgical practice: a pilot study using the ODG R-7 smartglasses // Clinical Otolaryngology, 45. – 2020. - pp. 130 - 134

10. *Boutellier R., Gassmann O., von Zedtwitz M.* Leica Microscopy: international transfer of R&D activities // Managing Global Innovation. Springer, Berlin, Heidelberg. – 2008. – pp. 647 – 661

05.13.18

А.С. Мальцев, П.В. Максимов канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра вычислительной математики, механики и биомеханики,
Пермь, Lekanys@mail.ru

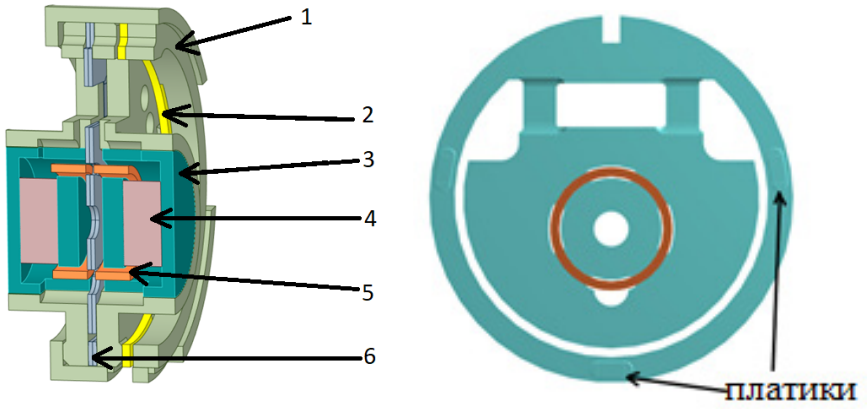
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОНИЯ В КВАРЦЕВОМ АКСЕЛЕРОМЕТРЕ ПРИ СВАРНОМ И КЛЕЕВОМ СОЕДИНЕНИЯХ

С использованием верифицированной компьютерной модели методами вычислительной механики определяется напряженно деформированное состояние акселерометра с клеевым и сварным способом соединения элементов. Получены контактные давления при различных способах сборки. Обосновано преимущество сварного соединения перед клеевым.

Ключевые слова: *акселерометр, метод конечных элементов, механика деформируемого твердого тела, контактная задача*.

В качестве объекта исследования рассматривается кварцевый емкостной акселерометр, подробный принцип работы которого представлен в работах [1,2,3]. Ранее авторами в работе [4] представлены конечно-элементная модель рассматриваемого акселерометра и общая методика моделирования напряженно-деформированного состояния акселерометра при различных видах воздействий, в том числе, температурных; выполнена верификация созданной модели путем сравнения результатов моделирования с результатами натурных экспериментов, продемонстрировавшая высокую адекватность получаемых численных решений. В настоящей работе ранее созданная модель используется для исследования работоспособности акселерометра при различных технологических вариантах исполнения, проводится сравнение напряженно-деформированного состояния элементов акселерометра при клеевом и сварочном способах соединения компонентов сборки. Авторами решается задача о термоупругом деформировании пространственного тела в предположении линейного поведения материалов, математическая постановка краевой задачи приведена в [4], в качестве метода решения поставленной задачи применяется метод конечных элементов, реализованный в программном пакете ANSYS. Решаемая задача усложнена вследствие использования условий контакта с трением между отдельными элементами акселерометра, а также применения методики рождения и смерти конечных элементов, используемой для автоматического определения перемещающихся при деформировании конструкции зон клеевого или сварного соединений.

В таблице 1 приведены физико-механические свойства материалов конструкции, на рисунке 1 показано размещение элементов из рассматриваемых материалов в общей сборке.



а) б)

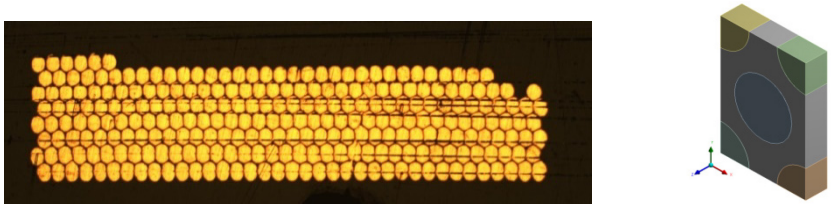
Рис. 1 – Конструкция емкостного кремниевого акселерометра
а) схема используемых материалов (1 – 32НКД, 2 – 44НХТЮ, 3 – 50Н, 4 – сталь, 5 – катушка, 6 – кварц); б) чувствительный элемент с платиками на подвесе, контактирующими с магнитными системами

Таблица 1 – Физико-механические свойства используемых материалов

	Плотность, кг/м3	**Модуль Юнга, Па**	**Коэффициент Пуассона**	**Коэффициент температурного расширения, К-1**
32НКД	8200	$1{,}5\cdot10^{11}$	0,29	$8{,}9\cdot10^{-7}$
Кварц	2200	$7{,}22\cdot10^{10}$	0,18	$5{,}5\cdot10^{-7}$
44НХТЮ	8000	$1{,}79\cdot10^{11}$	0,3	$8\cdot10^{-6}$
Клей	1540	$3{,}5\cdot10^{9}$	0,33	$5{,}7\cdot10^{-5}$
50Н	8200	$1{,}6\cdot10^{11}$	0,3	$8{,}2\cdot10^{-6}$

При моделировании принимается упрощение, что клей уже высох и поэтому фазовые переход не рассматривается, клей является твердым телом.

Присутствующая в составе сборки катушка магнитоэлектрического датчика силы выполнена в виде намотанной на сердечник и залитой лаком проволоки. Катушка рассматривается как сплошное трансверсально-изотропное тело, физико-механические свойства которого определяются по изотропным свойствам его компонентов (таблица 2), на рисунке 2а представлен разрез реальной катушки, а на рисунке 2б – рассматриваемая при определении осредненных механических свойств элементарная ячейка периодичности. Осредненные свойства находятся из численных экспериментов на растяжение вдоль осей Ox, Oy,Oz и сдвиг вдоль осей Oz, Ox [5].



а) б)

Рис. 2 – Катушка магнитоэлектрического датчика силы
а) катушка в разрезе; б) ячейка периодичности

Осредненные физико-механические свойства представлены в таблице 3.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики материалов катушки

	Плотность, кг/м^3	**Модуль Юнга, Па**	**Коэффициент Пуассона**	**Коэффициент температурного расширения, К$^{-1}$**
Медь	8900	$1{,}1\cdot10^{11}$	0,34	$18\cdot10^{-6}$
Лак	1250	$3\cdot10^{9}$	0,35	$70\cdot10^{-6}$
Стекло	2100	$2{,}6\cdot10^{10}$	0,18	$10\cdot10^{-6}$

Таблица 3 – Осредненные характеристики материала катушки

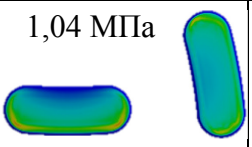
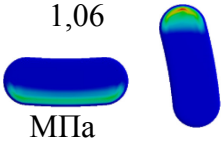
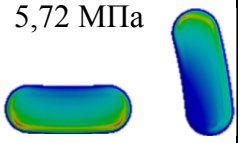
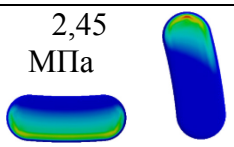
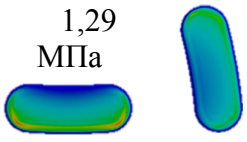
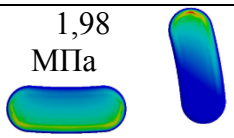
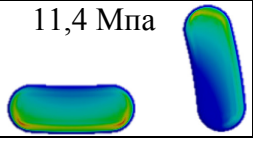
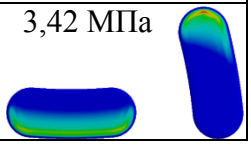
	Плотность, кг/м^3	**Модуль Юнга, Па**	**Коэффициент Пуассона**	**Коэффициент температурного расширения, К$^{-1}$**
Катушка с лаком	4461	$E_z=55\cdot10^6$	$\mu_{xy}=0,5$	$\alpha_y=\alpha_x=19\cdot10^{-6}$
		$E_x=E_y=7\cdot10^6$	$\mu_{zx}=\mu_{zy}=0,35$	$\alpha_z=52\cdot10^{-6}$
		$E_x=E_y=45\cdot10^6$	$\mu_{zx}=\mu_{zy}=0,27$	$\alpha_z=14\cdot10^{-6}$

В узлах соединения некоторых деталей акселерометра используется клей, который имеет больший коэффициент температурного расширения, чем у других деталях, что может приводить к деформациям внутренних деталей акселерометра. Один из способов разрешения проблемы - замена клеевого соединения на сварное, поэтому далее в работе проводится серия вычислительных экспериментов, в рамках которых выполняется оценка напряженно-деформированного состояния в элементах акселерометра при различных технологиях его сборки в единую конструкцию, рассматриваются модели акселерометра с клеевым и сварным соединениями конструктивных элементов.

Основными критериями сравнения и определения работоспособности датчика в данной работе являются картина распределения контактных напряжений и остаточное усилие на платиках чувствительного элемента акселерометра (рисунок 1б).

В ходе моделирования и численных экспериментов выявлено, что остаточное усилие на платиках подвеса вносит значительный вклад в измерительную погрешность акселерометра. Была проведена численная оценка напряженно-деформированного состояния элементов акселерометра при различных видах соединения магнитной системы с втулкой обоймы, установлено влияние типа соединения на распределение контактных давлений на платиках подвеса. Результаты исследования представлены графически в таблице 4.

Таблица 4 – Контактные давления при различных способах сборки

Режим	**Клеевое соединение**	**Сварочное соединение**
Сжатие	1,04 МПа 	1,06 МПа 
22 °С	5,72 МПа 	2,45 МПа 
85 °С	1,29 МПа 	1,98 МПа 
минус 60 °С	11,4 Мпа 	3,42 МПа 

Заключение

По результатам, полученным в ходе моделирования, видно, что клеевое соединение для данной конструкции обеспечивает более равномерное распределение контактного давления при различных температурах, чем сварное соединение, однако при сварном соединении обеспечивается меньший разброс контактного давления на платиках, что является ключевым фактором при сборке, так как. меньшее усилие обеспечивает меньшие деформации внутренних узлов акселерометра. Рациональным способом исполнения акселерометра является сборка конструктивных элементов с использованием сварного соединения.

Список литературы

1. *Вавилов В.Д.* Интегральные датчики: Учебник/ Нижегород. гос. техн. ун-т Н. Новгород. 2003. – 503 с.
2. *Распопов В.Я.* Микромеханические приборы: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с
3. *Мальцев А.С., Максимов П.В.* Моделирование сварочного соединения в кварцевом маятниковом акселерометре. // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 7. С. 105-107.
4. *Максимов П.В., Конотоп Д.А.* Численная модель маятникового акселерометра с учетом электрического аналогового контура обратной связи. // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 7. С. 127-130.
5. *Ильиных Г.В., Сметанников О.Ю.* Многоуровневое математическое моделирование термомеханического поведения тканевых композитов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 10. – С. 105-109.

05.13.18

А.С. Мальцев, П.В. Максимов канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра вычислительной математики, механики и биомеханики
Пермь, Lekanys@mail.ru

ОЦЕНКА МЕТОДАМИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КВАРЦЕВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА ПРИ РУЧНОЙ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКЕ

В работе с использованием верифицированной ранее расчетной методики определения НДС акселерометра выполнено моделирование деформирования устройства в условиях ручной сборки датчика. Определено рациональное сжимающее усилие сборки, обеспечивающее целостность конструкции при эксплуатации. Выполнено моделирование процесса автоматизированной сборки датчика. Выявлена потеря работоспособности датчика при заданных параметрах автоматизированной сборки.

Ключевые слова: *акселерометр, вычислительная механика, метод конечных элементов, автоматизация производства, ANSYS.*

В настоящее время миниатюрные инерционные измерительные устройства нашли широкое применение в различных областях промышленности от навигации до машиностроения. Актуальными задачами являются как непосредственно разработка новых высокоточных датчиков и эффективных актуаторов, так и рационализация технологии их массового изготовления, обеспечивающей заложенные проектные характеристики.

В работе рассматривается механический кварцевый емкостной акселерометр КА-1 с рабочим диапазоном температур от -55 до +85 °С, назначение и общие проблемы проектирования которого представлены в работах [1-3], а общий вид сборки представлен на рисунке 1. В работе [4] представлен принцип работы датчика, представлена трехмерная конечно-элементная модель датчика, а также приведено качественное и количественное сравнение результатов численного моделирования напряженно-деформированного состояния в акселерометре с данными натурных экспериментов, проведенных с использованием реальных элементов датчика. Полученные результаты позволяют утверждать, что созданная и верифицированная модель устройства пригодна для установления основных закономерностей деформирования элементов акселерометра, исследования влияния различных конструктивных и технологических особенностей на работоспособность датчика. Так, в частности, ранее в работе авторов Мальцев А.С., Максимов П.В. «Численное моделирование напряженно-деформированного состояния в кварцевом акселерометре при сварном и клеевом соединениях» методами математического моделирования определена необходимость применения сварного соединения элементов акселерометра в процессе сборки датчика как единого устройства.

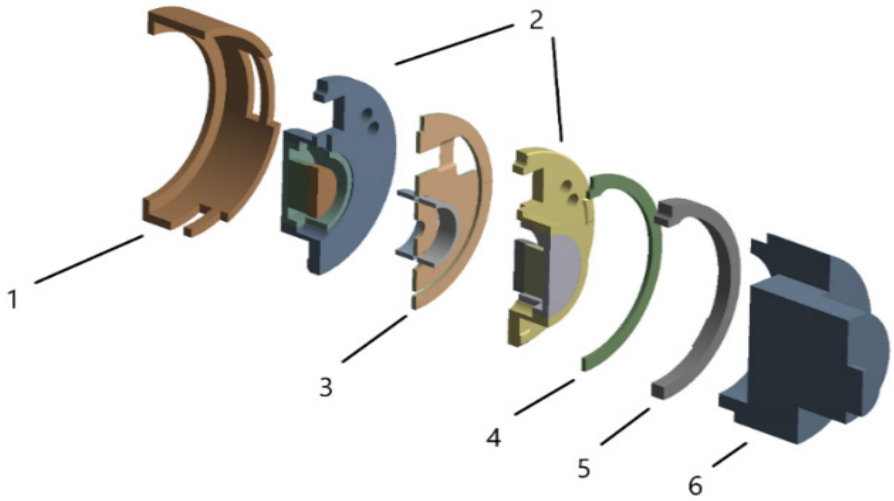


Рис. 1 – Основные элементы акселерометра
(1-втулка обоймы, 2-верхняя\нижняя магнитные системы, 3-подвес, 4-пружина,
5-запорное кольцо, 6-державка)

В данной работе описанная в [4] конечно-элементная модель и методика моделирования применяются для определения работоспособности датчика при ручной и автоматизированной сборках датчика, несколько отличающихся по технологическим этапам. Результаты моделирования для каждого способа сборки представлены далее в отдельных подразделах.

Моделирование деформирования акселерометра при различных внешних воздействиях в условиях ручной сборки датчика

Используя методику моделирования сварного соединения для акселерометра КА-1 [4], определим рациональную величину сжимающего усилия, которое обеспечивает такую силу трения, при которой магнитные системы останутся неподвижными относительно друг друга, если же они начнут смещаться, то прибор потеряет свою работоспособность. Так же усилие должно обеспечивать минимальное отклонение маятника от первоначального положения, так как такое отклонение негативно влияет на точность измерения датчиком ускорения. Определяемой в процессе решения задачи величиной является максимальное ускорение, при котором начинается смещение магнитных систем относительно друг друга. Степень деформирования акселерометра определяется по величине первоначального отклонения маятника (таблица 1).

Таблица 1 – Отклонение маятника при различных значениях прижимного усилия во время сборки

Значение прижимного усилия при сборке, кгс	**Отклонение маятника, м**
1	$1.39 \cdot 10^{-7}$
2	$1.47 \cdot 10^{-7}$
3	$1.49 \cdot 10^{-7}$

На рисунке 2 приведены значения ускорений, при которых происходит смещение магнитных систем относительно друг друга.

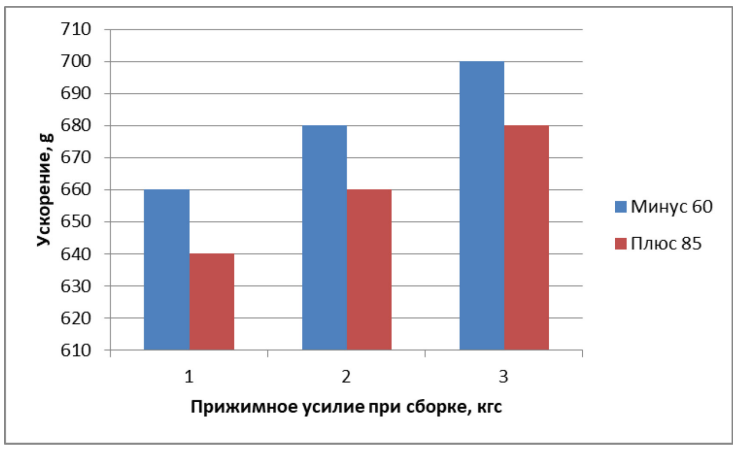


Рис. 2 – Значения предельных ускорений в зависимости от значения прижимного усилия и температурного режима

Моделирование работоспособности акселерометра при автоматизированной сборке

Переход от ручной сборки акселерометра к автоматизированной требует некоторого изменения последовательности выполняемых технологических операций, что, в свою очередь, может повлиять на изменение полей внутренних напряжений и картину деформирования под внешней нагрузкой элементов датчика. Сравнение последовательности технологических операций при ручной и автоматизированной сборках приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение этапов сборочного процесса при ручной и автоматизированной сборке акселерометра

Этап процесса сборки	**Ручная сборка**	**Автоматизированная сборка**
1	Во втулку обоймы вкладывается все внутренние узлы	Во втулку обоймы вкладывается нижняя магнитная система, подвес, верхняя магнитная система
2	Наносится сварной шов, соединяющий верхнюю магнитную систему с втулкой обоймы паз	Прикладывается прижимное усилие на верхнюю магнитную систему
3	Наносится сварной шов, соединяющий запорное кольцо с втулкой обоймы паз	Наносится сварной шов, соединяющий верхнюю магнитную систему с втулкой обоймы паз
4	Снимается усилие	Вкладывается пружина
5	-	Вкладывается запорное кольцо
6	-	Прикладывается прижимное усилие на запорное кольцо
7	-	Наносится сварной шов, соединяющий запорное кольцо с втулкой обоймы
8	-	Снимается усилие

В ходе моделирования было выявлено, что при планируемой последовательности сборки и выбранном прикладываемом на 2 этапе усилии сильно деформируется подвес (рисунок 3а) и смещается нижняя магнитная система относительно верхней (рисунок 3б).

а) б)

Рис. 3 – Смещение элементов акселерометра
а) смещение подвеса; б) смещение магнитных систем

Заключение

В рамках выполненных исследований получены следующие результаты:

1. Проведена серия вычислительных экспериментов с различными величинами усилия при сборке. Рациональным усилием является величина 1 кгс, которая обеспечивает меньшее первоначальное отклонение маятника (и не только его одного), при этом, являясь достаточной для сохранение целостности конструкции за счет сил трения, возникающих между контактируемыми поверхностями конструктивныхэлементов датчика.

2. Обнаружено, что при измененной последовательности сборки, переходе к автоматизированной сборке магнитные системы существенно перемещаются относительно друг друга, что приводит к потере работоспособности устройства.

Список литературы

1. *Вавилов В.Д.* Интегральные датчики: Учебник/ Нижегород. гос. техн. ун-т Н. Новгород. 2003. – 503 с.

2. *Распопов В.Я.* Микромеханические приборы: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с

3. *Максимов П.В., Конотоп Д.А.* Численная модель маятникового акселерометра с учетом электрического аналогового контура обратной связи. // Научно-технический вестник Поволжья. -2018. -№ 7. -С.127-130.

4. *Мальцев А.С., Максимов П.В.* Моделирование сварочного соединения в кварцевом маятниковом акселерометре. // Научно-технический вестник Поволжья. -2021. -№ 7. -С.105-107.

05.13.18

А.Г. Мухаметзянова д-р техн. наук, В.В. Бронская канд. техн. наук

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
asia@kstu.ru, dweronika@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ БУТИЛКАУЧУКА В РЕАКТОРЕ С МЕШАЛКОЙ

На основе представления реакции сополимеризации изобутилена с изопреном, как реакции «факельного» типа построена двух зонная математическая модель процесса полимеризации бутилкаучука в аппарате с мешалкой. Проведены расчеты зависимости температуры среды в аппарате от времени ведения процесса для двух типов реакторов, отличающихся геометрией трубных пучков. Приводятся рекомендации по увеличению времени пробега реактора.

Ключевые слова: *бутилкаучук, теплоотдача, реактор с мешалкой, двух зонная математическая модель.*

Введение

Бутилкаучук (БК) – это продукт растворной сополимеризации изобутилена и изопрена в среде хлористого метила в присутствии хлористого алюминия в качестве катализатора. Бутилкаучуки являются основой для производства многих резинотехнических изделий, они применяются в производстве автомобильных камер, теплостойких деталей вулканизационного оборудования, многих резинотехнических изделий, клеев и т.д. В Российской Федерации лидером в производстве синтетических каучуков, в том числе БК, а также третьим в мире поставщиком бутиловых каучуков с долей 16.2% [1] является ПАО «Нижнекамскнефтехим». На заводе БК ПАО «Нижнекамскнефтехим» восемь систем полимеризации бутилкаучука, каждая из которых включает полимеризатор – аппарат с мешалкой и шестью пучками труб, в которых происходит испарение жидкого этилена; сепаратор для приема жидкого и отделения газообразного этилена и прочее оборудование[2,3].

При повышении температуры в реакторе, в том числе и за счет плохого съема тепла быстрой реакции полимеризации, имеющей факельный характер, полимер частично переходит из застеклованного состояния в высокоэластическое и за счет этого сильнее откладывается на реакционном оборудовании. Налипание полимера происходит и в результате образования низкомолекулярных фракций, которые имеют более низкую температуру стеклования, в то время как средняя температура стеклования бутилкаучука минус 69°С. В настоящей работе предложена математическая модель и разработаны предложения позволяющие снизить количество налипания и тем самым увеличить время пробега реактора с требуемым качеством продукта.

Определение температурных полей

Процесс сополимеризации изобутилена с изопреном под действием инициаторов типа Фриделя-Крафта протекает по катионному механизму, являющиеся наименее изученными из применяемых в настоящее время в промышленности, что объясняется весьма высокой скоростью реакции, состоящей из большого числа стадий. Исходя из анализа работ Кеннеди и Плеша [4] для данной реакции константа скорости роста цепи в рабочих условиях K_p оценивается, как $3 \cdot 10^6$ л/моль·сек, а время обрыва цепи K_0 приблизительно равна $3 \cdot 10^2$ сек.

Особенностью тепловых процессов исследуемого реактора является то, что данная реакция проводится при температурах, близких к температуре замерзания реакционной массы. Температура замерзания хлористого метила составляет минус 97,6°С, 25%-ной шихты минус 102,2°С, температура охлаждающего этилена на уровне минус 106°С.

Так как реакция сополимеризации изобутилена с изопреном является реакцией “факельного типа” и идет в небольшой области ввода катализаторного раствора, то, несмотря на большую скорость циркуляции суспензии, полимеризатор можно представить состоящим из двух зон (ячеек) идеального смешения: зоны полимеризации и зоны охлаждения [5]. Материальные и тепловые балансы зон представим в следующем виде.

зона охлаждения:

$$\rho_x V_x \frac{dC_x}{d\tau} = (G_{ш} + G_{м})\mathrm{C}_{ш} + \left(G_{ф} - G_x\right)\mathrm{C}_{ф} - G_{ф}C_x - (G_{к} + G_{м} + G_{ш})\mathrm{C}_{х},$$

$$\rho_x V_x \frac{dP_x}{d\tau} = \left(G_{ф} + G_x\right)P_{ф} - G_{ф}P_x - (G_{к} + G_{м} + G_{ш})P_{х} - f_{нал}(\tau)P_{х},$$

$$\rho_x \mathrm{c}_p V_x \frac{dT_x}{d\tau} = K(T_c + T_x)F_{тр} + (G_{м} + G_{ш})\mathrm{c}_{р}\mathrm{T}_{ш} + \left(G_{ф} + G_{к}\right)\mathrm{c}_{р}\mathrm{T}_{ф} - G_{ф}c_{р}T_x -$$

$$-(G_{н} + G_{ш} + G_{к})\mathrm{c}_{р}\mathrm{T}_x,$$

зона факела

$$\rho_{ф} V_{ф} \frac{dC_{ф}}{d\tau} = G_{ф}\mathrm{C}_x - \left(G_{к} + G_{ф}\right)\mathrm{C}_{ф} - \frac{K_{р}}{K_0}\mathrm{C}_{ф}\rho_{ф}G_{к}C_{к},$$

$$\rho_{ф} V_{ф} \rho_{ф} \frac{dT_{ф}}{d\tau} = \Delta H_p \frac{K_{р}}{K_0}\mathrm{C}_{ф}\rho_{ф}G_{к}C_{к} + G_{ф}c_pT_x - \left(G_{к} + G_{ф}\right)T_{ф}c_p + G_{к}c_pT_{к},$$

где τ – время; ρ – плотность; V – объем; K – коэффициент теплопередачи; $F_{тр}$ – площадь теплопередачи; G – массовый расход; C – концентрация мономеров; P – концентрация полимера; T – температура; ΔH_p – теплота химической реакции; индексы: $х$ – зона охлаждения; $ф$ – зона факела; $к$ – катализатор; $ш$ – шихта; $м$ – подпятники мешалки; $с$ – этилен.

Процесс синтеза бутилкаучука сопровождается постоянным ростом температуры среды в реакторе, из-за налипаний полимера на трубы теплообменника, что создают дополнительное термическое сопротивление и понижает коэффициент теплопередачи. Это явление является нежелательным, так как повышение температуры в зоне реакции снижает молекулярный вес полимера и его качество.

По описанной выше модели был проведен расчет процесса полимеризации бутилкаучука. Результаты расчета приведены в виде графиков на рис. 1-3.

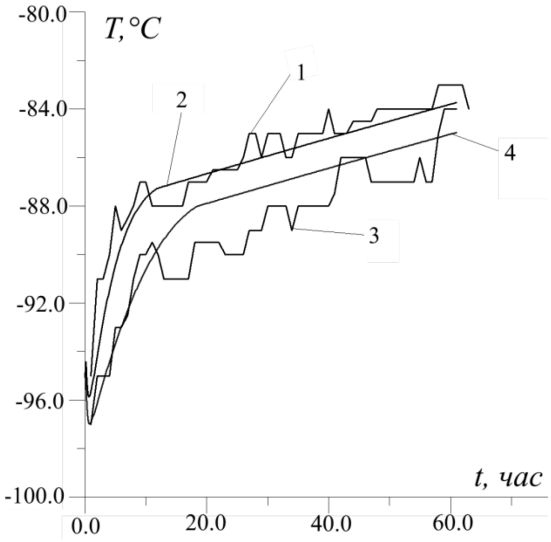


Рис. 1 – Сравнение рассчитанных и экспериментальных зависимостей изменения температуры среды в реакторе от времени: 1,3 - данные рабочих листов для реакторов с полным и прореженным трубным пучком; 2, 4 - расчет для реакторов с полным и прореженным трубным пучком

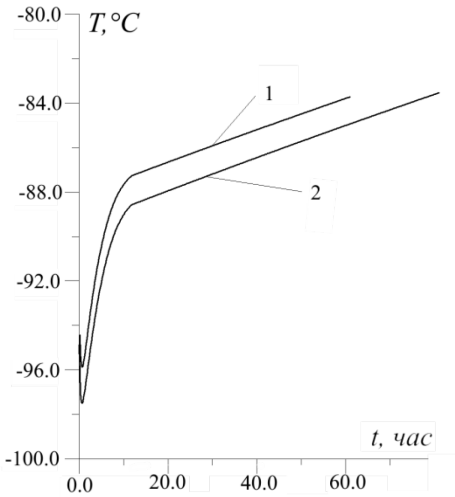


Рис. 2 – Влияние коэффициента теплоотдачи внутри труб на динамику изменения температуры среды в реакторе: 1 – α = 600, 2 – α = 800

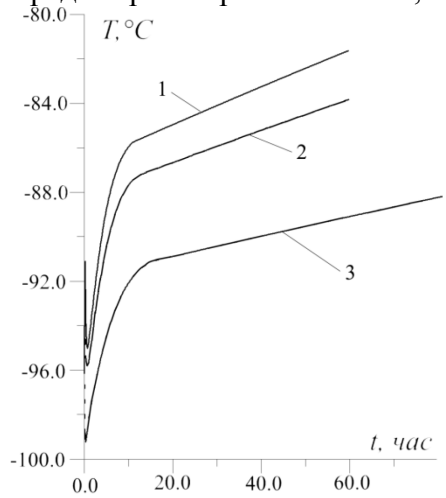


Рис. 3 – Зависимость эволюции температуры в реакторе от концентрации катализатора: 1 – концентрация катализатора 0,12% масс., 2 – 0,06% масс., 3 – 0,02% масс.

Заключение

Исходя из анализа результатов моделирования, можно привести некоторые рекомендации по способу ведения процесса полимеризации.

1. Катализатор лучше всего вводить в центральную часть аппарата, т.е. удаленно от теплообменников и в месте максимума осевой скорости, желательно - непосредственно над нижней мешалкой;

2. Концентрацию катализатора желательно максимально возможно уменьшить с целью уменьшения образования глобул.

3. Интенсифицировать теплоотдачу внутри и снаружи труб теплообменника, а именно: заменить теплоноситель; значительно увеличить шероховатость внутренней поверхности труб для интенсификации пузырькового режима; изменить гидродинамику у наружной поверхности труб - например, “накатной, что позволит также несколько уменьшит интенсивность налипаний; увеличить рабочую наружную поверхность труб оребрением.

Список литературы

1. *Орлов В.А., Чепура И.В., Туманов Ю.В.* Теория и практика перемешивания в жидких средах. М.: НИИТЭхим, 1973, С. 30-35.

2. *Минибаева Л.Р., Мухаметзянова А.Г., Клинов А.В.* Модели турбулентности для адекватного описания поля скорости в аппаратах с перемешивающими устройствами. Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 9. С. 469-477

3. *Минскер К.С., Берлин А.А., Захаров В.П., Дьяконов Г.С., Мухаметзянова А.Г., Заиков Г.Е.* Быстрые процессы при синтезе полимеров. Журнал прикладной химии. 2003. Т. 76. № 2. С. 272-278.

4. *Минскер К.С.* Изобутилен и его полимеры. М.: Химия, 1986. 21с.

5. *Маевский В.К., Михайловский Г.А., Абаев Г.Н.* Особенности тепловых процессов в динамических режимах работы промышленного реактора синтеза бутилкаучука // Промышленность СК, 1982, № 1, С.11-13.

05.13.18

А.С. Титовцев, П.В. Антонова

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Кафедра интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами,
Казань, notna6683@mail.ru

ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОГРАНИЧЕННЫМ ВРЕМЕНЕМ ПРЕБЫВАНИЯ ЗАЯВКИ В ОЧЕРЕДИ И ВРЕМЕНЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПО ЗАКОНУ ЭРЛАНГА

В статье представлены результаты исследования открытой одноканальной системы массового обслуживания смешанного типа, с временем обслуживания, распределенным по закону Эрланга. Рассматриваемая модель сочетает в себе свойства известной модели с пуассоновским входным потоком и эрланговским временем обслуживания, а также СМО с ограниченной очередью. Модель позволяет задавать число фаз в обслуживании и ограничения по времени пребывания заявки очереди. На основании известных результатов для модели M/M/1 получены аналитические выражения, описывающие основные характеристики для систем смешанного типа с временем обслуживания, распределенным по закону Эрланга.

Ключевые слова: *очередь, качество обслуживания, система массового обслуживания,* $M/E_r/1$

1. Введение

Задачи, в которых существуют ограничения, накладываемые на среднее время пребывания поступившей в систему заявки в очереди, приобрели особую остроту в различных предметных областях. В СМО данного типа часть заявок являются «нетерпеливыми» заявками, которые могут уйти из очереди, не дождавшись обслуживания. Модели такого типа являются наименее изученным классом систем массового обслуживания. К объектам, для которых ставятся такие задачи, можно отнести различные системы телефонной связи, компьютерные сети глобальных и локальных масштабов. Кроме того, к подобным системам можно отнести объекты транспортной инфраструктуры и различные логистические объекты [1,2]. В этой связи особую актуальность приобрели проблемы изучения СМО, имеющих различные ограничения на время ожидания в очереди.

Для эрланговского распределения времени обслуживания предполагается, что каждая заявка, прибывшая в систему, должна пройти несколько фаз обслуживания, длительность которых распределена по экспоненциальному закону [3]. Аналогичный подход используется и в случае, когда времена обслуживания можно описать допускающими аналогичную вероятностную трактовку распределениями фазового типа.

В данной работе впервые представлена одноканальная система массового обслуживания смешанного типа с временем обслуживания, представляющим собой сумму независимых экспоненциально распределенных случайных величин и с накопителем неограниченной емкости.

2. Характеристики одноканальной СМО

Рассмотрим одноканальную СМО с однородным бесконечным простейшим потоком заявок и очередью неограниченной длины. Пусть интенсивность потока заявок равна λ. Для эрланговского распределения времени обслуживания предполагается, что каждая заявка, прибывшая в систему, должна пройти несколько фаз обслуживания, длительность которых распределена по экспоненциальному закону с параметром μ.

Будем предполагать, что каждая поступившая заявка будет ожидать в очереди не более случайного времени, распределенного по экспоненциальному закону с параметром θ.

Пусть $\nu(t)$- число заявок в системе в момент времени t. В случае эрланговского времени обслуживания будем считать, что каждая заявка проходит r фаз обслуживания, каждая из которых имеет экспоненциальное распределение с параметром μ, где $\xi(t)$ - число фаз, оставшихся для обслуживания заявки в момент времени t. Определим процесс $\{\eta(t), t \geq 0\}$ следующим образом: если в системе в момент времени t нет заявок, то $\eta(t) = \nu(t)$. В противном случае, если в системе происходит обслуживание, то дополнительно указывается число оставшихся фаз в обслуживании, то есть $\eta(t) = (\nu(t), \xi(t))$. Как было сказано выше каждая прибывшая в систему заявка будет ожидать в очереди не более случайного времени, распределенного по экспоненциальному закону с параметром θ. Граф состояний системы изображен на рис.1.

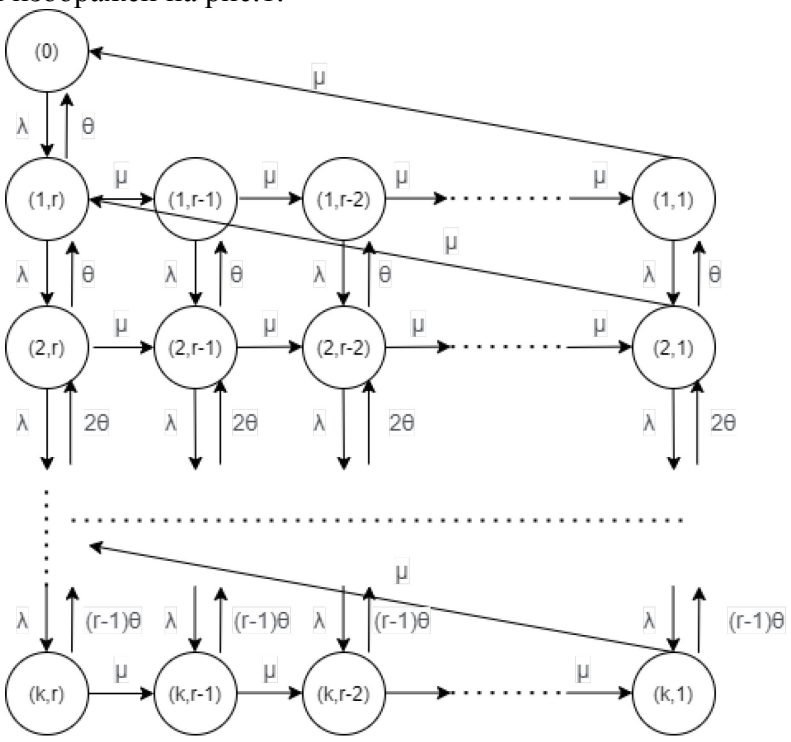


Рис. 1 – Граф состояний и переходов модели

Предполагая, что система функционирует в установившемся режиме, стационарные вероятности удовлетворяют системе уравнений:

$$\begin{aligned}
&0 = -\lambda p_0 + \mu p_{11},\\
&0 = \lambda p_0 + \theta p_{2r} - (\lambda + \mu) p_{1r} + \mu p_{21}\\
&0 = -(\lambda + \mu) p_{im} + \lambda p_{i-1,m} + \mu p_{i+1,1} + i\theta p_{i+1}, r - (i-1)\theta p_{ir}, i > 1\\
&0 = -(\lambda + \mu) p_{ij} + \lambda p_{i-1,j} + \mu p_{i,j+1} + i\theta p_{i+1,j} - (i-1)\theta p_{ij}, \; i > 1, 1 < j < r-1,\\
&0 = -(\lambda + \mu) p_{1j} + \mu p_{1,j+1} + \theta_{2j}, 1 < j < r-1.
\end{aligned} \tag{1}$$

Просуммировав уравнения (1) по i при фиксированном j, получим

$$\sum_i p_{i1} = \sum_i p_{i2} = \ldots = \sum_i p_{ir} \tag{2}$$

Просуммировав уравнения (1) по j при фиксированном i, получим

$$\lambda \sum_j p_{ij} = \mu p_{i+1,1} + \sum_j i\theta p_{i+1,j} \; i > 0.$$

Тогда, с учетом (2) и условия нормировки $p_0 + \sum_i \sum_j p_{ij} = 1$ получаем следующее равенство

$$\lambda p_0 + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_j \lambda p_{ij} = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_j i\theta p_{i+1,j} + \sum_{i=1}^{\infty} \mu p_{1,j+1}, \tag{3}$$

откуда получаем

$$\lambda = \theta Q + \sum_{i=1}^{\infty} \mu p_{1,j+1}. \tag{4}$$

С учетом вышеизложенного получаем равенство

$$r\lambda = \theta r Q + (1 - p_0)\mu, \tag{5}$$

откуда следует, что

$$p_0 = 1 - \frac{r(\lambda - \theta Q)}{\mu}. \tag{6}$$

Для нахождения вероятностных и числовых характеристик системе воспользуемся производящей функцией $P_j(z) = \sum_{i=1}^{\infty} p_{ij} z^i$.

Определим производящую функцию с помощью следующей формулы

$$P(z) = p_0 + \sum_{j=1}^{r} P_j(z) = \tag{7}$$

$$p_0 + \sum_{j=1}^{r} \left(\frac{\left(1 + \lambda/\mu(1-z)\right)^{-1+j}}{-\left(1 + \lambda/\mu(1-z)\right)^{-1+r} + \frac{1}{\left(1 + \lambda/\mu(1-z)\right)z}} * \right.$$

$$* \left(\frac{\frac{p\lambda}{\mu(1-z)}}{1 + \frac{\lambda}{\mu(1-z)}} - \frac{(1-z)\sum_{i=2}^{\infty}(-1+i)\theta z^{-1+i} p_{ij}}{\mu\left(1 + \frac{\lambda}{\mu(1-z)}\right)} - \frac{(1-z)\left(-1 - \frac{\lambda}{\mu} + \left(1 + \frac{\lambda}{\mu(1-z)}\right)^r + \frac{\lambda}{\mu z}\right)\sum_{i=2}^{\infty}(-1+i)\theta z^{-1+i} p_{ij}}{\frac{\mu\lambda}{\mu(-1+z)\left(-1 - \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda}{\mu z}\right)}} \right)$$

$$- \left(\frac{\left((1-z)\left(-1 - \frac{\lambda}{\mu} + \left(1 + \frac{\lambda}{\mu(1-z)}\right)^j + \frac{\lambda}{\mu z}\right)\right)}{\frac{\mu\lambda}{\mu\left(-\left(1 + \frac{\lambda}{\mu(1-z)}\right)^{-1+r} + \frac{1}{\left(1 + \frac{\lambda}{\mu(1-z)}\right)z}\right)(-1+z)\left(-1 - \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda}{\mu z}\right)}} \right) * \left(\sum_{i=2}^{\infty}(-1+i)\theta z^{-1+i} p_{ij} \right)$$

$$\left. * \left(\frac{\frac{p\lambda}{\mu(1-z)}}{1 + \frac{\lambda}{\mu(1-z)}} - \frac{(1-z)\sum_{i=2}^{\infty}(-1+i)\theta z^{-1+i} p_{ij}}{\mu\left(1 + \frac{\lambda}{\mu(1-z)}\right)} - \frac{(1-z)\left(-1 - \frac{\lambda}{\mu} + \left(1 + \frac{\lambda}{\mu(1-z)}\right)^r + \frac{\lambda}{\mu z}\right)\sum_{i=2}^{\infty}(-1+i)\theta z^{-1+i} p_{ij}}{\frac{\mu\lambda}{\mu(-1+z)\left(-1 - \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda}{\mu z}\right)}} \right) \right).$$

С учетом вышеприведенных рассуждений стационарное среднее число заявок в системе находится по следующей формуле:

$$N = \frac{\lambda(-2\mu+\lambda(-1+r))r(-\mu+r(\lambda+\theta))}{2\mu^3-\lambda^2r^2(1+r)\theta+2\lambda\mu r^2(\lambda+\theta)-2\mu^2r(2\lambda+\theta)}. \tag{8}$$

Аналогично, средняя длина очереди равна

$$Q = \frac{\lambda^2 r(1+r)(\mu-\lambda r)}{2\mu^3-\lambda^2r^2(1+r)\theta+2\lambda\mu r^2(\lambda+\theta)-2\mu^2r(2\lambda+\theta)} \tag{9}$$

Исходя из вышеприведенных формул получим следующую формулу для вероятности p_0,

$$p_0 = \frac{2(-1+\rho)^2(\mu-\lambda r-r\theta)}{2\mu-4\mu\rho+2\mu\rho^2-2r\theta+2r\rho\theta-\rho^2\theta-r\rho^2\theta}. \tag{10}$$

Одной из основных характеристик систем смешанного типа является P_S – стационарная вероятность того, что заявка будет обслужена. В систему за единицу времени поступает λ заявок. Так как прибор в среднем загружен долю времени $1 - p_0$, а при полной загрузке он обслуживает $\frac{\mu}{r}$ заявок, то фактически обслуживается $\frac{\mu}{r}(1 - p_0)$ заявок в единицу времени. Деля теперь среднее число обслуженных заявок на среднее число поступивших заявок, получаем формулу

$$P_S = \frac{1}{\rho}(1 - p_0) = \frac{1}{\rho}\left(1 - \frac{2(-1+\rho)^2(\mu-\lambda r-r\theta)}{2\mu-4\mu\rho+2\mu\rho^2-2r\theta+2r\rho\theta-\rho^2\theta-r\rho^2\theta}\right). \tag{11}$$

Дисперсия числа заявок в очереди рассчитывается с использованием производящей функции, принимая во внимание тот факт, что $\sum_k k p_k = P'(1)$, а $\sum_k k^2 p_k = P'(1) + P''(1)$.[4]

$$\sigma_Q^2 = \sum_k (k-1)^2 p_k - Q^2 == \sum_k k^2 p_k + 2\sum_k k p_k + \sum_k p_k = P'(1) + P''(1) + 2P'(1) + (1-p_0) - Q^2 =$$

$$1 - \frac{r^2\left(\mu\hat{\rho}(-2+(-1+r)\hat{\rho}) + \lambda(2+r(-2+\hat{\rho})\hat{\rho}+r^2\hat{\rho}^2)\right)^2}{(-2\mu(-1+\rho)^2 + r(2+r(-2+\hat{\rho})\hat{\rho}+\rho^2)\theta)^2} -$$

$$\frac{\lambda^2 r(1+r)(6\mu^2-4\lambda\mu(-1+r)+\lambda^2(-1+r)r)(-1+\rho)^2\left(-\mu+r(\lambda+\theta)\right)}{3\mu(\mu-\lambda r)^3(2\mu(-1+\rho)^2-r(2+r(-2+\hat{\rho})\hat{\rho}+\rho^2)\theta)} -$$

$$\frac{2\rho(-2+(-1+r)\hat{\rho})\left(-\mu+r(\lambda+\theta)\right)}{-2\mu(-1+\rho)^2+r(2+r(-2+\hat{\rho})\hat{\rho}+\rho^2)\theta} - \frac{2(-1+\rho)^2\left(-\mu+r(\lambda+\theta)\right)}{-2\mu(-1+\rho)^2+r(2+r(-2+\hat{\rho})\hat{\rho}+\rho^2)\theta},$$

где $\hat{\rho} = \frac{\lambda}{\mu}$.

Дисперсия числа заявок в системе

$$\sigma_N^2 = \sum_k k^2 p_k - N^2 = P'(1) + P''(1) - N^2 = \frac{\rho^2(-2+(-1+r)\hat{\rho})^2(\mu-\lambda r-r\theta)^2}{(2\mu-4\mu\rho+2\mu\rho^2-2r\theta+2r\rho\theta-\rho^2\theta-r\rho^2\theta)^2} +$$
$$\frac{\lambda^2 r(1+r)(6\mu^2-4\lambda\mu(-1+r)+\lambda^2(-1+r)r)(-1+\rho)^2(\mu-\lambda r-r\theta)}{3\mu(\mu-\lambda r)^3(2\mu-4\mu\rho+2\mu\rho^2-2r\theta+2r\rho\theta-\rho^2\theta-r\rho^2\theta)}.$$

Список литературы

1. *Кирпичников А.П., Титовцев А.С.* Первый и второй моменты общего времени пребывания заявки в системе с произвольным количеством источников и поликомпонентных входным потоком заявок //Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19. – №. 6. С. 120–124.

2. *Кирпичников А.П., Титовцев А.С.* Характеристики систем дифференцированного обслуживания поликомпонентных потоков //Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – №. 8. С. 337–340.

3. *Бочаров П.П., Печинкин А.В*. Теория массового обслуживания: учеб //М.: Изд-во ун-та им. П. Лумумбы. – 1995. С. 529.

4. *Климов Г.П.* Теория массового обслуживания. Учебное пособие. – 2011. С. 312.

05.13.18

А.С. Титовцев, П.В. Антонова

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Кафедра интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами,
Казань, notna6683@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОГРАНИЧЕННЫМ СРЕДНИМ ВРЕМЕНЕМ ПРЕБЫВАНИЯ ЗАЯВКИ В СИСТЕМЕ И ВРЕМЕНЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПО ЗАКОНУ ЭРЛАНГА

В статье представлены результаты исследования открытой одноканальной системы массового обслуживания смешанного типа, с временем обслуживания, распределенным по закону Эрланга. Изучена динамика изменения граничного числа фаз обслуживания при изменении приведенных интенсивностей входного потока заявок с помощью методики, основанной на вычислении граничных значений числа фаз в обслуживании, при которых среднеквадратическое отклонение исследуемой величины не превосходит ее математического ожидания. Режим функционирования системы, при котором СКО длины очереди не превышает ее среднего значения, является наиболее стабильным и предсказуемым с точки зрения эксплуатации.

Ключевые слова: *очередь, качество обслуживания, система массового обслуживания,* $M/E_r/1$.

1. Введение

При эксплуатации систем, работающих по принципу систем массового обслуживания, актуальной является проблема обеспечения стабильных режимов в обслуживании. Практический интерес имеют более сложные модели, являющиеся комбинациями ранее известных моделей СМО [1,2]. Задачи, в которых существуют ограничения, накладываемые на среднее время пребывания поступившей в систему заявки в очереди, приобрели особую остроту в различных предметных областях. Таким образом, в СМО данного типа часть заявок являются так называемыми «нетерпеливыми» заявками, которые, могут уйти из очереди, не дождавшись обслуживания. Модели такого типа являются наименее изученным классом систем массового обслуживания. Для таких моделей существует необходимость в организации процесса эксплуатации системы как можно в более стабильных режимах. К объектам, для которых ставятся такие задачи, можно отнести различные системы телефонной связи, компьютерные сети глобальных и локальных масштабов. Кроме того, к подобным системам можно отнести объекты транспортной инфраструктуры и различные логистические объекты. Все они представляют системы массового обслуживания. В простейших случаях подобные объекты описываются наиболее известными классическими моделями массового обслуживания, однако для более глубокого изучения различных систем требуются сложные модели, учитывающие их различные технические особенности. В этой связи особую актуальность приобрели проблемы изучения СМО, имеющих различные ограничения на время ожидания в очереди. При этом очевидно, что параметром, который можно было бы относительно быстро изменять в реальных условиях, для случая, когда обслуживание можно разделить на несколько фаз, на практике является непосредственно число фаз обслуживания r.

2. Исследование стабильных режимов работы СМО

Примерный вид зависимости математического ожидания и дисперсии числа заявок, ожидающих обслуживания в очереди, от числа фаз обслуживания представлен на рис. 1. Из графика очевидно, что существует некоторое граничное значение *r*, соответствующее точке пересечения моментов числа заявок в очереди, которое делит ось на две части: область, в которой среднеквадратичное отклонение (СКО) длины очереди находится в пределах

математического ожидания, и область, в которой разброс числа заявок в очереди превышает среднее значение. Режим функционирования системы, при котором СКО длины очереди не превышает ее среднего значения, является наиболее стабильным и предсказуемым с точки зрения эксплуатации [3].

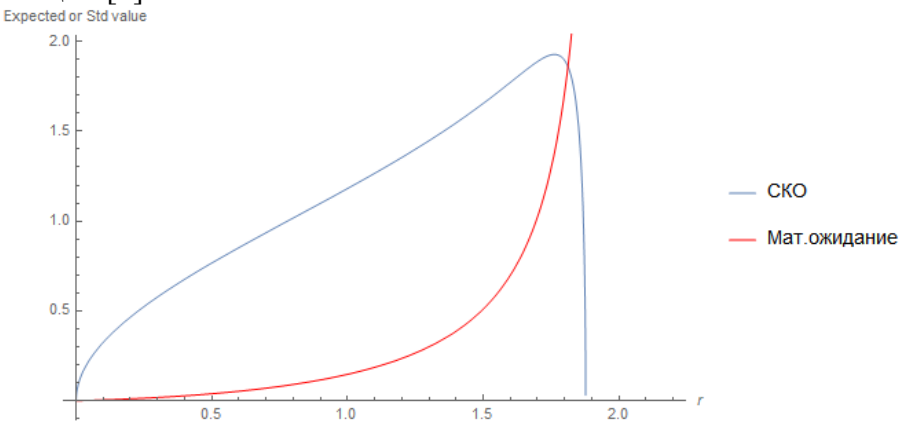


Рис. 1 – Зависимость математического ожидания и СКО числа заявок в очереди от числа фаз обслуживания

Для расчета *r* граничного по математической модели при известных в качестве исходных данных приведенных интенсивностях компонент входного потока заявок и соответствующих ограничениях на длину очереди была разработана специальная программа. Для исследования поведения *r* граничного при изменении нагрузки на систему со стороны входного потока был проведен цикл вычислительных экспериментов по алгоритму, представленному на рис. 2. Изменяя значение приведенной интенсивности входного потока заявок, были найдены значения *r* граничного для моментов длины очереди.

Рис. 2 – Блок-схема алгоритма расчета *r* граничного

Все расчеты для исследования проводились в системе компьютерной алгебры Wolfram Mathematica, широко используемой в научных, инженерных, математических и компьютерных областях. Для нахождения зависимости граничных значений числа фаз обслуживания от параметров модели (отношения интенсивности входного потока λ к

интенсивности обслуживания на каждой фазе) рассмотрим среднюю длину очереди и дисперсию числа заявок в очереди для рассматриваемой модели:

$$Q = \frac{\lambda^2 r(1+r)(\mu-\lambda r)}{2\mu^3-\lambda^2 r^2(1+r)\theta+2\lambda\mu r^2(\lambda+\theta)-2\mu^2 r(2\lambda+\theta)},$$

$$\sigma_Q^2 = \sum_k (k-1)^2 p_k - Q^2 = \sum_k k^2 p_k + 2\sum_k k p_k + \sum_k p_k = P'(1) + P''(1) + 2P'(1) + (1-p_0) - Q^2 =$$

$$1 - \frac{r^2\left(\mu\hat{\rho}(-2+(-1+r)\hat{\rho})+\lambda(2+r(-2+\hat{\rho})\hat{\rho}+r^2\hat{\rho}^2)\right)^2}{(-2\mu(-1+\rho)^2+r(2+r(-2+\hat{\rho})\hat{\rho}+\rho^2)\theta)^2} -$$

$$\frac{\lambda^2 r(1+r)(6\mu^2-4\lambda\mu(-1+r)+\lambda^2(-1+r)r)(-1+\rho)^2(-\mu+r(\lambda+\theta))}{3\mu(\mu-\lambda r)^3(2\mu(-1+\rho)^2-r(2+r(-2+\hat{\rho})\hat{\rho}+\rho^2)\theta)} -$$

$$\frac{2\rho(-2+(-1+r)\hat{\rho})(-\mu+r(\lambda+\theta))}{-2\mu(-1+\rho)^2+r(2+r(-2+\hat{\rho})\hat{\rho}+\rho^2)\theta} - \frac{2(-1+\rho)^2(-\mu+r(\lambda+\theta))}{-2\mu(-1+\rho)^2+r(2+r(-2+\hat{\rho})\hat{\rho}+\rho^2)\theta}.$$

Результаты вычислительного эксперимента приведены на рис. 3.

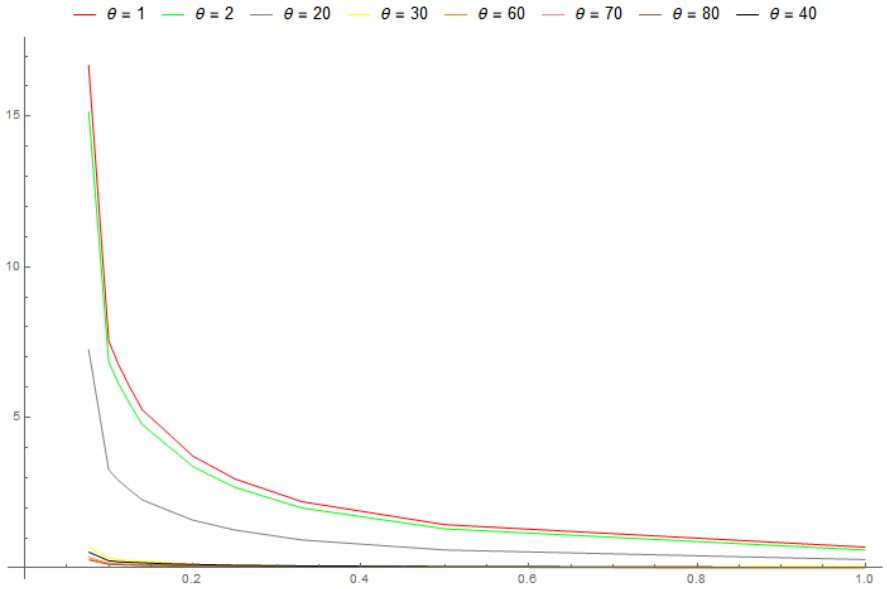


Рис.3 – Зависимость значения r граничного от величины $\frac{\lambda}{\mu}$

В результате имеем зависимость, которая аппроксимируется экспоненциальной функцией.

Каждая точка, лежащая на прямой, соответствует равным значениям математического ожидания и СКО длины очереди при определенном значении приведенной интенсивности входного потока заявок. При этом коэффициент вариации длины очереди равен единице. Фактически это граница, выше которой СКО превышает математическое ожидание. Область под прямой соответствует стабильному режиму функционирования системы, при котором СКО длины очереди находится в пределах математического ожидания.

Список литературы

1. *Кирпичников А.П., Титовцев А.С.* Системы обслуживания с неоднородным входным потоком требований, отказами и очередью //Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – №. 5. С. 154–161.

2. *Кирпичников А.П., Титовцев А.С.* О нестационарном режиме в системах дифференцированного обслуживания поликомпонентных потоков //Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – №. 6. С. 201-202.

3. *Кирпичников А.П., Титовцев А.С.* Открытые системы дифференцированного обслуживания поликомпонентных потоков //Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – №. 1. С. 20-24.

05.13.18

Г.М. Тутаев, М.А. Бобров, С.А. Моисеев, Ю.А. Агафонов

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»,
Институт электроники и светотехники,
кафедра электроники и электротехники,
Саранск, msa2802@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ФУНКЦИЕЙ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

В статье представлены результаты моделирования электропривода на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами при реализации векторных законов регулирования и обеспечении резервного питания от источника постоянного тока. Приведена оценка динамических свойств системы при переключении системы электропривода на резервный источник питания.

Ключевые слова: *электропривод на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами*, *векторное управление*, *резервный источник питания, преобразователь частоты, имитационное моделирование.*

В настоящее время в силу ряда известных преимуществ электропривод на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами становится наиболее популярным решением в системах электропривода общепромышленных механизмов и установок.

Однако, по-прежнему важным вопросом при проектировании автоматизированного электропривода переменного тока является обеспечение стабильного питания, что существенно повышает надежность электротехнического комплекса. Для обеспечения бесперебойной и устойчивой работы ответственных и автономных объектов применяют алгоритм переключения, который обеспечивает безударный перевод электропривода на резервный источник питания за интервал времени не более 20 мс без существенной просадки производительности технологического процесса [1].

Структурная схема электропривода переменного тока с резервным электропитанием от источника постоянного тока показана на рисунке 1.

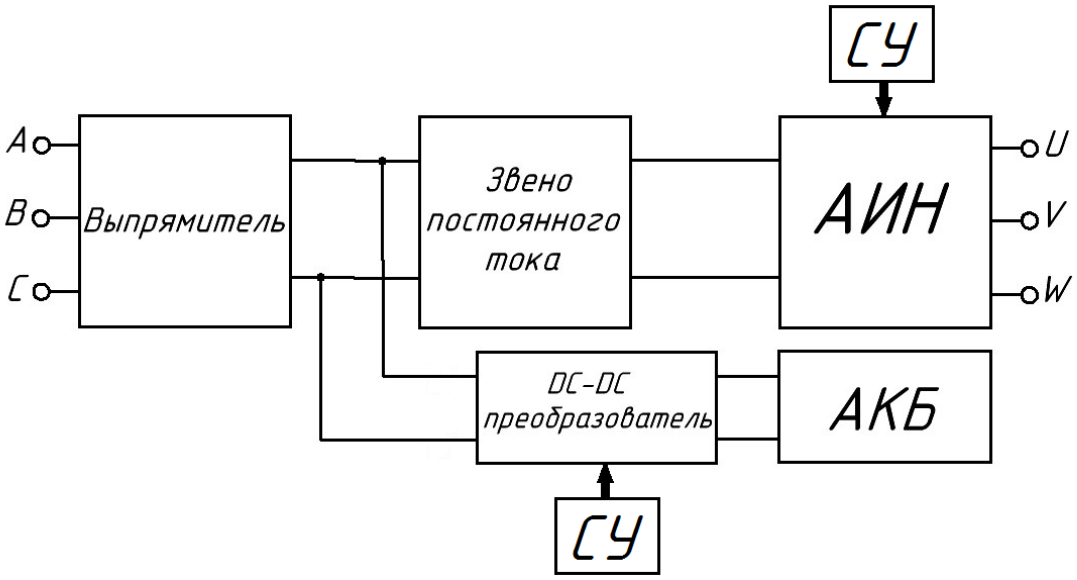


Рис. 1 – Структурная схема электропривода с источником резервного питания

Источник постоянного тока представляет собой аккумуляторную батарею с повышающим DC-DC преобразователем, коммутация осуществляется с помощью силового ключа для обеспечения принципа «горячего» резервирования. Топология DC-DC преобразователя с гальванической развязкой подробно описана в [2]. Особое требование к данной системе резервирования – гальваническая развязка основной питающей сети от резервной [3]. Преобразователь обеспечивает стабилизацию напряжения звена постоянного тока и дает возможность осуществить рекуперацию энергии при работе электропривода в генераторном режиме [4].

Имитационная модель состоит из автономного инвертора напряжения с векторным принципом управления, асинхронного электродвигателя, системы переключения, DC-DC преобразователя с гальванической развязкой с собственной системой управления (рисунок 2).

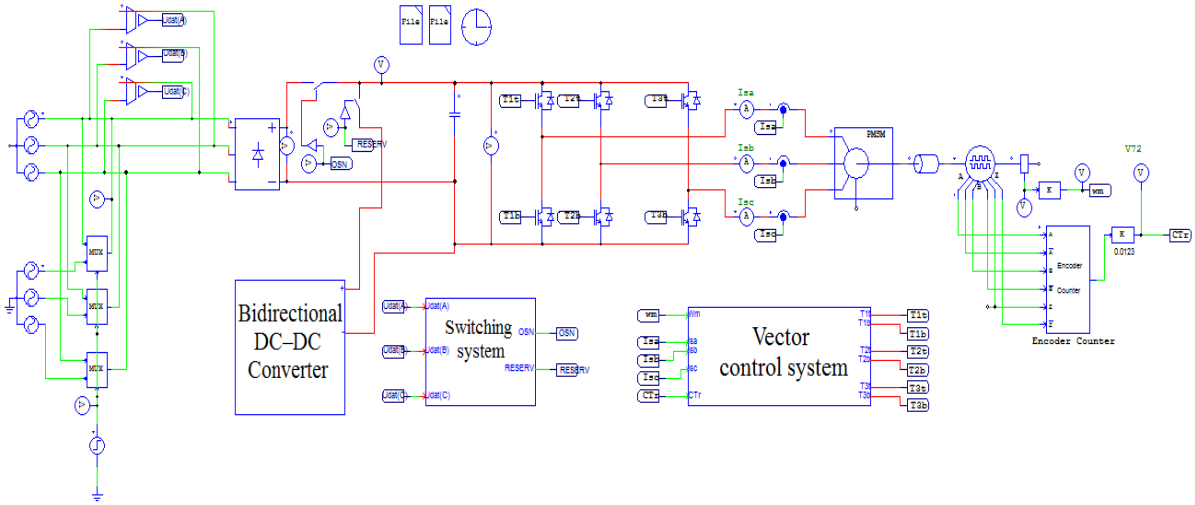


Рис. 2 – Имитационная модель синхронного электропривода
с источником резервного питания

Система переключения основана на отслеживании линейного выпрямленного напряжения с датчиков, каждый из которых имеет делитель.

Выделив постоянную составляющую с помощью конденсатора, с параллельно включенным резистором и аппроксимируя сигнал через RMS блок, можно получить резкий спад фронта сигнала в момент аварии. После фильтрации сигнала и сравнения его с уставкой с помощью компаратора можно эффективно и быстро выполнить переключение.

Аварийный режим работы привода моделируется переключением основного источника трехфазного напряжения на другой источник с напряжением ниже основного (амплитудой около 20 В), посредством коммутации блоков MUX ступенчатым воздействием в интервал времени 0.75 с. Исходя из настроек системы переключения, выдача управляющего сигнала должна произойти за время, не превышающее 3 мс. На рисунке 3 показаны: скорость и электромагнитный момент двигателя, осциллограмма напряжения на входе преобразователя частоты и форма управляющего сигнала, который формирует система переключения в момент имитации просадки уровня напряжения основной питающей сети.

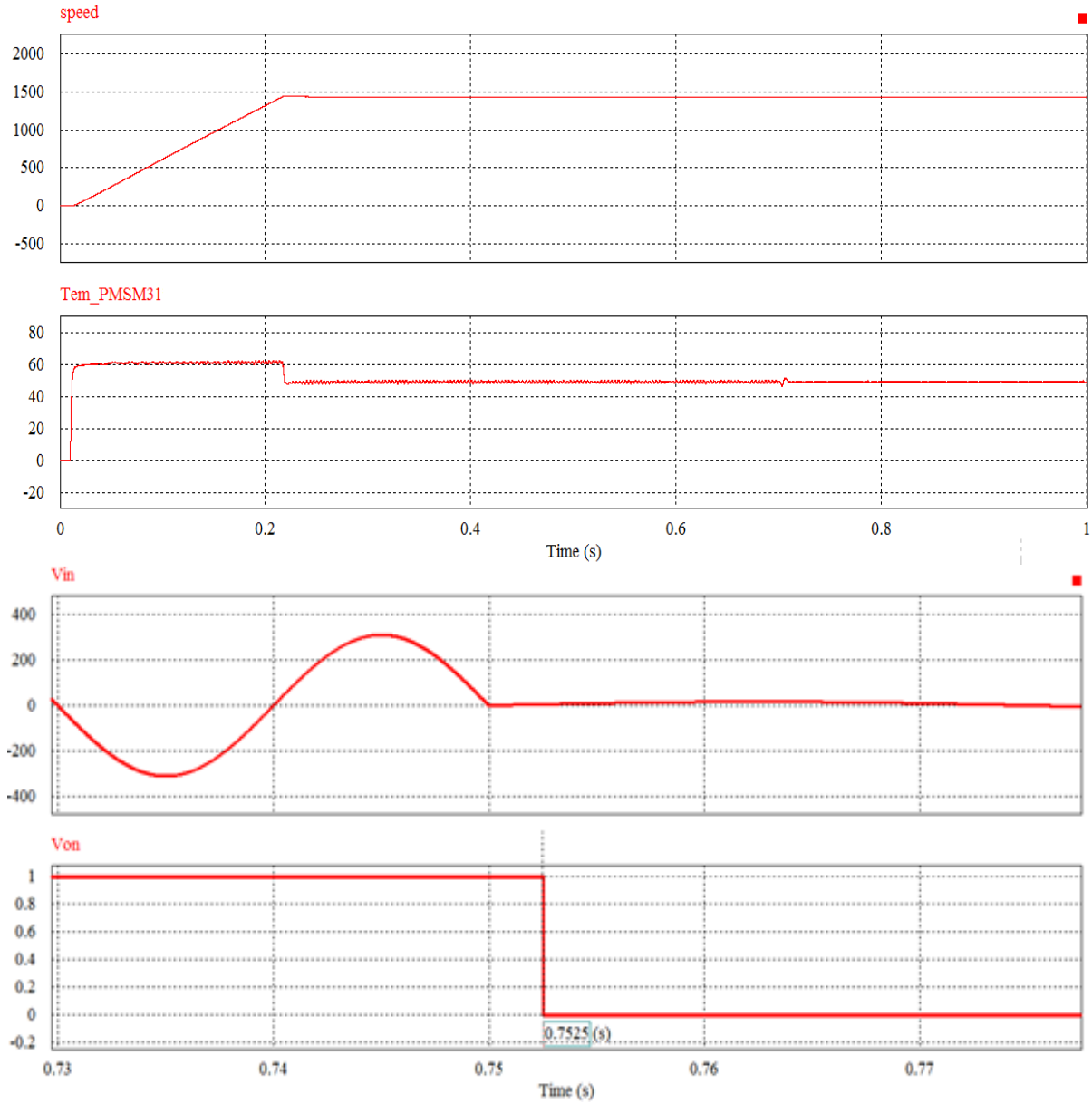


Рис. 3 – Переходные процессы в системе синхронного электропривода

Как видно из осциллограммы, реакция системы переключения не превышает 2.5 мс, что является удовлетворительным временем реакции.

На рисунке 4 показаны осциллограммы переходных процессов в звене постоянного тока преобразователя частоты и ток фазы А синхронного двигателя при возникновении аварийной ситуации в момент времени 0.75 с, что обуславливает снижение напряжения в звене постоянного тока.

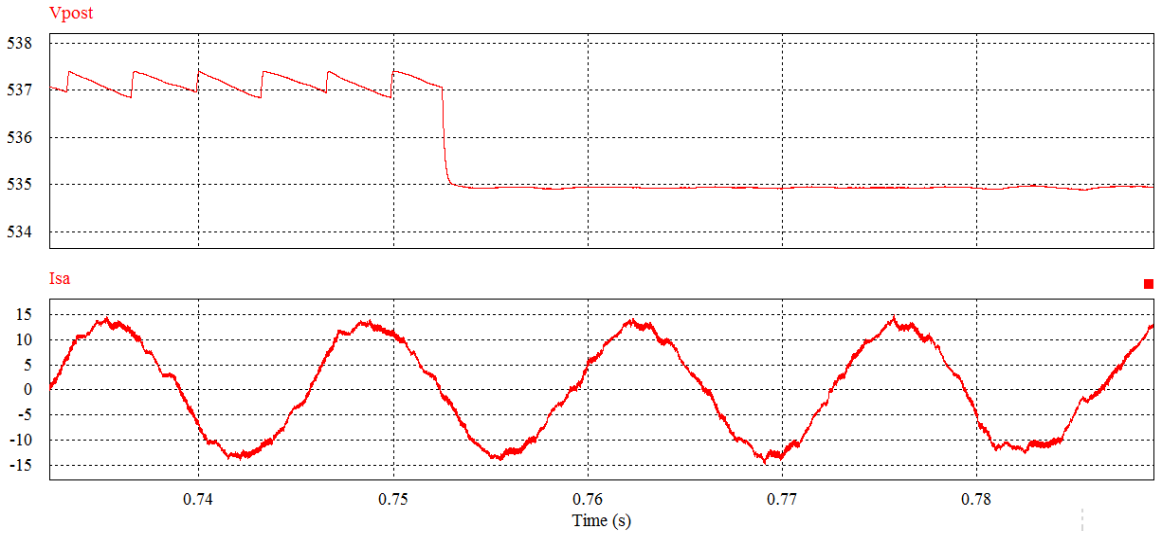


Рис. 4 – Осциллограммы напряжения и тока фазы А соответственно

Из рисунка 4 видно, что бросков тока при переключении привода на резервный источник питания не происходит, так же форма тока синхронного двигателя близка к синусоидальной. Колебаний напряжения в звене постоянного пока преобразователя частоты не происходит за счет динамики срабатывания системы переключения и системы стабилизации уровня напряжения DC-DC преобразователя с гальванической развязкой.

Основной задачей, как было отмечено выше, является обеспечение безударного переключения электропривода на источник постоянного тока. На рисунке 5 показаны переходные процессы скорости и электромагнитного момента синхронного электродвигателя с постоянными магнитами. Во время переходного процесса, электромагнитный момент двигателя имеет небольшие пульсации. Переходный процесс скорости происходит за период времени менее 20 мс, что соответствует принципу горячего резервирования [4], при этом не возникает резких изменений скорости электродвигателя. Следовательно, при возникновении аварийной ситуации в питающей сети и переключении системы электропривода на резервный источник постоянного тока работа остается устойчивой.

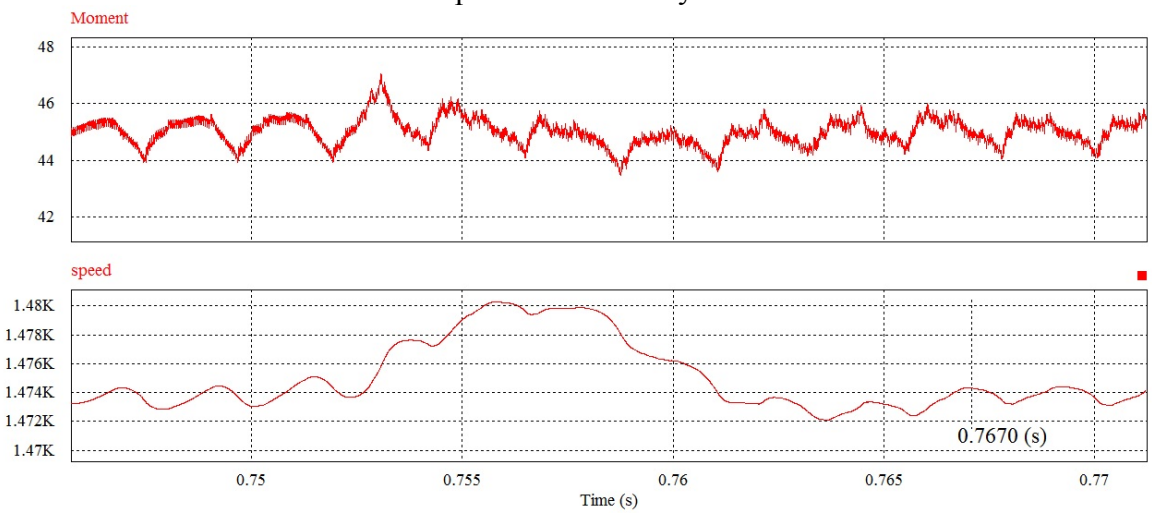


Рис. 5 – Осциллограммы переходного режима момента и скорости двигателя.

Результаты моделирования показывают, что DC-DC преобразователь с гальванической развязкой обеспечивает требуемый уровень напряжения для работы преобразователя частоты. Система переключения способна обеспечить переход электропривода на резервный источник питания за время, не превышающее 20 мс, причем переходный процесс практически не влияет на электромагнитный момент и скорость электродвигателя, тем самым производительность технологического процесса не снижается.

Список литературы

1. ГОСТ 27.002-15. Надежность в технике. Термины и определения – М.:Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации(МГС), 2015. – 28 с.

2. MojtabaForouzesh, Student Member, IEEE, Yam P. Siwakoti, Member, IEEE, Saman A. Gorji, Student Member, IEEE, FredeBlaabjerg, Fellow, IEEE, and Brad Lehman, Senior Member, IEEE. Step-Up DC–DC Converters: A Comprehensive Review of Voltage-Boosting Techniques, Topologies, and Applications/ IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 32, NO. 12, DECEMBER 2017, pp 9143 – 9178.

3. *Kheraluwala M.H., Gascoigne R.W., Divan D.M., Baumann E.D.* Performance Characterization of a High-Power Dual Active Bridge dc-to-dc Converter / M.H. Kheraluwala, R.W. Gascoigne, D.M. Divan, E.D. Baumann // IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 28, no. 6, Nov./Dec. 1992, pp. 1294 –1301.

4. *Вислогузов Д.П., Котин Д.А.* Синтез системы управления импульсным преобразователем постоянного тока в составе электропривода переменного тока // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2018. №3. – С. 53-58.

05.13.18

Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов д-р техн. наук

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

СНИЖЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА И КОЛИЧЕСТВА ОБТОЧЕК БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Приведены результаты снижения износа и количества обточек бандажей электровозов по предложенному численному методу за счет выбора наилучшего профиля поверхности катания колесных пар исходя из максимального ресурса до обточки.

Ключевые слова: *электроподвижной состав, колесная пара, бандаж, износ, обточка, количество, снижение.*

Колесные пары и их элементы являются ответственными частями электроподвижного состава. Толщина новых бандажей на электровозах 90 мм. Ширина локомотивных бандажей 140 мм. Для уменьшения неподрессоренной массы колесной пары желательно снижать толщину бандажа. Однако это при периодических обточках уменьшает срок его службы. На пером этапе в каждом из 14 рассмотренных сервисных локомотивных депо за последние пять лет были рассмотрены обточки. На рис. 1 в качестве примера представлена диаграмма обточек с 2016–2020 гг. по годам и месяцам в депо Зауралье.

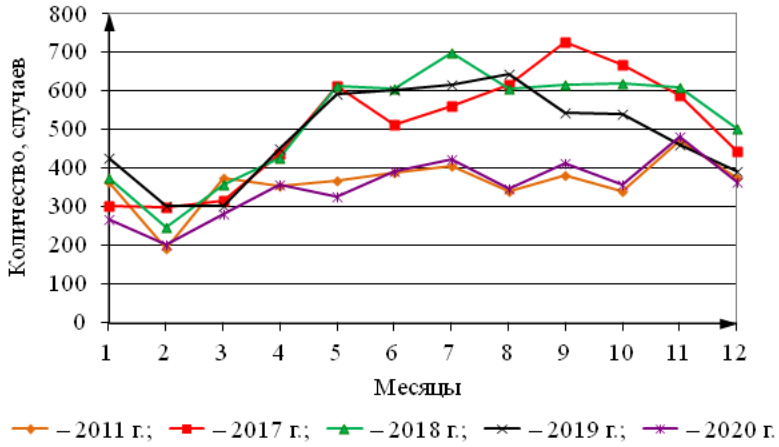


Рис. 1 – Диаграмма обточек за 2016–2020 гг. по годам и месяцам

Наибольшее число обточек в этом депо производится по предельному износу гребня, которое составляет за 2016 г. – 93,19 %, за 2020 г. – 96,12 % от общего числа обточек [1, 2].

Затем был рассмотрен профиль по ГОСТ 11018-2011. Эскиз профиля бандажа локомотива приведен на рис. 2 [3].

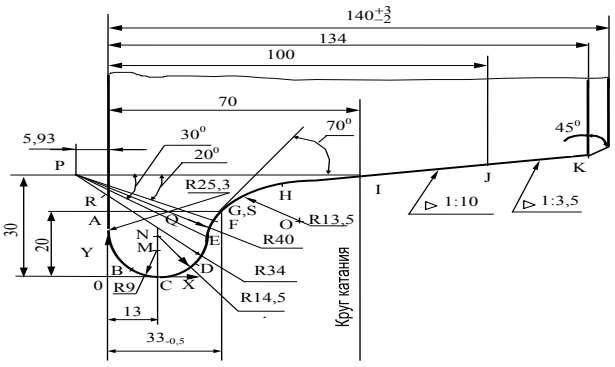


Рис. 2 – Эскиз профиля ГОСТ 11018-2011 (локомотивного) бандажа с гребнем толщиной 33 мм

С целью уменьшения износа гребней бандажей, рельсов и улучшения ходовых качеств локомотивов предложены и другие профили, набольшее распространение получили профили ДМетИ-ЛР и ДМетИ-ЛБ (рис. 3 и 4) [4].

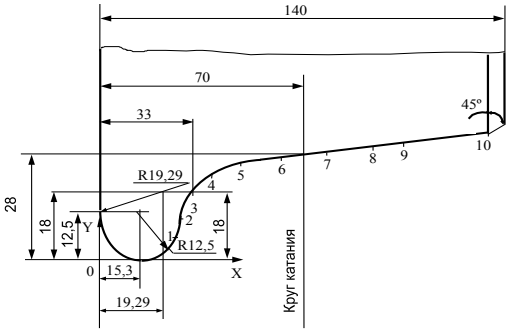


Рис. 3 – Эскиз бандажа колесной пары с гребнем толщиной 33 мм профиля ДМетИ-ЛБ

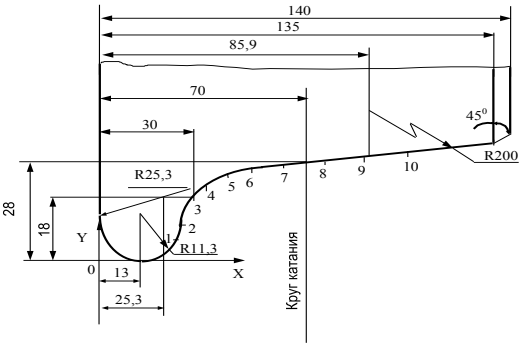


Рис. 4 – Эскиз бандажа колесной пары с гребнем толщиной 30 мм профиля ДМетИ-ЛР

В процессе эксплуатации колесных пар рабочие поверхности бандажей получают неравномерные износы. В результате проката вблизи гребня коническая поверхность катания становится цилиндрической или принимает обратную конусность, что ухудшает работу колес в кривых. Схема установки колесной пары в кривой приведена на рис. 5 [5].

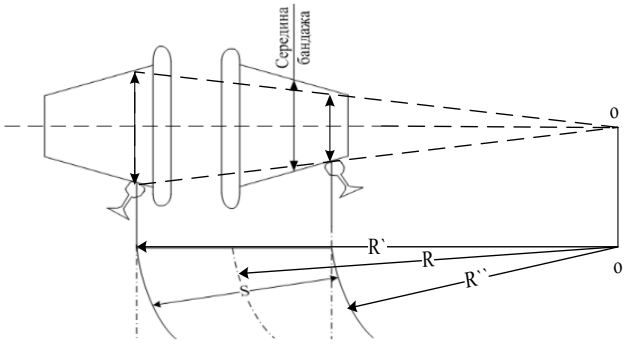


Рис. 5 – Схема установки колесной пары в кривой

При этом гребень колеса получает так называемый «подрез». Для восстановления нормального профиля бандажа он подвергается переточке на токарном бандажном станке, причем обтачиваются оба колеса колесной пары. Несколько железных дорог приступили к исследованию профилей колес с более высокими значениями угла их гребней, и было обнаружено, что такая особенность присуща некоторым применяемым вариантам колесных профилей. При выборе профиля для колес из существующих железные дороги обычно уделяют особое внимание насущной проблеме наползания колес на рельсы при движении в

кривых, но новым колесам свойственны и другие проблемы, такие, например, как неудовлетворительное ориентирование колесных пар в кривых, высокий темп износа гребней (а также рабочей грани рельсов) и увеличенные поперечные силы во взаимодействии колес и рельсов.

Величины интенсивности износа однотипных деталей электровозов различны вследствие неодинаковых условий, в которых эти детали работают. Они могут рассматриваться, как определенная статистическая совокупность, где каждое наблюдение получено в результате измерения детали на выбор. Теория численных методов позволяет при определенном небольшом числе наблюдений сделать надежные выводы об интенсивности износа деталей электровоза и ее измерений в зависимости от условий работы.

Для характеристики статистической совокупности применяются следующие величины: выборочная средняя – X; основное отклонение – σ; мера изменчивости – V; число наблюдений – n и т. д.

Выборочные средние значения определяются по способу моментов:

$$X = X_a + C \cdot m_1, \quad (1)$$

где X_a – условно принятое начальное значение; C – ширина принятого интервала; m_1 – первый начальный момент.

Первый начальный момент, вычисляемый по равенству:

$$m_1 = \frac{\sum_{j=1}^{n} X_j \cdot N_j}{n}, \quad (2)$$

где X_j – отношение отклонения среднего значения интервала от X_a к ширине интервала; N_j – количество наблюдений в пределах каждого интервала.

Основное отклонение в этом случае определяется по формуле:

$$\sigma = c \cdot \sqrt{\mu_2}, \quad (3)$$

где μ_2 – второй центральный момент.

Второй центральный момент, вычисляемый по равенству:

$$\mu_2 = m_2 - m_1^2. \quad (4)$$

Второй начальный момент:

$$m_2 = \frac{\sum_{j=1}^{n} \cdot x_j^2 \cdot n_j}{n}. \quad (5)$$

Статические распределения возможных пробегов до предельного износа деталей аналогичны распределителям частоты интенсивности износа. Они могут быть вычислены для каждой частоты по формуле:

$$L_i = \frac{d}{x_i}, \quad (6)$$

где L_i – величина возможного пробега при допуске на износ, км; d – допуск на износ, мм; x_i – интенсивность износа детали, мм/10^4 км.

Задаваясь допустимой вероятностью y выхода из строя деталей электровоза ранее установленного срока, а также зная пробег деталей электровоза до предельного L_o и основного отклонения среднего пробега деталей электровоза при нормальном распределении вероятностей интенсивности износа, нормированный пробег вычисляется по формуле:

$$L = L_o - t \cdot \sigma_o, \quad (7)$$

где t – приведенное нормированное отклонение.

Величина t определяется по табличной функции Лапласа. t = 1,28.

Средний пробег деталей электровоза до предельного износа определяется по формуле:

$$L_{\text{о}} = \frac{d}{x}. \tag{8}$$

Основное отклонение среднего пробега определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{о}} = L_{\text{о}} \cdot V, \tag{9}$$

где V – мера изменчивости.

Мера изменчивости определяется из выражения:

$$V = \frac{\delta}{x}. \tag{10}$$

По приведенной выше численному методу и методике [] были получен ресурс бандажей в 14 сервисных локомотивных депо.

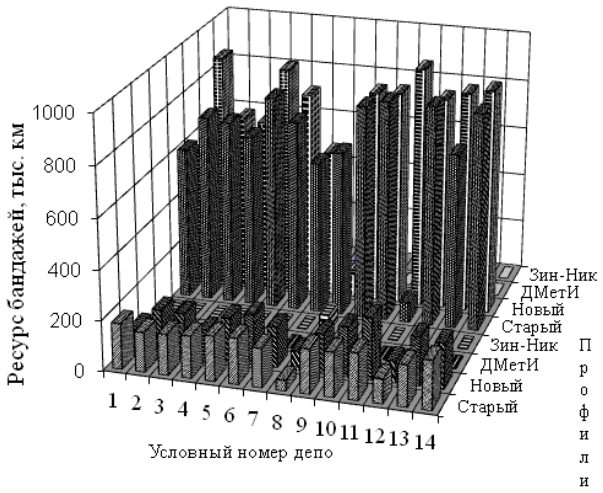


Рис. 6 – Ресурс бандажей при различном профиле бандажа

Был сделан вывод, что в разных сервисных локомотивных депо необходимо поддерживать тот или иной профиль колесных пар, что приведет к снижению износа и количества обточек бандажей электровозов.

Список литературы

1. *Буйносов А.П.* Модель эксплуатационного износа сложных систем железнодорожного транспорта // Вестник транспорта Поволжья. 2010. № 4 (24). С. 21-25.

2. *Буйносов А.П.* Влияние условий эксплуатации на износ бандажей // Локомотив. 1995. № 1. С. 33-34.

3. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27-28.

4. *Буйносов А.П., Худояров Д.Л., Пышный И.М.* Выбор профиля поверхности катания бандажей колесных пар промышленных тепловозов // Транспорт Урала. 2011. № 1 (28). С. 64-69.

5. *Буйносов А.П., Умылин И.В.* Оптимизация процесса обточки бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 3. С. 101-104.

05.13.18

В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
кафедра прикладной математики и информатики,
Новокузнецк, pavlova@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Описана цифровая модель геомеханических процессов в структурно неоднородном геомассиве. Приведены результаты вычислительных экспериментов для оценки влияния на геомеханические параметры геомассива геологического нарушения разрывного типа. Установлено, что с увеличением структурной неоднородности геомассива на стадии перехода пород в запредельное состояние снижается устойчивость подготовительных выработок и угольных целиков между выработками.

Ключевые слова: *вертикальные напряжения, вычислительные эксперименты, геомеханические параметры, смещения, цифровая модель.*

Введение

На практике геологическая среда характеризуется сложностью и изменчивостью элементов залегания углепородной толщи. Однако существующие программные комплексы позволяют прогнозировать геомеханические параметры технологии угледобычи, как правило, без детального учёта указанных особенностей массива горных пород [1-3].

В этой связи возникает актуальная научно-практическая задача прогноза геомеханических параметров геотехнологии с учётом структурной неоднородности, геологических нарушений и разных сочетаний прочностных и деформационных параметров пакетов породных плит в кровле и почве угольного пласта как на стадии освоения месторождения, так и при разработке проектной документации.

Одним из направлений решения задачи прогноза параметров геомеханических процессов в структурно неоднородном геомассиве с изменчивостью свойств и полей напряжений является разработка и применение цифровых моделей геомеханических процессов.

Постановка задачи

В качестве объекта исследования принята панель в пределах горного отвода одной из шахт Томусинского угольного района Кузбасса. В пределах панели отработан выемочный столб 1 угольного пласта, проведен вентиляционный штрек 2 выемочного столба 2 (рис.1).

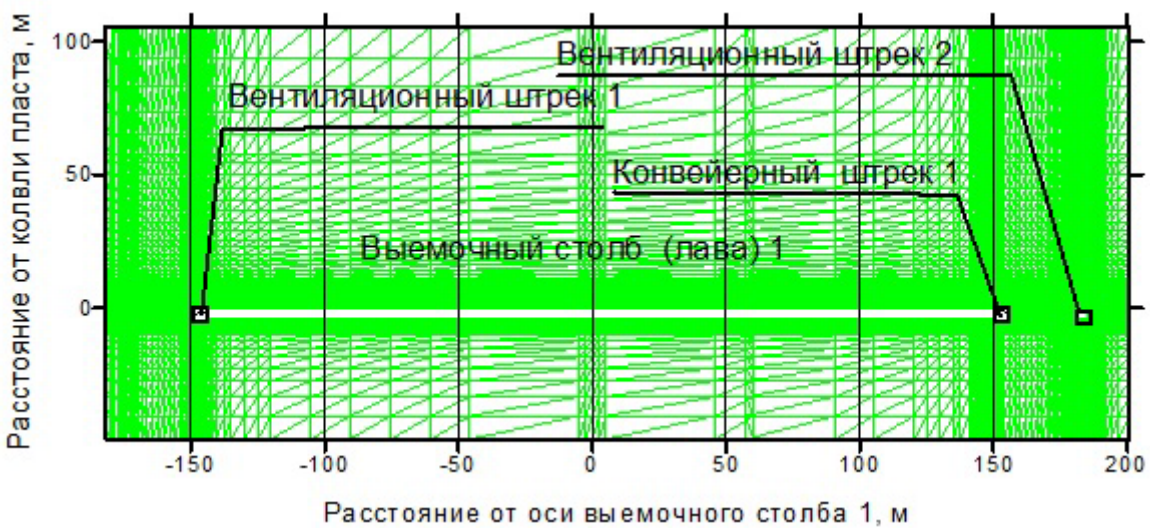


Рис. 1 – Схема расположения очистных и подготовительных выработок в отрабатываемом длинным очистным забоем угольном пласте

Актуальными для производства являются геомеханические параметры, обеспечивающие устойчивость угольного целика между конвейерным штреком 1 и вентиляционным штреком 2, а также эксплуатационную устойчивость этого штрека при отработке следующего выемочного столба.

Для исследования влияния структурной неоднородности пород на параметры напряженно-деформированного состояния геомассива использовалась цифровая модель геомеханических процессов, построенная на основе классических уравнений теории упругости [4] с численной реализацией системы разрешающих уравнений методом конечных элементов [5]. Решалась краевая задача в следующей постановке: найти компоненты векторов смещений и напряжений для каждой точки внутри ограниченной области исследований.

Для двумерной задачи рассматривалось условие плоской деформации. На границах модели, длина которой по вертикальному сечению принята 1000 м, задавались следующие граничные условия: на боковых границах горизонтальные смещения равны нулю, на нижней границе горизонтальные и вертикальные смещения равны нулю, верхняя граница соответствует рельефу земной поверхности и свободна от нагрузки.

Глубина залегания отрабатываемого пласта принята 500 м, мощность отрабатываемого пласта 4.0 м, предел прочности угля при сжатии 10 МПа. Ширина целика между конвейерным штреком 1 и вентиляционным штреком 2 принята равной 30 м. Пределы прочности породных слоёв варьировались в интервале 10-60 МПа с учётом изменчивости свойств пород и их дробления в зоне влияния геологических нарушений [6].

Состояния горных пород оценивалось по паспорту прочности Кулона-Мора [7]. Изменение деформаций во времени учитывалось с использованием функции ползучести Ж.С. Ержанова [8].

Вычислительные эксперименты проводились с использованием авторского комплекса программ [9, 10].

Результаты численного моделирования

По результатам вычислительных экспериментов можно утверждать, что наиболее существенное влияние на геомеханические параметры геомассива и горных выработок оказывают геологические нарушения разрывного типа.

В качестве примера на рисунке 2 показаны вертикальные напряжения в окрестности угольного целика. В случае пересечения угольного целика дизъюнктивом шириной 5м в зоне нарушения вертикальные и горизонтальные напряжения уменьшились соответственно в 2,5 и 1,5 раза. На границах и за пределами нарушения произошло увеличение вертикальных напряжений, Перераспределение напряжений привело к росту конвергенции кровля-почва вентиляционного штрека 2 в 1,4 раза, а боков почти в 2 раза.

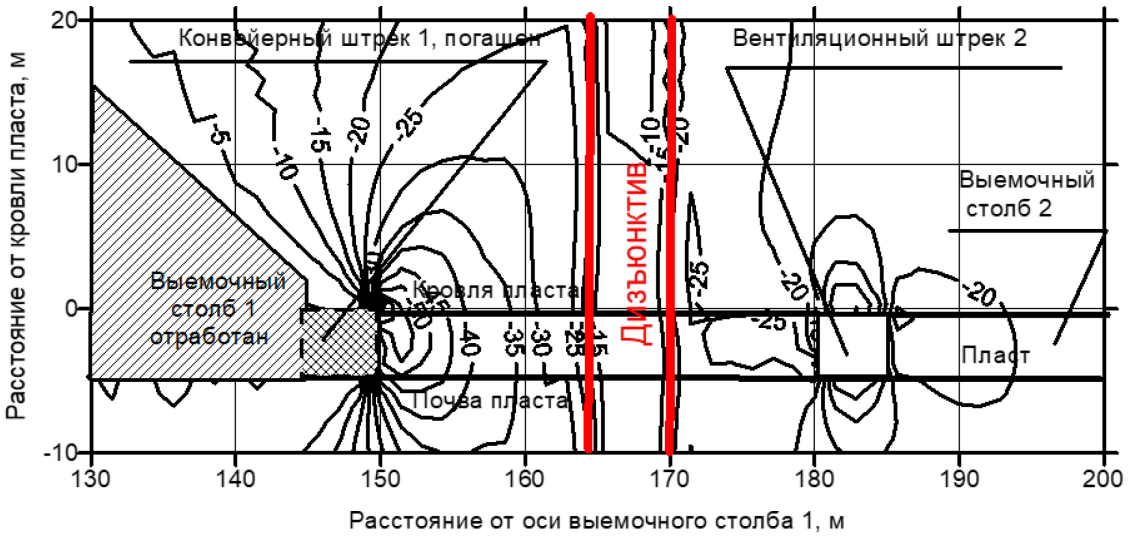


Рис. 2 – Вертикальные напряжения (МПа) в неоднородном массиве горных пород в окрестности угольного целика, пересекаемого дизъюнктивом

На рисунке 3 показаны изолинии отношения остаточной прочности к исходной в окрестности угольного целика. В зоне дизъюнктива прочность угля в целике уменьшилась в 4 раза, конвергенция кровли и почвы пласта увеличилась в 2,2 раза, то есть геологическое нарушение следует рассматривать как выработку, заполненную дроблёными породами.

Из анализа результатов вычислительных экспериментов установлено, что при комплексном влиянии природной структурной неоднородности геомассива, веса подработанных породных слоёв кровли и дизъюнктивного нарушения происходит формирование техногенной блочно-трещиноватой структуры массива горных пород и увеличение деформаций контура подземных выработок.

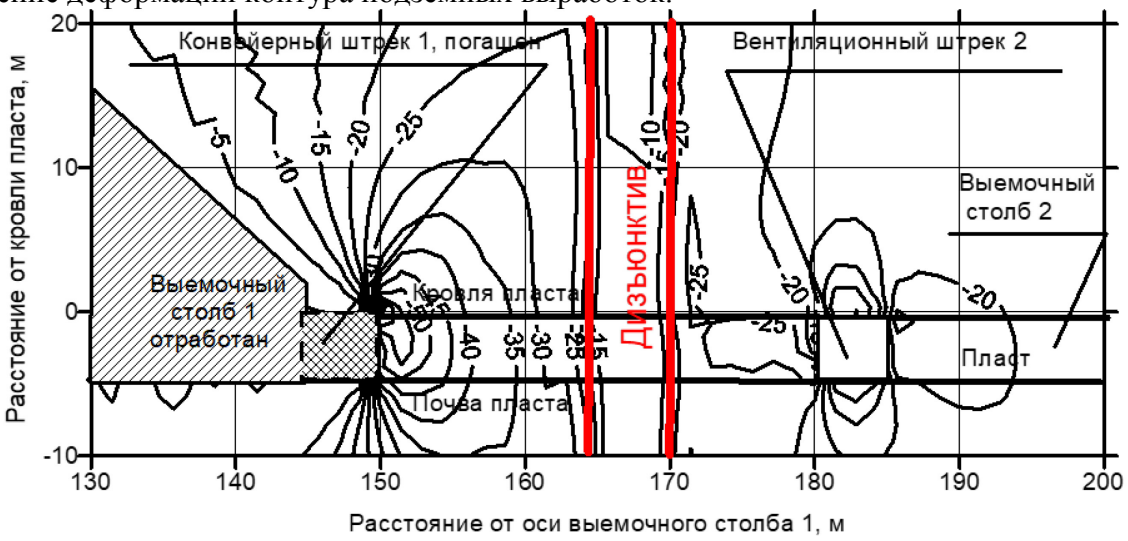


Рис. 3 – Отношение остаточной прочности угля и пород к исходной в неоднородном геомассиве в окрестности угольного целика, пересекаемого дизъюнктивом

В зоне влияния дизъюнктива возможны опасные явления в виде вывалов пород кровли, отжима угля с боков выработок, внезапных выбросов угля и газа, запредельной конвергенции кровли и почвы выработок, разрушения угольных целиков.

Выводы

Описана цифровая модель, позволяющая учитывать неравномерное распределение геолого-геометрических параметров углепородной толщи.

По результатам вычислительных экспериментов проведена оценка влияния структурной неоднородности массива горных пород на геомеханические параметры выемочного участка. Установлено, что структурная неоднородность под влиянием веса подработанных пород кровли наиболее интенсивно проявляется в угольном целике в виде уменьшения прочности угля в направлении от его середины к краевой части отрабатываемого участка пласта.

Геологическое нарушение разрывного типа в структурно неоднородном геомассиве приводит к существенному перераспределению напряжений и деформаций в угольном целике и охраняемой им подготовительной выработке посредством снижения прочности угля в целике, увеличения конвергенции кровля-почва и боков охраняемой выработки.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-41-420004.

Список литературы

1. *Курленя М.В.* Техногенные геомеханические поля напряжений / М.В. Курленя, В.М. Серяков, А.А. Ерёменко. – Новосибирск: Наука, 2005. – 264 с.
2. *Серяков В.М.* Особенности формирования зон опорного давления и разгрузки при ведении очистных работ на сближенных угольных пластах / *В.М. Серяков* // Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2019. – № 5. – С. 52 - 55.
3. *Чанышев А.И.* Исследования упругого, упруго-пластичного и запредельного состояний массива горных пород вблизи выработок по данным измерений на границах / А.И. Чанышев, И.М. Абдулин // ФТПРПИ. – 2019. – № 4. – С. 27 – 35.
4. *Безухов Н.И.* Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов. – М.: Высшая школа, 1968. – 512 с.
5. *Фадеев А.В.* Метод конечных элементов в геомеханике / А.В. Фадеев. – М. : Недра, 1987. – 221 с.
6. Физико-технические свойства горных пород и углей / Г.Г. Штумпф, Ю.А. Рыжков, В.А. Шаламанов, А.И. Петров. – М.: Недра, 1994. – 447 с.
7. *Проскуряков Н.М.* Управление состоянием массива горных пород / Н.М. Проскуряков. – М. : Недра, 1991. – 368 с.
8. *Ержанов Ж.С.* Теория ползучести горных пород и ее приложения / Ж.С. Ержанов. – Алма-ата: Наука, 1964. – 173 с.
9. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2020618595. Программный комплекс для моделирования геомеханических процессов в структурно неоднородном геомассиве при взаимном влиянии системы подземных горных выработок / *В. Н. Фрянов, Л. Д. Павлова, А. Б. Цветков*; ФГБОУ ВО Сиб. гос. индустр. ун-т. – Фед. служба по интеллект. собств.; Дата регистр. 30 июля 2020.
10. *Цветков А.Б.* Нелинейная математическая модель геомеханического состояния углепородного массива / А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 1. – С. 365 – 370.

05.13.18

А.Б. Цветков д-р техн. наук

Сибирский государственный индустриальный университет,
институт информационных технологий и автоматизированных систем,
кафедра прикладной математики и информатики,
Новокузнецк, atsvet@mail.ru

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА

В работе представлен подход, предназначенный для разработки нелинейных математических моделей геомеханического состояния массива горных пород при интегральном воздействии природных и техногенных сил.

Ключевые слова: *Математическая модель, напряженно-деформированное состояние, массив горных пород.*

Для описания геомеханического состояния горных пород предлагается концепция, согласно которой геосреда рассматривается как иерархическая нелинейная система, подверженная воздействию природных и техногенных сил. Согласно концепции рассматриваются два состояния геомассива по отношению к воздействию техногенных сил – природное и нарушенное. Для ненарушенного техногенными воздействиями геомассива характерно природное состояние, формирующееся в течении геологических масштабов времени. В нарушенном состоянии геомассив находится под влиянием техногенных воздействий, которые приводят к формированию вокруг областей нарушения целостности пород разгруженных зон и концентраторов напряжений, существенно изменяющих природное состояние горного массива, описание которого необходимо выполнять посредством математических соотношений, построенных на основе законов, соответствующих нелинейному характеру деформирования горных пород [1,2] (рисунок 1).

Рис. 1 – Схема построения математических моделей напряженно-деформированного состояния геомассива

Выемка угольного пласта приводит к смещениям части углепородной толщи [3,4]. По результатам натурных исследований установлено, что в зоне D_1 горные породы сохраняют сплошность, не нарушены техногенными трещинами, поэтому в этой зоне можно применять соотношения теории упругости. В зоне D_2 породы частично ослаблены трещинами, поэтому для них характерна нелинейная зависимость деформаций от напряжений (рисунок 2). Контуром Γ_1 задаются зоны D_1, D_2 в соответствии с теорией сдвижения горных пород. Контуром Γ_2 определена область очистного выработанного пространства.

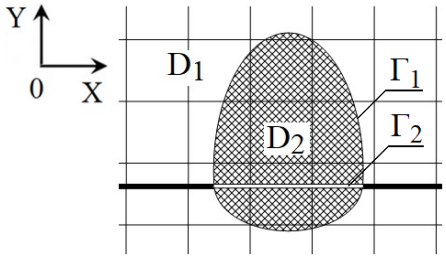


Рис. 2 – Зоны деформирования

Дифференциальные уравнения разработанной нелинейной математической модели имеют вид [5]

$$\mu^* \Delta \vec{u} + (\lambda^* + \mu^*) \text{grad div} \vec{u} = \vec{F}, \quad (1)$$

где $\vec{F}$ - вектор, учитывающий воздействие веса пород; $\vec{u} = (u, v)$ - вектор перемещений; $\lambda^* = E^* \nu^* / ((1+\nu^*)(1-2\nu^*))$, $\mu^* = E^* / (2(1+\nu^*))$, $E^* = \frac{3E_1}{2E_1\psi + 1 - 2\nu}$, $\nu^* = \left(\frac{1}{2} - \frac{1-2\nu}{E_1}\frac{1}{2\psi}\right) / \left(1 + \frac{1-2\nu}{E_1}\frac{1}{2\psi}\right)$ - переменные параметры; E_1 – начальное значение переменного параметра; ν - коэффициент Пуассона; Ψ – функция, описывающая условия деформирования пород, которая равна $\frac{1}{2\mu}$ в зоне упругого деформирования, $\frac{3\varepsilon}{2\sigma(\varepsilon)}$ – в остальных зонах; $\sigma(\varepsilon)$ – функция, аппроксимирующая экспериментальные диаграммы деформирования, полученные по результатам испытаний видов угля и пород.

Начальное значение переменного параметра E_1 предлагается задавать по формуле

$$E_1 = k \cdot E, \quad (2)$$

где E – модуль упругости; k – безразмерный эмпирический коэффициент, (0<k≤1). Для вычисления эмпирического коэффициента k разработана формула вида

$$k = \begin{cases} \frac{y - y_{\Gamma_2}}{y_{\Gamma_1} - y_{\Gamma_2}}, & \text{если } (x, y) \in D_2; \\ 1, & \text{если } (x, y) \in D_1, \end{cases} \quad (3)$$

где y – вертикальные координаты точек, принадлежащих зоне D_2 (рисунок 2); y_{Γ_1}, y_{Γ_2} - вертикальные координаты точек, принадлежащих контурам Γ_1 и Γ_2.

Математическая модель (1) исследуется методом конечных элементов, который реализован в комплексе проблемно-ориентированных программ. Для определения узловых перемещений в программном комплексе применяется модифицированный алгоритм метода конечных элементов, адаптированный к системам символьной математики [6]. Алгоритм построен следующим образом. Функционал задается в виде аналитически построенной функции, представляющей собой сумму по всем конечным элементам. Разрешающая система уравнений получается минимизацией функционала посредством символьных преобразований, что позволяет автоматически перестраивать дискретную модель при модификации математической модели. После решения системы уравнений формируется массив узловых перемещений, с использованием которых вычисляются величины тензоров деформаций и напряжений, остаточной прочности пород и других параметров напряженно-деформированного состояния геомассива.

Пример исследования геомеханического состояния участка геомассива в зоне влияния очистной выработки приведен на рисунках 3 и 4. Расчетная область исследуемого участка геомассива представлена алевролитом крупнозернистым Ω_1, алевролитом мелкозернистым

Ω_2, прослаиванием алевролитов разной зернистости Ω_3, пластом угля Ω_4, алевролитом среднезернистым Ω_5, аргиллитом Ω_6 и песчаником Ω_7 (рисунок 3).

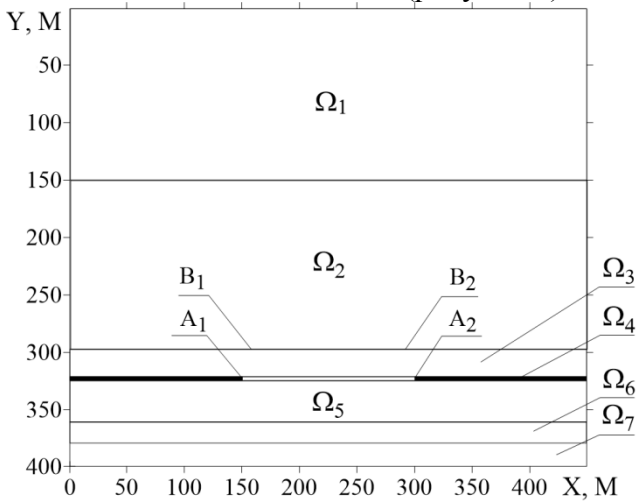


Рис. 3 – Схема исследуемого участка геомассива

Границы очистной выработки в угольном пласте обозначены точками A_1 и A_2 (рисунок 3). Над выработанным пространством в результате техногенных воздействий произошло расслоение пластов Ω_2 и Ω_3, протяженность которого отмечена на рисунке 3 точками B_1 и B_2.

Результаты численного моделирования распределения вертикальных напряжений приведены на рисунках 4а и 4б (на рисунках знак минус соответствует сжимающим напряжениям).

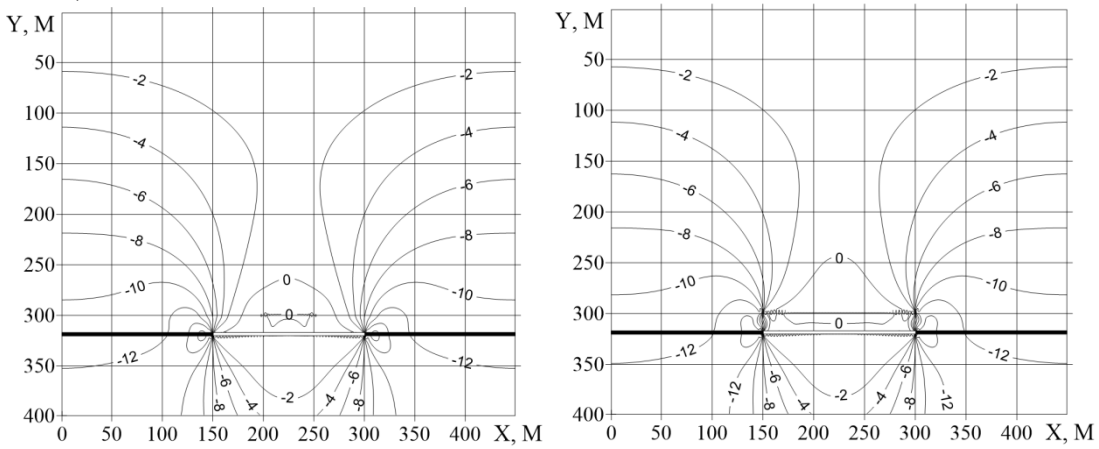


Рис. 4 – Изолинии распределения вертикальных напряжений при наличии расслоения над очистной выработкой, МПа: а – длина расслоения B_1B_2 составляет 50 м; б – длина расслоения B_1B_2 составляет 150 м

Из сопоставления результатов, представленных на рисунках 4а и 4б, можно сделать вывод, что изменение длины расслоения B_1B_2 над очистным выработанным пространством с 50м до 150м приводит к увеличению размера зоны растягивающих напряжений на 20м в направлении к дневной поверхности.

В зоне растяжения, сформировавшейся над выработкой, происходит деформирование пород и рост объема пор и трещин, заполняющихся газом, который поступает в очистное выработанное пространство. Как следствие повышенная концентрация метана в выработках создает опасные ситуации при проведении горных работ, что необходимо учитывать при создании проектной документации.

Таким образом, предложенная нелинейная математическая модель позволяет исследовать напряжённо-деформированное состояние геомассива и выявлять опасные условия при проведении горных работ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-41-420004

Список литературы

1. *Цветков А.Б.* Сравнительная оценка математических моделей геомеханического состояния массива горных пород / А. Б. Цветков, Л. Д. Павлова, В. Н. Фрянов // Краевые задачи и математическое моделирование : темат. сб. науч. ст. – Новокузнецк, 2014. – С. 314–317.

2. *Ершов Л.В.* Математические основы физики горных пород / Л.В. Ершов, В.А. Максимов – М.: МГИ, 1968. – 293 с.

3. *Грицко, Г.И.* Прогнозирование и расчет проявлений горного давления / Г. И. Грицко, Б. В. Власенко, Г. Е. Посохов. – Новосибирск : Наука, 1980. – 159 с.

4. *Турчанинов И.А.* Основы механики горных пород / И. А. Турчанинов, М. А. Иофис, Э. В. Каспарьян. – Ленинград : Недра, 1989. – 488 с.

5. *Цветков А.Б.* Численное моделирование напряженно-деформированного состояния геомассива с учетом различной сопротивляемости пород растяжению или сжатию / А.Б. Цветков // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – Новокузнецк, 2020. – № 6. – С. 297-300.

6. *Цветков А.Б.* Адаптация алгоритма метода конечных элементов к системе символьной математики [Текст] / А. Б. Цветков, Л. Д. Павлова // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Международная научно-практическая конференция : сб. науч. ст. – Новокузнецк, 2015. – С. 121–125.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.В. Баканов, А.А. Кузнецов, К.А. Липатников
ДАТЧИК ТОКА НА БАЗЕ ЭФФЕКТА МАГНИТОСТРИКЦИИ
Ключевые слова: оптоволокно, решетка Брэгга, эффект Фарадея, магнитострикция, никель.
В работе представлен альтернативный датчик тока на базе магнитострикционного материала никеля. Разработана математическая модель датчика в переменном магнитном поле при удлинении никеля и решетки Брэгга. Произведено моделирование удлинения в магнитном поле, распределение нагрузок при влиянии внешнего магнитного поля. Проанализированы технические характеристики и конструктивные особенности устройства.

V.V. Bakanov, A.A. Kuznetsov, K.A. Lipatnikov
CURRENT SENSOR BASED ON THE MAGNETOSTRICTION EFFECT
Keywords: optical fiber, Bragg lattice, Faraday effect, magnetostriction, nickel.
The paper presents an alternative current sensor based on a magnetostrictive nickel material. A mathematical model of the sensor in an alternating magnetic field under the elongation of nickel and the Bragg lattice is developed. The simulation of elongation in a magnetic field, the distribution of loads under the influence of an external magnetic field is performed. The technical characteristics and design features of the device are analyzed.

А.П. Буйносов
АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ЭП2К
Ключевые слова: электровоз, железнодорожный путь, необщего пользования, двигатель, характеристика, методика, построение.
Приводятся методика и результаты расчетов для построения характеристик тягового двигателя и проектируемого электровоза постоянного тока для работы на железнодорожных путях необщего пользования. За аналог для проектируемого электровоза была принята подлежащая списанию в настоящее время одна секция электровоза серии ВЛ11. Приводится полученная магнитная характеристика двигателя, электромеханические и тяговые характеристики проектируемого электровоза.

A.P. Buinosov
FAILURE ANALYSIS OF THE DOMESTIC PASSENGER ELECTRIC LOADER EP2K
Keywords: electric locomotive, malfunctions, causes, analysis, reliability, increase.
The analysis of malfunctions of the domestic passenger electric locomotive of the new generation of the EP2K series is given on the basis of the collected statistical information for the last 3 years in the operational locomotive depot in Barabinsk. It is shown that the main malfunctions include failures in the operation of the hydraulic damper. Methods for improving the reliability of the hydraulic damper have been developed.

И.А. Волков, Д.С. Зырянова, Л. В. Синицына
ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ СТУДЕНТАМИ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ УЧЕБНЫХ ЗРИТЕЛЬНЫХ РАБОТ
Ключевые слова: исследование, экспериментальная исследовательская установка, испытуемый, учебная нагрузка, движущийся объект.
Статья посвящена оценке условий освещения студентами высшего учебного заведения при выполнении учебных зрительных работ.

I.A. Volkov, D.S. Zyryanova, L.V. Sinitsyna
ASSESSMENT OF LIGHTING CONDITIONS THE STUDENTS OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS UNDER IMPLEMENTATION OF EDUCATIONAL VISUAL TASKS
Keywords: research, experimental research facility, test subject, study load, moving object.
The article is devoted to the assessment of lighting conditions of students of higher educational institutions in the performance of educational visual works.

В.С. Крылов
СБОРКА АЛГОРИТМА АНАЛИЗА ЛАТЕНТНЫХ ТЕМ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ
Ключевые слова: тематическое моделирование, латентные темы, латентное размещение Дирихле.
В работе представлены результаты применения сборки алгоритма на основе латентного размещения Дирихле (LDA) тематического моделирования для выделения латентных тем из текста научного издания. Научное издание, с определенными авторами и темами разделов, представляет собой коллекцию документов из этих разделов. Выделенные латентные темы визуализируют скрытые связи между разделами научного издания.

V.S. Krylov
ASSEMBLING OF ANALYSIS ALGORITHM FOR LATENT TOPICS OF THE SCIENTIFIC PUBLICATIONS
Keywords: topic modeling, latent themes, latent Dirichlet placement.
The paper presents the results of applying the assembly of the algorithm based on the latent Dirichlet placement (LDA) of topic modeling for the selection of latent topics from the text of a scientific publication. A monograph, with author-defined topics for sections, is a collection of documents from those sections. The highlighted latent topics visualize the hidden connections between sections of the monograph.

Е.С. Кузнецова, А.Ю. Панов, С.В. Кузнецов
ПРИМЕНЕНИЕ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЙ
Ключевые слова: *стратегия предприятия, стратегия развития, разработка и реализация стратегии предприятия, риски, сети Байеса*.
В статье рассмотрена возможность и целесообразность применения методикирасчета рисков при разработке и реализации стратегии производственного предприятия на основе применения Байесовских сетей. Программная реализация предлагаемого метода осуществляется с помощью программного пакета Hugin Lite.

E.S. Kuznetsova, A.Yu. Panov, S.V. Kuznetsov
APPLICATION OF THE BAYESIAN BELIEF NETWORKS TO REDUCING RISKS IN THE DEVELOPMENT AND REALIZATION ENTERPRISE`S STRATEGY
Keywords: enterprise strategy, development strategy, development and realization enterprise`s strategy, risks, Bayesian networks.
The article considers the possibility and expediency of using the risk calculation method in the development and realization of the strategy of a manufacturing enterprise based on the use of Bayesian networks. Programmatic realization of this method is carried out by Hugin Lite software package.

Р.И. Нургалиев, А.А. Василец,
В.И. Баязитова, А.Ж. Сахабутдинов,
А.А. Кузнецов, А.Н. Пикулев, В.В. Садчиков

АЛГОРИТМ ТРОЙНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ СВЕРХУЗКИХ СТРУКТУР РЕЗОНАНСНОГО ТИПА В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

Ключевые слова: радиофотоника; оптический векторный анализатор; гауссова волоконная брэгговская решетка; амплитудная модуляция несущей; двухполосный тройной зондирующий сигнал

В работе представлены результаты синтеза алгоритма зондирования сверхузких структур резонансного типа (ССРТ) в оптическом волокне (ОВ) с помощью симметричного двухполосного тройного векторного анализатора. На примере гауссовых волоконных брэгговских решеток (ГВБР) показано, что реализация алгоритма позволяет осуществить характеризацию их амплитудно-частотных характеристик с разрешающей способностью в 2-20 фемтометров. Данная характеристика определяется модуляционным разносом боковых частот зондирующего излучения на 0,12-1,2 МГц от несущей, что дополнительно позволяет проводить прием и обработку информационных сигналов в узкой полосе и на промежуточной частоте, имеющей максимальное значение 2,4 МГц (разнос между боковыми частотами) с повышением чувствительности и отношения сигнал/шум измерений.

R.I. Nurgaliev, A.A. Vasilets,
V.I. Bayazitova, A.Zh. Sakhabutdinov,
A.A. Kuznetsov, A.N. Pikulev, V.V. Sadchikov

ALGORITHM OF PAIRED PROBING OF SUPERNARROW RESONANCE STRUCTURES IN OPTICAL FIBER

Keywords: microwave photonics; optical vector analyzer; Gaussian fiber Bragg grating; amplitude carrier modulation; two-way triple probing signal.

The paper presents the results of the synthesis of an algorithm for probing ultra-narrow resonant-type structures in an optical fiber using a symmetric two-band triple vector analyzer. Using Gaussian fiber Bragg gratings as an example, it is shown that the implementation of the algorithm makes it possible to characterize their amplitude-frequency characteristics with a resolution of 2-20 femtometers. This characteristic is determined by the modulation spacing of the side frequencies of the probing radiation at 0.12-1.2 MHz from the carrier, which additionally allows the reception and processing of information signals in a narrow band and at an intermediate frequency with a maximum value of 2.4 MHz (spacing between side frequencies) with an increase in the sensitivity and signal-to-noise ratio of measurements.

А.А. Хохрин

ТРЕХМЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛИЦА ИЗ ОДНОГО 2D-ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И БАЗЕЛЬСКОЙ МОДЕЛИ ЛИЦА

Ключевые слова: трехмерная реконструкция лица, многомерное нормальное распределение, извлечение признаков.

В статье предлагается эффективный алгоритм трехмерной реконструкции лица. Метод состоит из трех основных этапов: извлечение отличительных особенностей, расчет глубины и создание трехмерного изображения с использованием Базельской модели лица. Отличительные особенности извлекаются с помощью масштабно-инвариантного преобразования признаков, которые используются для трехмерной реконструкции лица на более позднем этапе. Второй этап включает вычисление глубины, чтобы добавить изображению третье измерение. Многомерное нормальное распределение помогает восполнить третье измерение, которое дополнительно настраивается с помощью техники распознавания форм по затенению. Результаты экспериментов показывают, что предложенный метод является надежным, имеет высокую точность восстановления трехмерной модели лица, характеризуется низким временем вычислений по сравнению с другими современными методами.

A.A. Khokhrin

3D FACE RECONSTRUCTION FROM A SINGLE 2D IMAGE BASED ON FEATURES AND A BASEL FACE MODEL

Keywords: 3D face reconstruction, multivariate normal distribution, feature extraction.

The article proposes an efficient algorithm for 3D face reconstruction. The method consists of three main steps: feature extraction, depth calculation, and 3D imaging using the Basel Facial Model. Distinctive features are extracted using scale-invariant feature transformations, which are used for 3D facial reconstruction at a later stage. The second step involves calculating the depth to add a third dimension to the image. The multivariate normal distribution helps to fill in the third dimension, which is further tuned using the shading shape recognition technique. The experimental results show that the proposed method is reliable, has a high accuracy of reconstruction of a three-dimensional model of a face, and is characterized by a low computation time in comparison with other modern methods.

И.Н. Козлов

О ИЗМЕНЕНИИ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОВОГО ПРИБОРА НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДНОЙ МАТРИЦЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВТОРИЧНОЙ ОПТИКИ В ВИДЕ ЗЕРКАЛЬНОЙ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Ключевые слова: световой прибор, светодиод, освещение, характеристики.

В данной статье рассматриваются влияние вторичной оптики на прожектор СДО-07-20-65 на основе SMD-светодиодов. Представлена схема модифицированной конструкции прожектора СДО-07-20-65 с расположенными вдоль рядов светодиодов, перпендикулярно поверхности платы, на которой расположены SMD-светодиоды, параллельно друг другу плоские пластины с высоким коэффициентом отражения. Измерены КСС прожектора без добавления вторичной оптики и с модификацией. Проанализированы полученные результаты измерений кривых сил света.

I.N. Kozlov

ON CHANGE OF LIGHT DISTRIBUTION OF A LIGHTING DEVICE BASED ON LED MATRIX WHEN USING SECONDARY OPTICS AS A MIRROR PLANE SURFACE

Keywords: light device, led, lighting, characteristics.

This article examines the effect of secondary optics on the SDO-07-20-65 floodlight based on SMD LEDs. A diagram of a modified design of the SDO-07-20-65 floodlight with flat plates with a high reflection coefficient located along the rows of LEDs, perpendicular to the surface of the board on which the SMD-LEDs are located, is presented. Measured KSS of the searchlight without adding secondary optics and with modification. The obtained results of measurements of the curves of luminous intensity are analyzed.

М.В. Таланов, В.М. Таланов
БЕЗДАТЧИКОВАЯ СИСТЕМА ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ СИГМА-ТОЧЕЧНОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА

Ключевые слова: система векторного управления, сигма-точечный фильтр Калмана, асинхронный электродвигатель, бездатчиковая система управления.

В работе приводится имитационная модель бездатчиковой системы векторного управления асинхронным электродвигателем. Представлен алгоритм оценивания скорости вращения ротора асинхронного электродвигателя на основе сигма-точечного фильтра Калмана. В статье описаны результаты экспериментальной апробации модели системы управления с предложенным алгоритмом оценки скорости вращения.

M.V. Talanov, V.M. Talanov
INDUCTION MOTOR SENSORLESS VECTOR CONTROL SYSTEM WITH SPEED ESTIMATION BASED ON UNSCENTED KALMAN FILTER

Keywords: vector control system, Unscented Kalman Filter, induction motor, sensorless control system.

The paper presents an induction motor sensorless vector control system simulation model. The rotor speed estimation algorithm based on the Unscented Kalman Filter is presented. The article describes the simulation results of the control system model with the proposed rotor speed estimation algorithm.

Г.А. Гареева, А.Р. Шакиров, Д.Р. Григорьева, Р.Р. Басыров
ДИАГНОСТИКА ПРОГРАММНОГО И АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПК НА ПРЕДПРИЯТИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ключевые слова: диагностика, программа, программное и аппаратное обеспечение, машиностроение.

В работе представлена разработка программного продукта, способного производить диагностику программного и аппаратного обеспечения ПК на предприятии машиностроительной отрасли.

G.A. Gareeva, A.R. Shakirov, D.R. Grigoreva, R.R. Basyrov
DIAGNOSTICS OF SOFTWARE AND HARDWARE OF PC IN THE ENGINEERING ENTERPRISE

Keywords: diagnostics, program, software and hardware, mechanical engineering.

The work presents the development of a software product capable of diagnosing PC software and hardware at an enterprise in the engineering industry.

А.А. Голубничий, А.Д. Яблонцева
РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В РАМКАХ ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ КАМПАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ)

Ключевые слова: прикладные геоинформационные системы, геоинформационные базы данных, избирательные кампании.

В работе описывается принципиальная модель структуры данных, планируемая к разработке для создания прикладных геоинформационных систем, для проведения избирательных кампаний. Описывается стек технологий для создания первичной базовой информационной системы, дается рекомендация по развертыванию прикладных программных продуктов, описывается потенциальная область применения информационных систем. Приводится рендеринг отдельных элементов реализованной базы данных для развертывания информационных систем в рамках федеральной избирательной кампании на территории Республики Хакасия.

A.A. Golubnichiy, A.D. Yablontseva
DEVELOPMENT OF A DATABASE FOR CREATION OF APPLIED GEOINFORMATION SYSTEMS IN ELECTION CAMPAIGNS (ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF KHAKASIYA)

Keywords: applied geoinformation systems, geoinformation databases, election campaigns.

The paper describes the fundamental model of the data structure, which is planned to be developed for the creation of applied geographic information systems for conducting election campaigns. A technology stack for creating a primary basic information system is described, a recommendation for the deployment of applied software products is given, and a potential area of application of information systems is described. The rendering of individual elements of the implemented database for the deployment of information systems in the framework of the federal election campaign on the territory of the Republic of Khakassia is given.

А.А. Голубничий, А.Д. Яблонцева
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗВЕДОЧНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

Ключевые слова: разведочный анализ данных, многопанельная графика, прикладное программное обеспечение.

В работе описывается процесс разработки программного продукта, позволяющего автоматизировать разведочный анализ данных посредством многопанельной графики, реализованной в пакете brinton [1]. Анализируются варианты реализации разведочного анализа при помощи языка программирования R. Описывается набор функций, реализованных в программном обеспечении. Приводится рендеринг отчета, генерируемого как результат работы приложения.

A.A. Golubnichiy, A.D. Yablontseva
DEVELOPMENT OF AUTOMATION SYSTEM EXPLORATION DATA ANALYSIS

Keywords: exploratory data analysis, multi-panel graphics, application software.

The paper describes the process of developing a software product that allows you to automate exploratory data analysis using multi-panel graphics, implemented in the brinton package. Variants of exploratory analysis implementation using the R programming language are analyzed. A set of functions implemented in the software is described. The rendering of the report generated as a result of the application is shown.

А.А. Каменских, М.М. Пащенко
ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНО-УПРОЧНЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА КОНТАКТ ШТАМПА И ПОЛУПРОСТРАНСТВА

Ключевые слова: оптическое волокно, защитно-упрочняющее покрытие, многослойная конструкция, полимер, контакт.

В работе представлено численное моделирование деформационного поведения многослойного штампа с центральной частью, выполненной из кварца, и двумя

A.A. Kamenskikh, M.M. Pashchenko
INFLUENCE OF PROTECTIVE-STRENGTHENING COATING ON THE CONTACT OF THE STAMP AND HALF-SPACE

Keywords: optical fiber, protective and hardening coating, multilayer construction, polymer, contact.

Numerical modeling of the deformation behavior of a multilayer die with a central part made of quartz and two

полимерными защитными покрытиями в рамках контактного взаимодействия без учета трения с алюминиевым полупространством. Выполнено сравнение деформирования многослойной конструкции с моделью без учета защитно-упрочняющего полимерного многослойного покрытия. Установлено, что при учете защитного покрытия наблюдается снижения максимального уровня параметров зоны контакта и деформационных характеристик.

polymer protective coatings within the framework of contact interaction without regard to friction with an aluminum half-space is presented in the work. Comparison of the multilayer structure deformation with the model without taking into account the protective-hardening polymer multilayer coating is performed. It was found that when the protective coating is taken into account, a decrease in the maximum level of the contact zone parameters and deformation characteristics is observed.

А.А. Каменских, М.М. Пащенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРА КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШТАМПА С МНОГОСЛОЙНЫМ ЗАЩИТНО-УПРОЧНЯЮЩИМ ПОКРЫТИЕМ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ ШТАМП-ПОЛУПРОСТРАНСТВО

Ключевые слова: оптическое волокно, многослойная конструкция, полимер, трение, контакт, характер контактного взаимодействия.

В работе исследовано влияние характера контактного взаимодействия многослойного индентора с полупространством. Рассмотрено влияния фрикционных свойств зоны сопряжения штампа с полупространством и контактной склейки между слоями многослойного индентора. Установлено, что фрикционные свойства оказывают значительное влияние на параметры контакта и деформационные характеристики сборки. Учет контактной склейки между слоями многослойного индентора оказывают не значительное влияние на напряженно-деформированное состояние системы штамп-полупространство.

A.A. Kamenskikh, M.M. Pashchenko

RESEARCH OF THE CONTACT INTERACTION CHARACTER INFLUENCE OF A STAMP WITH A MULTI-LAYER PROTECTIVE-HARDENING COATING ON THE DEFORMATION CHARACTERISTICS OF THE STAMP-HALF-SPACE SYSTEM

Keywords: optical fiber, multilayer construction, polymer, friction, contact, contact interaction pattern.

The influence of the contact interaction pattern of a multilayer indenter with a half-space is studied in this work. The influence of the frictional properties of the coincidence zone of stamp with the half-space and contact gluing between the layers of a multilayer indenter is considered. It was found that the frictional properties have a significant impact on the contact parameters and deformation characteristics assembly. Taking into account the contact gluing between the layers of a multilayer indenter does not have a significant effect on the stress-strain state of the stamp-half-space system.

А.В. Колсанов, С.С. Чаплыгин,
Е.Г. Орехова, А.В. Иващенко

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ОПЕРАЦИОННОГО МИКРОСКОПА

Ключевые слова: дополненная реальность, оптический трекинг, планирование хирургического вмешательства, нейрохирургия.

Статья посвящена синхронизации аппаратно-программного комплекса «Автоплан», предназначенного для планирования и контроля оперативного хирургического вмешательства в среде дополненной реальности и электронного микроскопа. Предложенная математическая модель используется для согласованного отображения полупрозрачных трехмерных моделей индивидуальной анатомии пациента и намеченных хирургом ориентиров поверх изображения, получаемого через оптическую систему операционного микроскопа, как в его окулярах, так и на мониторе системы хирургической навигации «Автоплан». Интеграция с электронным микроскопом расширяет возможности комплекса, в частности позволяет его применять в нейрохирургии.

A.V. Kolsanov, S.S. Chaplygin,
E.G. Orehova, A.V. Ivaschenko

MATHEMATICAL MODEL OF FORMATION AND POSITIONING OF AUGMENTED REALITY OBJECTS ON IMAGES OF OPERATIONAL MICROSCOPE

Keywords: augmented reality, optical tracking, surgical planning, neurosurgery.

The paper is devoted to the synchronization of the "Autoplan" complex intended for planning and control of AR based surgical intervention and an electron microscope. The proposed mathematical model is used for the consistent display of semitransparent 3D models of the individual anatomy of the patient and the landmarks outlined by the surgeon over the image obtained through the optical system of the operating microscope, both in its eyepieces and on the monitor of the "Autoplan" surgical navigation system. Integration with an electron microscope expands the capabilities of the complex, in particular, allows it to be used in neurosurgery.

А.С. Мальцев, П.В. Максимов

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОНИЯ В КВАРЦЕВОМ АКСЕЛЕРОМЕТРЕ ПРИ СВАРНОМ И КЛЕЕВОМ СОЕДИНЕНИЯХ

Ключевые слова: акселерометр, метод конечных элементов, механика деформируемого твердого тела, контактная задача.

С использованием верифицированной компьютерной модели методами вычислительной механики определяется напряженно деформированное состояние акселерометра с клеевым и сварным способом соединения элементов. Получены контактные давления при различных способах сборки. Обосновано преимущество сварного соединения перед клеевым.

A.S. Maltsev, P.V. Maksimov

NUMERICAL SIMULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE IN A QUARTZ ACCELEROMETER WITH WELDED AND ADHESIVE JOINTS

Keyword: accelerometer, finite element method, solid mechanics, contact problem.

Using a verified computer model, the stress-strain state of an accelerometer with an adhesive and welding type of connection of elements is determined by methods of computational mechanics. Contact pressures were obtained for various assembly methods. The advantage of a welded joint over an adhesive joint is substantiated.

А.С. Мальцев, П.В. Максимов

ОЦЕНКА МЕТОДАМИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КВАРЦЕВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА ПРИ РУЧНОЙ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКЕ

Ключевые слова: акселерометр, вычислительная механика, метод конечных элементов, автоматизация производства, ANSYS.

В работе с использованием верифицированной ранее расчетной методики определения НДС акселерометра выполнено моделирование деформирования устройства в условиях ручной сборки датчика. Определено рациональное сжимающее усилие сборки, обеспечивающее целостность конструкции при эксплуатации. Выполнено моделирование процесса автоматизированной сборки датчика. Выявлена потеря работоспособности датчика при заданных параметрах автоматизированной сборки.

A.S. Maltsev, P.V. Maksimov

ESTIMATION BY THE METHODS OF NUMERICAL SIMULATION OF THE PERFORMANCE OF A QUARTZ ACCELEROMETER DURING MANUAL AND AUTOMATED ASSEMBLY

Keyword: акселерометр, вычислительная механика, метод конечных элементов, автоматизация производства, ANSYS.

In this work, using the previously verified calculation method for determining the stress-strain state of an accelerometer, the deformation of the device are simulated under the conditions of manual assembly of the sensor. The rational compressive force of the assembly is determined, which ensures the integrity of the structure during operation. Simulation of the process of automated assembly of the sensor has been carried out. The loss of the sensor performance is revealed at the given parameters of the automated assembly.

А.Г. Мухаметзянова, В.В. Бронская

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ БУТИЛКАУЧУКА В РЕАКТОРЕ С МЕШАЛКОЙ

Ключевые слова: бутилкаучук, теплоотдача, реактор с мешалкой, двух зонная математическая модель.

На основе представления реакции сополимеризации изобутилена с изопреном, как реакции «факельного» типа построена двух зонная математическая модель процесса полимеризации бутилкаучука в аппарате с мешалкой. Проведены расчеты зависимости температуры среды в аппарате от времени ведения процесса для двух типов реакторов, отличающихся геометрией трубных пучков. Приводятся рекомендации по увеличению времени пробега реактора.

A.G. Mukhametzyanova, V.V. Bronskaya

MODELING OF BOTTLE RUBBER POLYMERIZATION PROCESS IN A REACTOR WITH A STIRRER

Keywords: butyl rubber, heat transfer, stirred reactor, two-zone mathematical model.

Based on the representation of the reaction of copolymerization of isobutylene with isoprene, as a reaction of the "flare" type, a two-zone mathematical model of the process of polymerization of butyl rubber in an apparatus with a stirrer is constructed. Calculations of the dependence of the temperature of the medium in the apparatus on the time of the process are carried out for two types of reactors differing in the geometry of the tube bundles. Recommendations for increasing the travel time of the reactor are given.

А.С. Титовцев, П.В. Антонова

ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОГРАНИЧЕННЫМ ВРЕМЕНЕМ ПРЕБЫВАНИЯ ЗАЯВКИ В ОЧЕРЕДИ И ВРЕМЕНЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПО ЗАКОНУ ЭРЛАНГА

Ключевые слова: очередь, качество обслуживания, система массового обслуживания, $M/E_r/1$.

В статье представлены результаты исследования открытой одноканальной системы массового обслуживания смешанного типа, с временем обслуживания, распределенным по закону Эрланга. Рассматриваемая модель сочетает в себе свойства известной модели с пуассоновским входным потоком и эрланговским временем обслуживания, а также СМО с ограниченной очередью. Модель позволяет задавать число фаз в обслуживании и ограничения по времени пребывания заявки очереди. На основании известных результатов для модели M/M/1 получены аналитические выражения, описывающие основные характеристики для систем смешанного типа с временем обслуживания, распределенным по закону Эрланга.

A.S. Titovtsev, P.V. Antonova

PROPERTIES OF THE QUEUING SYSTEMS WITH THE BOUNDED AVERAGE WAITING TIME AND THE SERVICE TIMES DISTRIBUTED BY ERLANG LAW

Keywords: queue, quality of service (QoS), queuing system (QS), $M/E_r/1$.

The article presents the results of a study of an open single-channel queuing system of mixed type, with the service time distributed according to the Erlang law. The considered model combines the properties of the well-known model with Poisson input flow and Erlang service time, as well as QS with a limited queue. The model allows to set the number of phases in servicing and the waiting time limits. Based on the known results for the M / M / 1 model, analytical expressions are obtained that describe the main characteristics for mixed-type systems with service time distributed according to the Erlang law.

А.С. Титовцев, П.В. Антонова

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОГРАНИЧЕННЫМ СРЕДНИМ ВРЕМЕНЕМ ПРЕБЫВАНИЯ ЗАЯВКИ В СИСТЕМЕ И ВРЕМЕНЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПО ЗАКОНУ ЭРЛАНГА

Ключевые слова: очередь, качество обслуживания, система массового обслуживания, $M/E_r/1$.

В статье представлены результаты исследования открытой одноканальной системы массового обслуживания смешанного типа, с временем обслуживания, распределенным по закону Эрланга. Изучена динамика изменения граничного числа фаз обслуживания при изменении приведенных интенсивностей входного потока заявок с помощью методики, основанной на вычислении граничных значений числа фаз в обслуживании, при которых среднеквадратическое отклонение исследуемой

A.S. Titovtsev, P.V. Antonova

NUMERICAL RESEARCH OF THE STABLE MODES OF THE QUEUING SYSTEMS WITH THE BOUNDED AVERAGE TIME IN THE SYSTEM AND THE SERVICE TIMES DISTRIBUTED BY ERLANG LAW

Keywords: queue, quality of service (QoS), queuing system (QS), $M/E_r/1$.

The article presents the results of a study of an open single-channel queuing system of mixed type, with the service time distributed according to the Erlang law. The dynamics of changes in the boundary number of service phases is studied when the reduced intensities of the input flow of claims change using a technique based on calculating the boundary values of the number of phases in service at which the standard deviation of the investigated quantity does not exceed its mathematical expectation. The mode of operation of the system, in which the

величины не превосходит ее математического ожидания. Режим функционирования системы, при котором СКО длины очереди не превышает ее среднего значения, является наиболее стабильным и предсказуемым с точки зрения эксплуатации.

standard deviation of the queue length does not exceed its average value, is the most stable and predictable from the point of view of operation.

Г.М. Тутаев, М.А. Бобров, С.А. Моисеев, Ю.А. Агафонов
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ФУНКЦИЕЙ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Ключевые слова: электропривод на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами, векторное управление, резервный источник питания, преобразователь частоты, имитационное моделирование.

В статье представлены результаты моделирования электропривода на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами при реализации векторных законов регулирования и обеспечении резервного питания от источника постоянного тока. Приведена оценка динамических свойств системы при переключении системы электропривода на резервный источник питания.

G.M. Tutaev, M.A. Bobrov, S.A. Moiseev, Yu.A. Agafonov
SIMULATION OF PMSM ELECTRIC DRIVE SUPPLIED FROM BACKUP DC SOURCE

Keywords: PMSM electric drive, field-oriented control, backup power source, power converter, simulation.

The article presents the results of simulation an electric drive based on a permanent magnet synchronous motor when implementing field-oriented control and providing backup power from a DC source. An assessment of the dynamic properties of the system when switching the electric drive system to a backup power source is given.

Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов
СНИЖЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА И КОЛИЧЕСТВА ОБТОЧЕК БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Ключевые слова: электроподвижной состав, колесная пара, бандаж, износ, обточка, количество, снижение.

Приведены результаты снижения износа и количества обточек бандажей электровозов по предложенному численному методу за счет выбора наилучшего профиля поверхности катания колесных пар исходя из максимального ресурса до обточки.

N.G. Fetisova, A.P. Buinosov
REDUCTION OF WEAR INTENSITY AND THE NUMBER OF RUNNERS OF WHEEL SETS

Keywords: electric rolling stock, wheelset, bandage, wear, turning, quantity, reduction.

The results of reducing the wear and the number of turns of tires of electric locomotives according to the proposed numerical method by choosing the best profile of the rolling surface of wheelsets based on the maximum resource before turning are given.

В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Ключевые слова: вертикальные напряжения, вычислительные эксперименты, геомеханические параметры, смещения, *цифровая модель.*

Описана цифровая модель геомеханических процессов в структурно неоднородном геомассиве. Приведены результаты вычислительных экспериментов для оценки влияния на геомеханические параметры геомассива геологического нарушения разрывного типа. Установлено, что с увеличением структурной неоднородности геомассива на стадии перехода пород в запредельное состояние снижается устойчивость подготовительных выработок и угольных целиков между выработками.

V.N. Fryanov, L.D. Pavlova
NUMERICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF STRUCTURAL HETEROGENEITY OF THE ROCK MASSIF ON GEOMECHANICAL PARAMETERS OF THE CUTTING AREA OF THE COAL MINE

Keywords: vertical stresses, computational experiments, geomechanical parameters, displacements, digital model.

A digital model of geomechanical processes in a structurally heterogeneous geo-massif is described. The results of computational experiments are presented to assess the impact on the geomechanical parameters of the geological massif of a geological fracture of the fracture type. It has been established that with an increase in the structural heterogeneity of the geomassif at the stage of transition of rocks to an out-of-limit state, the stability of development workings and coal pillars between workings decreases.

А.Б. Цветков
КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА

Ключевые слова: Математическая модель, напряженно-деформированное состояние, массив горных пород.

В работе представлен подход, предназначенный для разработки нелинейных математических моделей геомеханического состояния массива горных пород при интегральном воздействии природных и техногенных сил.

A.B. Tsvetkov
CONCEPT OF CONSTRUCTING A NONLINEAR MATHEMATICAL MODEL OF THE STRESS-DEFORMED STATE OF A ROCK MASS

Keywords: mathematical model, stress-strain state, rock mass.

This paper presents an approach designed to develop nonlinear mathematical models of the geomechanical state of a rock mass under the integral impact of natural and man-made forces.

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

Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й В Е С Т Н И К П О В О Л Ж Ь Я

№8 2021

Направления:

05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (технические науки)
05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)
05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (физико-математические науки)
05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (технические науки)
05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)
05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (физико-математические науки)

www.ntvp.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732
Подписано в печать 24.08.2021 Формат А4. Печать цифровая.
Дата выхода в свет 24.08.2021
12,1 усл.печ.л. 14,2 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 3610.

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»