

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№9 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. №9 2021г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2021. – 80 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» № E12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;

В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;

В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.

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

<i>А.П. Буйносов</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОДЕМФЕРА ЭЛЕКТРОВОЗА	7
<i>Г.А. Волкова</i> ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ НА ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ И ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА	11
<i>Р.М. Галиев, А.Ю. Барыкин, Д.И. Нуретдинов, И.Ф. Шайхутдинов, З.А. Аюкин, Д.К. Шакуров</i> К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ДОРОГАХ ВНЕ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА	14
<i>И.Б. Гинзбург, А.А. Ермаков, Д.С. Кобзев</i> СПЕЦИФИКА ИНФОРМАЦИОННОГО НАПОЛНЕНИЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ	18
<i>Ю.Г. Жеглова</i> МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НУЛЕВОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬСТВА	21
<i>В.С. Крылов</i> ОЦЕНКА ЭМОЦИОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТОВ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ	24
<i>С.Н. Падалко</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ERP-СИСТЕМ	27
<i>А.В. Раскина, А.В. Караванов, Д.А. Иптышев, И.А. Чудакин, Д.В. Карпеза</i> ДУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВЫМ ЛИНЕЙНЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ СТАБИЛИЗАЦИИ	30

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

<i>А.В. Милов</i> ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКОЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ	34
<i>М.В. Таланов, И.В. Федотова</i> ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ В СОСТАВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ	39

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

<i>В.Д. Петелина</i> ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЗМУЩЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ ПРИ ПРОИЗВОДНЫХ	45
--	----

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

<i>В.И. Поляков, Ф.Ф. Зиннатулин</i> ВЕРИФИКАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА КОРПОРАТИВНОГО ПОРТАЛА	50
--	----

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

А.В. Волков, С.Н. Ивлиев, Р.Р. Биктякова ИССЛЕДОВАНИЕ ОШИБОК МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ	54
А.В. Волков, С.Н. Ивлиев, Т.А. Захватова ДВУКРАТНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ	58
А.В. Колсанов, С.С. Чаплыгин, А.В. Захаров, С.В. Ровнов, А.В. Иващенко МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДИКТИВНОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ЗАДАЧАХ НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ	61
А.Г. Мухаметзянова, В.В. Бронская CFD - МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПОТОКА В СТАТИЧЕСКИХ СМЕСИТЕЛЯХ SULZER SMRX	65
А.Д. Недошивина, К.А. Насеткин, М.С. Муравьев, Г.М. Алимурзоев, А.С. Пузанов, Д.А. Литовский, А.А. Недошивин СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК AlGaIn/GaN НЕМТ И AlGaAs/GaAs НЕМТ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОНИКАЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ	68
Ю.Г. Полкунов МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРЕЩИН В КРЕПКИХ ПОРОДАХ КОНИЧЕСКИМИ ДИСКОВЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ	71
АННОТАЦИИ	74

THE RELEASE MAINTENANCE

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

<i>A.P. Buinosov</i> TEST RESULTS OF THE ELECTRIC LOADER'S HYDRAULIC DAMPER	7
<i>G.A. Volkova</i> THE INFLUENCE OF THE SHAPE OF THE ANTENNA RADIATION PATTERN ON THE POTENTIAL ERROR OF MEASURING THE COORDINATES AND PARAMETERS OF THE OBJECT'S MOTION	11
<i>R.M. Galiev, A.Yu. Barykin, D.I. Nuretdinov, I.F. Shajhutdinov, Z.A. Ayukin, D.K. Shakurov</i> TO THE QUESTION OF ENSURING TRAFFIC SAFETY ON ROADS OUTSIDE THE SETTLEMENT	14
<i>I.B. Ginzburg, A.A. Ermakov, D.S. Kobzev</i> DISTANCE LEARNING SYSTEMS' CONTENT SPECIFICS	18
<i>Yu.G. Zheglova</i> METHODOLOGY FOR CALCULATING THE EFFICIENCY OF ESTABLISHING FENCING STRUCTURES OF THE ZERO CYCLE OF CONSTRUCTION	21
<i>V.S. Krylov</i> THE SENTIMENT ANALYZE OF A TEXT OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS	24
<i>S.N. Padalko</i> USE OF MATHEMATICAL PLANNING METHODS BASED ON ERP-SYSTEMS	27
<i>A.V. Raskina, A.V. Karavanov, D.A. Iptyshev, I.A. Chudakin, D.V. Karpeza</i> ADAPTIVE CONTROL OF AN UNSTABLE LINEAR DYNAMIC OBJECT USING STABILIZATION ALGORITHMS	30

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

<i>A.V. Milov</i> INDUCTION SOLDERING CONTROL SOFTWARE BASED ON INTELLIGENT INFORMATION PROCESSING METHODS	34
<i>M.V. Talanov, I.V. Fedotova</i> FEATURES OF KALMAN FILTER USAGE IN ELECTRIC DRIVE CONTROL SYSTEMS AS PART OF AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEMS	39

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

<i>V.D. Petelina</i> APPROXIMATE SOLUTION OF DIFFERENTIAL EQUATION SYSTEM FOR PERTURBED MOTION OF A BODY WITH A SMALL PARAMETER IN FRONT OF THE DERIVATIVES	45
---	----

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

<i>V.I. Polyakov, F.F. Zinnatulin</i> VERIFICATION OF THE ENTERPRISE PORTAL COMPUTING PROCESS	50
---	----

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

<i>A.V. Volkov, S.N. Ivliev, R.R. Biktyakova</i> RESEARCH OF MODELING ERRORS IN NEURAL NETWORK PARAMETRIC IDENTIFICATION	54
--	----

<i>A.V. Volkov, S.N. Ivliev, T.A. Zahvatova</i> DOUBLE NEURAL NETWORK PARAMETRIC IDENTIFICATION OF NONLINEAR DYNAMIC MODELS OF OBJECTS	58
<i>A.V. Kolsanov, S.S. Chaplygin, A.V. Zaharov, S.V. Rovnov, A.V. Ivaschenko</i> MATHEMATICAL MODEL OF PREDICTIVE VIRTUAL REALITY FOR NEURO REHABILITATION	61
<i>A.G. Mukhametzyanova, V.V. Bronskaya</i> CFD - SIMULATION OF FLOW HYDRODYNAMICS IN STATIC MIXERS SULZER SMRX	65
<i>A.D. Bozhenkina K.A. Nasetkin, M.S. Muravyev, G.A. Alimirzoev, A.S. Puzanov, D.A. Litovskiy, A.A. Nedoshivin</i> COMPARISON OF THE CHARACTERISTICS OF AlGa _N /Ga _N HEMT AND AlGaAs/GaAs HEMT UNDER THE INFLUENCE OF PENETRATING RADIATION	68
<i>Yu.G. Polkunov</i> MATHEMATICAL MODELING OF THE DEVELOPMENT OF MAIN CRACKS IN STRONG ROCKS WITH CONICAL DISK TOOLS	71
ABSTRACTS	74

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

05.13.01

А.П. Буйносов д-р техн. наук

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОДЕМФЕРА ЭЛЕКТРОВОЗА

Приводится анализ неисправностей отечественного пассажирского электровоза нового поколения серии ЭП2К на основе проведения стендового контроля и полученной диаграммы, способы устранения неисправностей. Приведены результаты сравнительных ходовых испытаний опытного демпфирующего комплекса, установленного на электровозе ВЛ10У, в котором в качестве базового был выбран гидродемпфер типа ГКЦЛ 667640, силовые характеристики которого были форсированы, а узлы крепления доработаны с целью минимизации радиальных зазоров.

Ключевые слова: электровоз, неисправности, причины, анализ, испытание, результаты.

В статье [1] показано что к основным неисправностям механической части пассажирского электровоза ЭП2К относятся отказы в работе гидродемфера. На этом электровозе установлены гидродемпферы в кузовном подвешивании с условным обозначением 335.00.000, а в тележечном (буксовом) подвешивании – 336.00.000-01. Структура этих демпферов отличается габаритно-присоединительными размерами и силовой характеристикой. У демпфера 335.00.000 в проушины устанавливаются шарнирные подшипники, а у демпфера 336.00.000-01 корпус и шток прикрепляются к кронштейнам буксы и рамы тележки через резиновые шайбы (амортизаторы) с помощью резьбовых штырей, поджатых гайками.

В гидродемпфере 335.00.000 вместо металлического защитного кожуха устанавливается резиновый чехол-пыльник. Существенным отличием демпферов 335.00.000 и 336.00.000-01 является отсутствие регулятора дроссельного отверстия, а также использование каркасной манжеты, которая уплотняет шток вместо набора шевронных колец и скребка [2, 3].

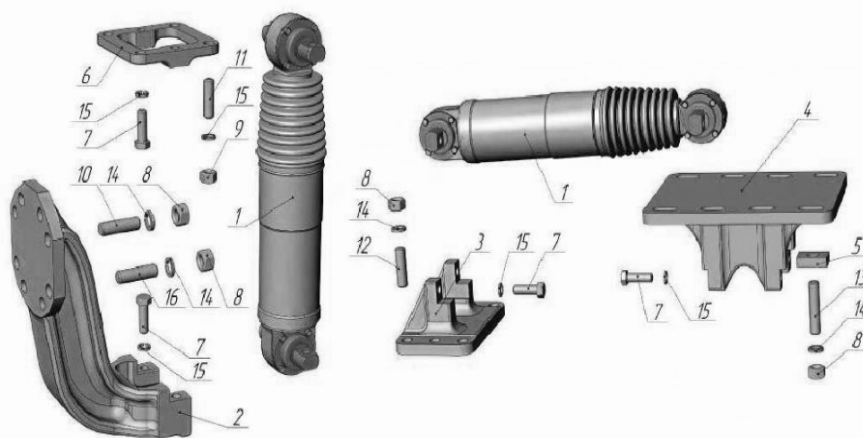


Рис. 1 – Демпфер 35.00.000:

1 – демпфер; 2, 3, 4 и 6 – кронштейн; 5 – шайба; 7 – болт; 8, 9 – гайка;
10, 11, 12, 13 и 16 – шпилька; 14, 15 – шайба

Гидродемпфер 335.00.000 двухтрубный с постоянным направлением потока жидкости на дроссельном режиме и переменном направлении потока жидкости на клапанном. К корпусу гидродемпфера приваривается нижняя проушина. В корпусе устанавливается цилиндр с днищем, где смонтирован впускной клапан, содержащий диск, который прижат пружиной. Детали впускного клапана центрируются и крепятся болтом [4]. В проушинах гидродемпфера запрессовываются шарнирные подшипники, во внутренние кольца которых устанавливаются пальцы. С обеих сторон проушины закрываются уплотнениями. Внутренние полости головок заполнены жидкой смазкой.

Испытание гидродемпферов выполняют используя при этом стенды моделей А2072.170К, А1854, А205455, Т-127, СГИГ-05, ЭНГА СИЛ-02-01 [5], на которых воспроизводятся гармоническое движение поршня относительно цилиндра. Рабочая диаграмма на стенде записывается как «перемещение поршня – усилие сопротивления». Работоспособный, годный к эксплуатации ГГК в дроссельном режиме работы имеет характеристику по форме напоминающей эллипс, а в клапанном режиме – прямоугольник (рис. 2). При наличии дефекта замечается нарушение формы диаграммы.

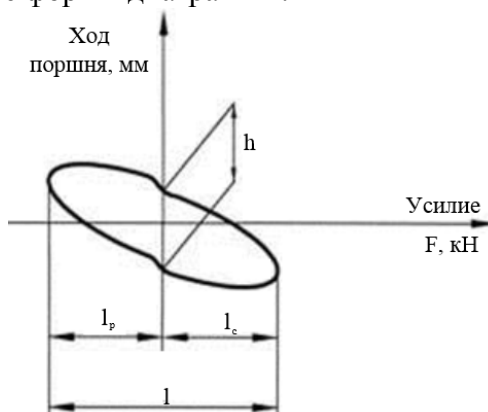


Рис. 2 – Форма рабочей диаграммы гидродемпфера, записанных механическим способом

Пример анализа диаграммы, которые можно определить после проведения стендового контроля приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Пример анализа диаграммы гидродемпферов, полученных на испытательном стенде

Форма диаграммы	Анализ сил сопротивления	Неисправность гидродемпфера
	малое сопротивление на обоих ходах	ослабление клапанного диска в поршне или самоотвинчивание переливных трубок

Наиболее часто из неисправностей в гидравлических гасителях колебаний встречается – потеки рабочей жидкости на корпусе или защитном чехле. Причиной этих потечков являются повреждения следующих составляющих гидродемпфера: уплотнение штока или уплотнение гайку, ее отворот, а также износ направляющей, повреждение сильфона (защитного чехла демпфера). Возможные неисправности демпферов и способ их устранения приведены в табл. 2. Все эти неисправности происходят от того, что гидродемпфер типа 677 не выдерживает нагрузок, которые возлагаются на него.

Таблица 2 – Возможные неисправности демпферов 335.00.000, 336.00.000-01 и способы их устранения

Причины неисправности	Способ устранения
Нарушение герметичности, течь жидкости	
Поврежден или имеет износ сальник штока	Заменить сальник штока
Повреждено или имеет дефекты уплотнительное кольцо резервуара	Заменить кольцо
Ослаб момент затяжки гайки корпуса	Подтянуть гайку моментом 400–500 Нм
Демпфер не развивает необходимого усилия на ходе отбоя или сжатия	
Падение момента затяжки гайки корпуса	Подтянуть гайку моментом 400–500 Нм
Количество жидкости меньше нормы	Долить жидкость

В 2020 г. были проведены сравнительные ходовые испытания. За объект сравнительных ходовых испытаний был принят электровоз ВЛ10У со штатной 2-х ступенчатой системой демпфирования. Гидравлические гасители колебаний используются на этом двухсекционном локомотиве во второй ступени подвешивания по восемь гидродемпферов на каждой секции. Гидродемпферы расположены попарно между ходовой тележкой и вагоном под углом к горизонту для демпфирования, в том числе, и горизонтальных колебаний.

Необходимым условием проведения сравнительных ходовых испытаний было размещение гидродемпферов нового демпфирующего комплекса по старым посадочным местам с соблюдением всех габаритно-присоединительных размеров штатной системы.

Основным элементом, «базовым», опытного демпфирующего комплекса был выбран гидродемпфер типа ГКЦЛ 667640, силовые характеристики которого были форсированы, а узлы крепления доработаны с целью минимизации радиальных зазоров [6].

Для каждого варианта испытания проводились на скоростях локомотива 40, 60 и 80 км/ч. Для записей комментариев об особенностях, встречающихся в пути (прохождение стрелочных переводов, поворотов, изменение скорости движения и др.), использовался голосовой канал ПК, запись которого проводилась одновременно с регистрацией показаний датчиков.

Первый этап испытаний электровоза со штатными демпферами был проведен 17 октября 2020 г. Второй этап испытаний с новым демпфирующим комплексом был проведен на том же полигоне 25 ноября 2020 г.

Новая демпфирующая система существенно понижает уровень вибрации, по сравнению со штатным вариантом, причем уровень вибраций при штатной системе в 10–20 раз больше. При высоких частотах спектры вибраций для обоих вариантов практически совпадают, поскольку в этой области работа гидродемпферов неэффективна. Для горизонтальной плоскости также было получено достаточно большое уменьшение уровня вибраций (в 3–5 раз) с новой системой демпфирования.

Улучшение демпфирования электровоза в целом привело к снижению уровня вибрации также на полу кабины и на кресле машиниста. Максимальные амплитуды перемещений, уменьшились в 3–4 раза. При этом плавность хода на электровозе уравнивает локомотив по этому показателю с пассажирским вагоном.

Каждое генерирование любого процесса вибрации требует затрат энергии [7]. Как правило, эта энергия необходима для компенсации особого вида потерь, связанных с вибросопротивлением, причем доля такого рода потерь может быть очень большой в общем расходе энергии.

Новая система демпфирования локомотива ВЛ10У позволяет, за счет уменьшения мощности вибропроцесса, являющегося дополнительным сопротивлением движению, получить энергетический выигрыш.

В рассмотренном случае внедрения на локомотив ВЛ10У новой демпфирующей системы максимальная амплитуда вибраций была уменьшена в 10 и более раз. Таким образом, можно предположить, что, с учетом возможной редукции процесса, область распространения возмущений и уровня шума в окрестностях железной дороги будут уменьшены в 3–5 раз. Это позволит значительно улучшить окружающую экологическую обстановку.

Список литературы

1. Буйносов А.П. Анализ неисправностей отечественного пассажирского электровоза ЭП2К // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 8. С. 11-14.
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., Мишин Я.А. Анализ причин отказов узлов электровозов на основе закона Парето и диаграммы Исикавы // Вестник транспорта Поволжья. 2013. № 3 (39). С. 35-39.
4. Буйносов А.П. Влияние условий эксплуатации на износ бандажей // Локомотив. 1995. № 1. С. 33-34.
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. Модель эксплуатационного износа сложных систем железнодорожного транспорта // Вестник транспорта Поволжья. 2010. № 4 (24). С. 21-25.

05.13.01

Г.А. Волкова

«Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
институт №4 «Радиоэлектроника, инфокоммуникации и информационная безопасность»,
кафедра «Радиолокация, радионавигация и бортовое радиоэлектронное оборудование»,
Москва, mai.volkova@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ НА ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ И ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

В работе рассматривается влияние характеристик сигнала на потенциальную погрешность измерения задержки и доплеровского сдвига частоты, а также формирование сигналов с требуемой огибающей или спектром путем изменения диаграммы направленности антенны.

Ключевые слова: Потенциальная погрешность, задержка сигнала, частота Доплера, среднеквадратическая длительность и ширина спектра сигнала, диаграмма направленности антенны.

Потенциальная погрешность измерения дальности, угловых координат и радиальной скорости объекта реализуется в оптимальных измерителях и зависит от вида зондирующего сигнала, формы диаграммы направленности антенны и отношения сигнал/шум. Согласно неравенству Крамера – Рао [1] дисперсия погрешности измерения параметра сигнала θ , связанного с координатой или параметром движения, определяется соотношением

$$\sigma_{\theta}^2 \geq \frac{1}{M \left[\frac{\partial \ln L(\theta|y)}{\partial \theta} \right]^2}, \quad (1)$$

где равенство достигается только в оптимальной схеме измерителя, а $L(\theta|y)$ - функция правдоподобия. Путем преобразований соотношения (1) может быть получена формула для расчета потенциальной погрешности измерения параметра θ в виде

$$\sigma_{\theta} = \frac{1}{\sqrt{-\frac{2E}{N_0} \times \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \rho(\theta_0, \theta) | \theta = \theta_0}}, \quad (2)$$

где E - энергия сигнала, N_0 - спектральная плотность мощности белого шума, $\rho(\theta_0, \theta)$ - нормированная функция рассогласования. В работе [1] на основе общего соотношения (2) выведена формула для расчета потенциальной погрешности σ_{τ} измерения задержки τ сигнала, ранее полученная в [2] другим способом. При любом отношении сигнал/шум

$$\sigma_{\tau} = \frac{\sqrt{1 + \bar{q}_{\Sigma}}}{\sqrt{2\bar{q}_{\Sigma} \Pi_{\text{скв}}}}, \quad \text{а при большом отношении сигнал/шум } \bar{q}_{\Sigma} \gg 1,$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{1}{\sqrt{2\bar{q}_{\Sigma} \Pi_{\text{скв}}}}, \quad (3)$$

где $\bar{q}_{\Sigma} = \frac{\bar{E}}{N_0}$ - отношение сигнал/шум флуктуирующего по амплитуде когерентного сигнала, а $\Pi_{\text{скв}}$ - среднеквадратическая ширина спектра комплексной огибающей сигнала, определяемая соотношением

$$\Pi_{\text{скв}} = \sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 |F(j\omega)|^2 d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} |F(j\omega)|^2 d\omega}}. \quad (4)$$

Из (3), (4) следует, что потенциальная погрешность измерения задержки σ_τ обратно пропорциональна корню квадратному из отношения сигнал/шум $\bar{q}_\Sigma = \frac{\bar{E}}{N_0}$ и среднеквадратической ширине спектра сигнала $\Pi_{\text{скв}}$.

Величина $\Pi_{\text{скв}}$ названа среднеквадратической шириной спектра по аналогии со среднеквадратическим отклонением СКО случайной величины относительно математического ожидания. Величины $\Pi_{\text{скв}}$ и СКО определяют соответственно разброс составляющих спектра и плотности распределения вероятностей случайной величины относительно центральной частоты спектра и математического ожидания случайной величины. Формулы для их вычисления имеют одинаковую структуру. В [1] и [2] для этой величины используются обозначения Π и $\Delta\omega$, - эффективная полоса.

Спектр соответствующий зондирующему сигналу в виде двух бесконечных косинусов, частоты которых разнесены на величину Δf . Эти косинусоиды образуют биения, по фазе огибающей которых относительно фазы огибающей биений двух частотных составляющих зондирующего сигнала можно наиболее точно, но неоднозначно измерить дальность до единственной цели. Величина $\Pi_{\text{скв}}$ была вычислена в [2] и определяется соотношением $\Pi_{\text{скв}} = \pi \times \Delta f = 3,14 \Delta f$. (5)

Для сигнала с прямоугольным нормированным спектром $G(f) = 1$ при $f_0 - \frac{\Delta f}{2} \leq f \leq f_0 + \frac{\Delta f}{2}$ и $G(f) = 0$ при $f_0 - \frac{\Delta f}{2} \geq f \geq f_0 + \frac{\Delta f}{2}$ вычисления по формуле (4) приводят к результату

$$\Pi_{\text{скв}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 \int_{f_0 - \frac{\Delta f}{2}}^{f_0 + \frac{\Delta f}{2}} f^2 df}{\int_{f_0 - \frac{\Delta f}{2}}^{f_0 + \frac{\Delta f}{2}} df}} = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \Delta f \approx 1,81 \Delta f. \quad (6)$$

Зондирующий сигнал с гауссовой огибающей $A(t) = A_0 \exp\{-\pi t^2 / \tau_u^2\}$ имеет гауссов спектр, ширина которого определяется на уровне 0,46 от максимума. Значение среднеквадратической ширины спектра для этого сигнала [1], [2]

$$\Pi_{\text{скв}} = \frac{\sqrt{\pi}}{\tau_u} = \frac{1,77}{\tau_u} = 1,77 \Delta f. \quad (7)$$

Прямоугольный радиоимпульс длительностью τ_u без внутриимпульсной модуляции имеет спектр вида $\frac{\sin x}{x}$, причем выполняется условие $\Delta f \times \tau_u = 1$.

Для прямоугольного радиоимпульса длительностью τ_u в [2] показано, что

$$P_{\text{св}} = \frac{1}{\tau_u} \sqrt{\frac{\pi \Delta f \tau_u - \sin(\pi \Delta f \tau_u)}{Si(\pi \Delta f \tau_u) + \frac{\cos(\pi \Delta f \tau_u - 1)}{\pi \Delta f \tau_u}}} \quad (8)$$

Учитывая, что $\Delta f \tau_u = 1$, и используя таблицы интегрального синуса $Si(x)$ [3], получаем

$$P_{\text{св}} = \frac{\pi}{\tau_u Si(\pi)} = \frac{\pi \Delta f}{Si(\pi)} = \frac{\pi \Delta f}{1,8515} = 1,7 \Delta f. \quad (9)$$

Значения среднеквадратической ширины спектра, вычисляются по формуле (4).

Естественно, что вид зондирующего сигнала определяется исходя из тактических требований к разрабатываемой системе и обеспечивается построением схемы радиопередающего устройства. Однако, очевидно, что форма облучающего объект радиосигнала в активной радиолокации и пассивной радионавигации зависит также от формы диаграммы направленности антенны РЛС или опорной станции РНС.

Примером использования формы ДНА для формирования требуемого вида сигнала, несущего информацию об измеряемой координате, является использование ДНА в виде вращающегося круга со смещенным центром вращения в азимутальном радиомаяке стандартного канала азимута с фазовым методом измерения в радиосистеме ближней навигации. Двух лепестковая вращающаяся ДНА азимутального радиомаяка импульсной системы РСБН также позволяет создать принимаемый потребителем двухимпульсный сигнал с глубоким минимумом, позволяющий использовать амплитудный метод минимума и повысить точность измерения азимута.

В пассивной системе измерения пеленга потребителя в РСБН азимут потребителя $\alpha = \Omega \times t_\alpha$ по существу определяется путем измерения задержки t_α между моментом прохода антенной северного направления и моментом облучения антенны бортового приемника потребителя непрерывным сигналом азимутального радиомаяка. Поэтому вид принятого сигнала и его спектр полностью определяются формой ДНА азимутального радиомаяка при ее вращении. Рассмотрим возможности получения рассмотренных выше спектров сигналов в пассивных РНС с непрерывным сигналом путем изменения ДНА радиомаяка.

Для реализации прямоугольного спектра при одночастотном излучении радиомаяка ДНА

должна иметь форму $\frac{\sin x}{x}$, причем использование всех боковых лепестков ДНА справа и слева от основного лепестка в этом случае является принципиально значимым и определяет форму огибающей и фазу колебаний принимаемого сигнала. Известно, что при равномерном

распределении поля по раскрытию антенны форма ДНА имеет вид $\frac{\sin x}{x}$, так что в направлении боковых лепестков с нечетными номерами напряженность поля радиоволны в пространстве поворачивается на 180 градусов, то есть радиоволны, излучаемые по основному лепестку ДНА и четным боковым лепесткам и радиоволны, излучаемые по нечетным боковым лепесткам, отличаются по фазе. Если принять радиоволны, излучаемые по основному лепестку и первому боковому лепестку одновременно двумя штыревыми антеннами, находящимися на равном расстоянии от радиомаяка, то принятые колебания будут в противофазе.

Список литературы

1. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: Учеб. пособие для вузов. –М.: Радио и связь, 1992 г.
2. Теоретические основы радиолокации. Под ред. Ширмана Я.Д. Учеб. пособие для вузов. – М.: Советское радио. 1978 г.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. –М.: Наука. 1968 г.

05.13.01

**Р.М. Галиев канд. техн. наук, А.Ю. Барыкин канд. техн. наук,
Д.И. Нуретдинов канд. техн. наук, И.Ф. Шайхутдинов канд. техн. наук,
З.А. Аюкин канд. техн. наук, Д.К. Шакуров канд. техн. наук**

Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
автомобильное отделение,
кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта»,
Набережные Челны, radikrabota@mail.ru

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ДОРОГАХ ВНЕ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА

В статье рассматриваются вопросы обеспечения безопасности дорожного движения на дорогах вне населенного пункта с применением технических систем контроля. Приводится статистика дорожно-транспортных происшествий по России и по Республике Татарстан, а также правила использования видеокамер фиксации нарушения автомобилями правил дорожного движения. При этом больше внимание обращено на личностные качества водителя.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, автомобиль, радар, федеральная трасса.

С каждым годом наблюдается уменьшение количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в России. Все это благодаря федеральной целевой программе «Повышение безопасности дорожного движения в 2013 - 2020 годах» и распоряжения правительства РФ «Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 - 2024 годы» [1, 2].

Статистика ДТП на 2020 год по сравнению с 2019 годом по России и по Республике Татарстан показана в таблице [3].

Таблица - Статистика ДТП по России и по Республике Татарстан

	2020					
	ДТП	±%АППГ (ДТП)	Погибло	±%АППГ (Погибло)	Ранено	±%АППГ (Ранено)
Российская Федерация	137662	-16,24	15788	-7,03	175170	-16,93
Республика Татарстан	3754	-17,04	325	-11,92	4627	-17,65

Нужно отметить, что каждый четвертый погибший в результате ДТП связан с выездом на встречную полосу [4].

Через территорию Республики Татарстан проходит федеральная трасса М7 «Волга». Данная трасса очень загружена автомобильным транспортом, так как она соединяет Европейскую часть России и Сибирь. Основную часть транспортного потока составляют грузовые и легковые автомобили. Скоростной режим этих транспортных средств отличается, поэтому часто возникают конфликтные ситуации, т.е. маневр опережения или обгона. Скорость грузового автомобиля с разрешенной массой более 3,5 т – 70 км/час, а легкового автомобиля без прицепа – 90 км/час. С целью повышения безопасности дорожного движения, для контроля скоростного режима на трассе установлены радары: стационарные и передвижные.

Согласно правилам использования видеокамер фиксации нарушения правил дорожного движения, контролю подлежит прямой участок дороги до 50-60 м, камера должна быть установлена не ближе 3 и не далее 17 м от дороги, а угол поворота объектива настроен по ориентиру (параллельно кромке дороги), камера не должна быть скрыта [5, 6].

Неправильное применение передвижных камер, вместо того, чтобы обеспечить безопасность движения, может противоречить своему функциональному назначению и создавать аварийные ситуации. Как правило, такие радары применяются на прямых участках дорог, там, где больше вероятности превысить скоростной режим при совершении опережения или обгона. Сейчас во многих автомобилях имеются устройства, улавливающие сигналы радаров – антирадары. Антирадары срабатывают заблаговременно до фиксации скоростного режима радаром. Водитель на прямом участке дороги планирует опережение или обгон. Когда он знает, что впереди стоит радар, не идет на этот маневр, а машинально снижает скорость своего автомобиля и, как правило, совершает обгон после проезда участка с радаром, так как его психическая деятельность (направление внимания) сосредоточено на маневре.

Рассмотрим пример на определенном участке дороги М7 «Набережные Челны – Мензелинск». Этот участок загружен, кроме выше указанного, еще новыми КАМАЗами, совершающими ездки за кузовами в г.Нефтекамск и обратно. Как мы видим на первом рисунке, после проезда контролируемого участка радаром, дорога уходит на подъем, тем самым ограничивая видимость проезжей части в конце подъема. На втором рисунке – с закруглением малого радиуса влево. В данном случае рассматривается участок дороги с одним радаром.



Рис. 1 – Применение радара на трассе М-7 «Волга» (вид спереди)



Рис. 2 – Применение радара на трассе М-7 «Волга» (вид с обратной стороны)

Условие безопасного опережения для данного участка дороги (четырехполосная) можно найти по следующей формуле:

$$S_{\text{опе}} = S_1 + S_2 + S_3 + L_1 + L_2 \quad (1)$$

Условие безопасного обгона после проезда данного участка (двухполосная дорога) можно записать в следующем виде:

$$S_{\text{обг}} = S_1 + S_2 + S_3 + L_1 + L_2 + S_6 \quad (2)$$

где, S_1 – дистанция между попутными автомобилями; S_2 – путь, проходимый попутно идущим автомобилем за время маневра; S_3 – дистанция между попутно идущим автомобилем и автомобилем после маневра; L_1 – длина маневрирующего автомобиля; L_2 – длина попутно идущего автомобиля; S_6 – безопасная дистанция между маневрирующим (обгоняющим) и встречным автомобилями.

На данном примере, после проезда участка дороги, контролируемого радаром, начинаются условия ограниченной видимости (конец подъема, закругление дороги малого радиуса) и там обгон является опасным маневром.

Надежность работы водителя при управлении автомобилем – это способность безотказно выполнять работу в течение определенного времени и в определенных условиях. Это в основном зависит от его психических особенностей.

На сегодняшний день федеральная трасса предъявляет очень высокие требования к водителям. Необходимо учитывать скорости современных автомобилей, интенсивность движения, состояние дороги, автомобиля, окружающей среды, характер и режим движения всех участников движения, поэтому технические средства регулирования должны применяться правильно, в первую очередь для повышения безопасности дорожного движения, а не для коммерческих целей.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 03.10.2013 N 864 (ред. от 16.05.2020) "О федеральной целевой программе "Повышение безопасности дорожного движения в 2013 - 2020 годах. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_152847/ (дата обращения 28.08.2021 г.).
2. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2018 N 1-р. «Об утверждении Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 - 2024 годы». – URL: <http://static.government.ru/media/files/g6BXGgDI4fCEiD4xDdJUwIudPATBC12.pdf> (дата обращения 28.08.2021 г.).
3. Показатели состояния безопасности дорожного движения. – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения 28.08.2021 г.).
4. Обзор дорожно-транспортной аварийности в Российской Федерации за 2020 год. – URL: <https://нцбдд.мвд.рф/news/item/23889882> (дата обращения 28.08.2021 г.).
5. ГОСТ Р 57145-2016. Специальные технические средства, работающие в автоматическом режиме и имеющие функции фото- и киносъемки, видеозаписи, для обеспечения контроля за дорожным движением. Правила применения. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140209> (дата обращения 28.08.2021 г.).
6. Приказ МВД России от 23.08.2017 N 664 (ред. от 21.12.2017) "Об утверждении Административного регламента исполнения Министерством внутренних дел Российской Федерации государственной функции по осуществлению федерального государственного надзора за соблюдением участниками дорожного движения требований законодательства Российской Федерации в области безопасности дорожного движения" (Зарегистрировано в Минюсте России 06.10.2017 N 48459). – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_280037/ (дата обращения 28.08.2021 г.).

05.13.01

И.Б. Гинзбург канд. техн. наук, А.А. Ермаков канд. экон. наук, Д.С. Кобзев

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра «Прикладная информатика»,
Москва, iliagi@mail.ru, aleral@mail.ru, 9653908688@mail.ru

СПЕЦИФИКА ИНФОРМАЦИОННОГО НАПОЛНЕНИЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

В статье рассмотрено влияние специфики информационного наполнения систем дистанционного обучения на организацию работ по подготовке цифровых учебных материалов. Описаны форматы учебных материалов, подходящие для использования в системах дистанционного обучения. Предложен способ подготовки цифровых учебных материалов для размещения в системах дистанционного обучения. Предложенный способ может применяться для разработки новых учебных материалов с нуля и для адаптации уже имеющихся цифровых материалов в других форматах перед их размещением в системах дистанционного обучения.

Ключевые слова: организация дистанционного обучения, средства дистанционного обучения, наполнение систем дистанционного обучения, цифровые учебные материалы.

Для эффективного внедрения технологий дистанционного обучения (ДО) необходимо учитывать программные и аппаратные возможности персональных стационарных и мобильных устройств всех участников ДО. Это нужно, чтобы обеспечить возможность преподавателям легко и желательно быстро создавать новые учебные материалы, а студентам – получать доступ к этим материалам с любых доступных устройств.

Основными видами данных, с которыми работают авторы информационного наполнения для систем дистанционного обучения (СДО), являются текст, изображения и медиаконтент, содержащий звуковую и видеоинформацию.

Эти данные могут быть представлены файлами различных форматов, например, самые распространенные:

1. текст – может быть представлен без форматирования, кроме спецсимволов, без вложенных таблиц и изображений в формате TXT (англ. plain text);

2. текстовые таблицы – могут быть представлены в виде текстовых файлов со множеством строк без форматирования в формате CSV (англ. Comma-Separated Values), где значения столбцов разделены запятыми, а при использовании других разделителей столбцов, кроме запятых – DSV (англ. Delimiter-Separated Values);

3. текст с форматированием, формулами, таблицами и ссылками на внешние файлы (с текстом, изображениями, скриптами, таблицами стилей и пр.) – может быть представлен в текстовых форматах HTML (англ. HyperText Markup Language), XML (англ. Extensible Markup Language), а также более ранних форматах RTF (англ. Rich Text Format), LaTeX, PostScript;

4. текст с форматированием, формулами, встроенными изображениями и таблицами – может быть представлен в распространенных двоичных форматах, таких как PDF, DOC, DOCX, PPT, PPTX, ODT, ODP – документы и презентации по стандартам Adobe, Microsoft и OASIS (англ. Organization for the Advancement of Structured Information Standards);

5. таблицы с форматированием, встроенными изображениями и расчетными программами – могут быть представлены в распространенных двоичных форматах, таких как XLS, XLSX, ODT – электронные таблицы по стандартам Microsoft и OASIS;

6. растровые изображения для демонстрации фотографий, рисунков, схем, графиков – представлены в распространенных двоичных форматах, таких как GIF, JPEG, PNG. Форматы отличаются друг от друга алгоритмами сжатия и количеством используемых цветов. Изображения имеют фиксированные размеры в пикселях и при масштабировании искажаются с потерей качества. При редактировании растровых изображений без исходного файла высокого разрешения или без многослойного рабочего файла с несжатыми слоями (форматы XCF, PSD) качество производного изображения может падать ниже качества редактируемой версии изображения из-за повторного сжатия;

7. векторные изображения для демонстрации рисунков, схем, графиков – представлены в распространенных текстовых и двоичных форматах SVG, ODF, WMF, EMF, VSD, AI, EPS, CDR. Векторные изображения могут масштабироваться без потери качества и не теряют качества при редактировании, но для работы с такими изображениями требуется специфическое программное обеспечение (ПО). При этом для различных форматов требуется отдельное ПО;

8. звуковые данные, содержащие различные записи – представлены в распространенных двоичных форматах WMA, MP3, Ogg Vorbis, AAC. В настоящее время популярные программы для воспроизведения и обработки звука поддерживают все форматы и позволяют сохранять качество при редактировании;

9. видеoinформация – представлена файлами и потоками форматов MPEG-1 Part 2 (Video CD), H.262/MPEG-2 Part 2 (DVD Video, Blu-ray, Digital Video Broadcasting), MPEG-4 Part 2 (видеофайлы, закодированные кодеками DivX, Xvid и др.), H.263 (видеоконференцсвязь и записи с мобильных телефонов в формате 3GP), H.264/MPEG-4 Part 10 (Blu-ray, HD DVD, Digital Video Broadcasting, Apple TV, видео в Интернете), H.265 (записи со смартфонов, видео UHD), VP8 в контейнере WebM (видео в Интернете). В настоящее время программы для воспроизведения и обработки видео поддерживают множество форматов и позволяют сохранять качество при редактировании. Однако старые записи, сделанные в низком разрешении на современных устройствах с большими экранами могут выглядеть плохо.

Отдельно от этого списка форматов данных следует упомянуть различные разрабатываемые авторами курсов программные компоненты для виртуальных лабораторий, которые становятся одновременно и частью информационного наполнения СДО и частью самой СДО [1, 2].

Свои ограничения на используемые в СДО форматы данных накладывает используемая платформа СДО. Поскольку большинство СДО являются веб-приложениями, хотя могут обладать и рядом функций нативных приложений [3], то основными видами отображаемого содержимого являются текст HTML, изображения GIF, JPEG, PNG, SVG. Воспроизведение звука и видео зависит от веб-браузера пользователя. В современных браузерах для стационарных и мобильных устройств можно воспроизводить звук AAC, видео H.264 и WebM, а также просматривать документы PDF. Все остальные виды данных скачиваются в виде файлов и требуют отдельного ПО для просмотра. Используемые на страницах СДО и в скачиваемых файлах данные, должны отображаться на устройствах пользователей без необходимости установки специализированного, а тем более платного, ПО. Следует также иметь в виду, что устройства пользователей могут иметь разные размеры экранов и разные операционные системы. Поэтому следует обязательно предусматривать возможность масштабирования материалов СДО для обеспечения поддержки разных разрешений экранов, начиная от стационарных компьютеров с разрешением 1920x1200 пикселей до экранов смартфонов с разрешением 640x480 пикселей.

С учетом описанной специфики для создания информационного наполнения СДО может быть использован подход при котором вся информация предназначенная для размещения в СДО преобразуется в форматы пригодные для отображения в веб-браузерах стационарных и мобильных устройств. Для того, чтобы не потерять при преобразовании форматов какие-то данные можно использовать следующий алгоритм: 1) сбор информации; 2) формирование структуры выкладки материалов в СДО; 3) архивирование исходных данных; 4)

преобразование данных в форматы для СДО; 5) загрузка преобразованных данных в СДО; 6) резервное копирование текущей версии курса в СДО.

Учет рассмотренной специфики информационного наполнения СДО позволяет реализовать итерационный подход [4] к разработке материалов СДО, а также обеспечить коллективную экспертизу материалов СДО [5] средствами всех участников взаимодействия в СДО. Учащиеся должны предлагать улучшения там, где они видят недостатки. Предлагаемые улучшения материалов СДО тоже проходят экспертизу перед внедрением.

Таким образом, возможно: снизить трудозатраты преподавателей на разработку материалов для СДО; обеспечить последовательное расширение и улучшение качества материалов в СДО; обеспечить доступность учебных материалов на стационарных и мобильных устройствах пользователей; использовать СДО, как средство творческой и проектной социализации учащихся; вовлекать самих учащихся в создание учебных материалов.

Список литературы

1. *Столярчук В.А.* Препроцессор программной системы SIGMA для обучения CAE-приложений, используемых в САПР аэрокосмической отрасли // Труды МАИ. 2013. № 71. С. 28.
2. *Столярчук В.А.* Постпроцессор учебно исследовательской CAE Sigma для обучения разработчиков САПР аэрокосмической области // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 5. С. 300-303.
3. *Гинзбург И.Б.* Автономные отказоустойчивые веб-приложения для систем обеспечения доступа к данным дистанционного зондирования Земли // Труды МАИ. 2015. № 84. С. 33.
4. *Кондрашов Ю.Н.* Автоматизация управления проектами в организационных структурах / Ю. Н. Кондрашов, С. Н. Падалко. – Москва : Издательский дом «БИБЛИО-ГЛОБУС», 2016. 182 с. ISBN 9785912921506. DOI 10.18334/9785912921506.
5. *Бахаева Д.А., Гинзбург И.Б., Столярчук В.А.* Использование системы дистанционного обучения Moodle для осуществления коллективной экспертизы // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 5. С. 10-12.

05.13.01

Ю.Г. Жеглова

Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
институт фундаментального образования,
кафедра прикладной математики,
Москва, uliagermanovna@yandex.ru

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НУЛЕВОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬСТВА

Работа посвящена оценке эффективности возведения ограждающих конструкций нулевого цикла строительства. Данная методика позволит сократить время на обоснование технического решения ограждающей конструкции, провести комплексную оценку и расчет эффективности ее возведения. Методика может быть положена в основу разработки системы поддержки принятия решений при выборе ограждающей конструкции, позволяющая проектировщику выбрать наиболее рациональное техническое решение, отвечающее не только расчету по предельным состояниям, но и являющееся рациональным относительно экономической целесообразности его возведения.

Ключевые слова: ограждающая конструкций нулевого цикла строительства, система поддержки принятия решений, комплексная оценка, расчет эффективности возведения.

В настоящее время на территории крупных городов и мегаполисов активно ведется расширение инфраструктуры, осваиваются свободные территории, территории бывших складов и промышленных зон, возводятся новые жилые комплексы. В свою очередь подземное пространство городов является не только местом прокладки инженерных коммуникаций, а одновременно и местом для размещения объектов транспортного строительства, заглубленных элементов офисных и жилых зданий, расположения многоэтажных стоянок и гаражей подземного размещения, комплексов, имеющих общественно-бытовое назначение [1].

Строительство новых объектов, ввиду ограниченности свободных площадей при наличии очень плотной застройки и активной эксплуатации подземного пространства сопровождается авариям, возникающим на нулевом цикле строительства.

Нулевой цикл строительства включает в себя комплекс подготовительных работ. В этом комплексе работ, помимо подготовки документации проекта, проводятся и строительные работы. Важнейшим инженерным сооружением, возводимым на нулевом цикле строительства, является котлован, а безопасность существующих и строящихся объектов обеспечивают технические решения по его ограждению - ограждающие конструкции нулевого цикла строительства [2].

Выбор технического решения ограждающей конструкции нулевого цикла строительства связан с обработкой больших массивов информации. Для того, чтобы выбрать техническое решение, отвечающее не только расчетам по предельным состояниям, но являющееся рациональным с точки зрения экономической эффективности, необходимо учесть множество факторов, которые влияют на его выбор, в том числе природно-климатических и архитектурно-строительных требований, являющихся как количественными так и качественными характеристиками строительного объекта [3].

На этапе проведения инженерно-геологических изысканий собираются данные о состоянии территории застройки, эти данные преобразуются в ряд информативных параметров, которые можно объединить в следующие укрупненные группы:

К1 – геологические условия;

К2 – гидрогеологические условия;

К3 – расстояние от существующих зданий до котлована;

К4 – типы существующих зданий, расположенных вблизи котлована.

Для предполагаемых технических решений ограждающих конструкций сначала предлагается провести комплексную оценку технических решений, подтверждающую безопасность возведения всех типов ограждающих конструкций для существующих условий территории застройки. Расчет комплексной оценки основан на известном механизме комплексного оценивания, широко применяемом в теории активных систем [4]. Механизм комплексного оценивания заключается в оценке технических решений ограждающих конструкций при помощи балльных оценок по каждому параметру [5]. Перевод параметров в балльные оценки основан на коэффициентах, определяемых на основании СП [6].

Для оценки технических решений ограждающих конструкций построена бинарная критериальная структура, основанная на наборе параметров влияющих на их выбор. Для того, чтобы получить комплексную оценку, следует, используя матрицы свертки, сопоставлять параметры попарно. Далее посредством матриц свертки следующего уровня вновь проводится попарное сравнение характеристик друг с другом. Данные сравнения проводятся до получения единственной характеристики, которая и будет являться комплексной оценкой [7].

После получения комплексной оценки технических решений ограждающих конструкций переходим к этапу оценки эффективности их возведения. При помощи специальных шкал пересчета затраты на реализацию переводятся в балльные оценки. Подробно рассмотрим механизм пересчета значений затрат на возведение ограждающих конструкций в балльные оценки.

Формируются q балльных шкал оценок.

Для j -ого параметра, $j=1, \dots, l$, i -ого критерия, $i=1, \dots, n$, производится посредством расчетов при помощи ЕНИР и технологических карт определение значений затрат на реализацию, являющихся наихудшими $П_{ij}^x$ и наилучшими $П_{ij}^l$.

Указанные значения размещаются на числовой оси. Соответственно, в составе полученного отрезка имеются все значения, которые могут приниматься параметром.

Производится выделение m отрезков. Разбиение производится на отрезки, являющиеся равными.

На рис. 1 представлена шкала пересчета значений затрат на реализацию в балльные оценки.

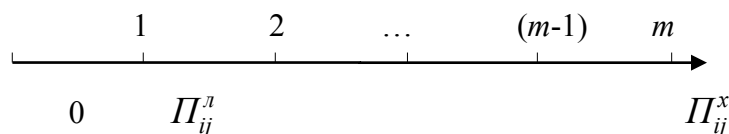


Рис. 1 – Шкала пересчета в балльные оценки значений затрат на реализацию

Вводится понятие коэффициента эффективности возведения ограждающей конструкции.

Эффективность устройства каждого технического решения ограждающей конструкции нулевого цикла строительства определяется коэффициентом эффективности КЭ, определяющимся по формуле (1):

$$КЭ_i = \frac{KO_i}{C_i}, \quad i = 1, \dots, 4 \quad (1)$$

где KO_i – комплексная оценка технического решения ограждающей конструкции котлована, а C_i – затраты на его возведение.

Для того, чтобы наглядно продемонстрировать эффективность возведения ограждающих конструкций отложим по оси абсцисс затраты на реализацию, а по оси ординат значения

комплексной оценки, то эффективность возводимой ограждающей конструкции будет равна тангенсу угла наклона прямой, характеризующей тип ограждающей конструкции, к оси абсцисс.

При выборе технических решений рациональным будет считаться такое решение, у которого $KЭ$ – max.

Фактически коэффициент эффективности определяет экономическую эффективность применения данного типа ограждения. Он учитывает комплексную оценку применения данного технического решения, факторы, воздействующие на выбор технического решения ограждающей конструкции нулевого цикла строительства, параметры территории застройки и затраты на возведение данного типа ограждения.

Данная методика была апробирована на реальных объектах и подтвердила актуальность и практическую направленность. Применение данной методики позволило сократить время на обоснование технического решения почти в 2 раза, значительно снизить трудозатраты на проработку различных вариантов технических решений ограждающих конструкций нулевого цикла строительства и повысить их качество, а также снизить фактическую стоимость возведения ограждающей конструкции.

Результаты исследования обладают практической значимостью и позволяют проводить комплексную оценку технических решений ограждающих конструкций, отсекая неподходящие варианты, за счет чего значительно сокращается время на обоснование и выбор технических решений. Целесообразность использования разработанной методики обладают значительным потенциалом и позволяют повысить качество технических решений ограждающих конструкций нулевого цикла строительства.

Список литературы

1. Шулятьев О.А., Мозгачева О.А., Поспехов В.С. Освоение подземного пространства городов: научное издание // АСВ. – М., 2017. – 510 с.
2. Меркин, В.Е. Зерцалов М.Г., Петрова Е.Н. Подземные сооружения транспортного назначения // Инфра-Инженерия. – М., 2020. – 432 с.
3. Жеглова Ю.Г., Титаренко Б.П. Организационно-технологическая надежность проектных решений ограждений котлованов / Перспективы науки. – 2020. – №7(130). – с. 95-98.
4. Бурков В.Н., Коробец Б.Н., Минаев В.А., Щепкин А.В. Модели, методы и механизмы управления научно-техническими программами // Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М., 2017. – 202 с.
5. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем // Наука. – М., 1977. – 255 с.
6. СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».
7. Жеглова Ю.Г. Теория активных систем как эффективный подход к определению комплексной оценки организационно-технологической надежности проектных решений ограждений котлованов / Перспективы науки. – 2020. – №8(131). – с. 60-62.

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

ОЦЕНКА ЭМОЦИОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТОВ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ

В статье представлены результаты оценки эмоциональной компоненты текста научной монографии на английском языке и её перевода на русский. Эмоциональность дает дополнительное понимание об интуитивном неявном знании. Сравнительная оценка эмоциональности источника и его перевода создает более полное представление о содержании научных монографий, текстов обзоров тенденций развития направлений научных исследований и т.д.

Ключевые слова: анализ тональности текстов, интеллектуальный анализ текстов, R язык.

Автоматизированные системы анализа эмоциональной окраски текстов необходимы, например, для оценки влияния на решения инвесторов составленных экспертами котировках тех или иных ценных бумаг на финансовых рынках, восприятия публикаций с прогнозами развития инновационных технологий [1].

Эмоциональность относится к категории неявного знания, которое не является рациональным и представлено практическим интуитивным знанием, существующему в виде навыков и умений [2]. Оценка эмоциональности текста научной публикации определяется компонентами:

- объект – рациональное описание предмета исследования,
- субъект – аудитория, источник эмоциональной оценки восприятия знания как личностного.

То есть, важное значение имеет понимание взаимосвязи рационального и интуитивного личностного знания субъектом, для понимания его восприятия и извлечения нужной информации в организации целевого поведения [1, 2].

Практически все значимые современной экономической теории книги на английском языке переведены на русский язык. Компьютерный сравнительный анализ эмоциональности тестов научных публикаций на английском и русском языке, дает возможность объективной качественной и количественной оценки трансформации неявного знания при переводе с одного языка на другой.

Цель статьи – предоставить результаты интеллектуального анализа и визуализации эмоциональной оценки текстов научных публикаций из области экономической теории текстов на английском и русском языке.

Пакеты программ на языке R позволяют в короткий срок собирать необходимые алгоритмы не только профессиональным программистам, но и аналитикам, которые в соответствии с поставленной исследователем задачи [3, 4]. Язык R предлагает программные модули с открытым кодом, реализующих методы обработки текстов на естественном языке. Поэтому исследователи могут с помощью различных и доступных наборов инструментов выполнить обработку текстов естественного языка, в том числе и текстов научных публикаций и получить необходимые данные для последующей аналитической работы. Пакеты программ позволяют получить не только многостороннюю качественную оценку эмоциональной компоненты текстов, но и её количественную характеристику грамматических и синтаксических структур [3, 4].

Ниже приведены основные результаты сравнительного компьютерного анализа эмоциональности текстов книги Нассима Талеба «Черный лебедь. Под знаком непредсказуемости» на английском и русском языках [5, 6].

Эмоциональная компонента оценивалась с помощью лексикона nrc [3, 4]. Этот словарь nrc позволяет получать необходимую оценку эмоциональности как для английских, так и для русских текстов. В данном случае перекрестная оценка английского источника и перевода получает общую оценку эмоциональности, подобно оценке художественных литературных произведений, а не с позиций финансиста, экономиста или бухгалтера.

В Таблице представлено по десять слов, согласно оценке, наиболее позитивных и негативных как на английском, так и на русском языке. Слова расставлены в соответствии с их относительными частотами в общей эмоциональной оценке текста в целом. В строках Таблицы представлены следующие цепочки слов с определенными категориями:

оценка в источнике – перевод согласно словарю – оценка слова в переводе. Общая положительная/отрицательная оценка текста в целом:

- английский источник – 0,706
- русский перевод – 0,717

Таблица – Десять наиболее позитивных и негативных слов

№	Положительный			Отрицательный		
	Английский	Словарь анг-рус	Перевод русский	Английский	Словарь анг-рус	Перевод русский
1	knowledge	знание	мир	black	черный	очень
2	information	информация	знание	problem	проблема	ошибка
3	good	хорошее	речь	small	малый	проблема
4	general	общее	обычно	risk	риск	дело
5	found	найденное	легко	fallacy	ошибка	назад
6	intellectual	интеллектуал	довольно	error	ошибка	черный
7	scientific	научное	уверенность	war	война	обман
8	real	реальный	внимание	wrong	неправильный	против
9	success	успех	деньги	case	случай	совершенно
10	luck	удача	знать	avoid	избегайте	война

Таким образом, в соответствии с оценкой эмоциональности с помощью словаря nrc общее эмоциональное восприятие текста как английского, так и его перевода практически совпадают.

На рисунке 1а представлена визуализация результатов распределения по частотам первых десять слов английского текста, а на Рис. 1б первые десять слов русского перевода по категориям «положительные» и «отрицательные».

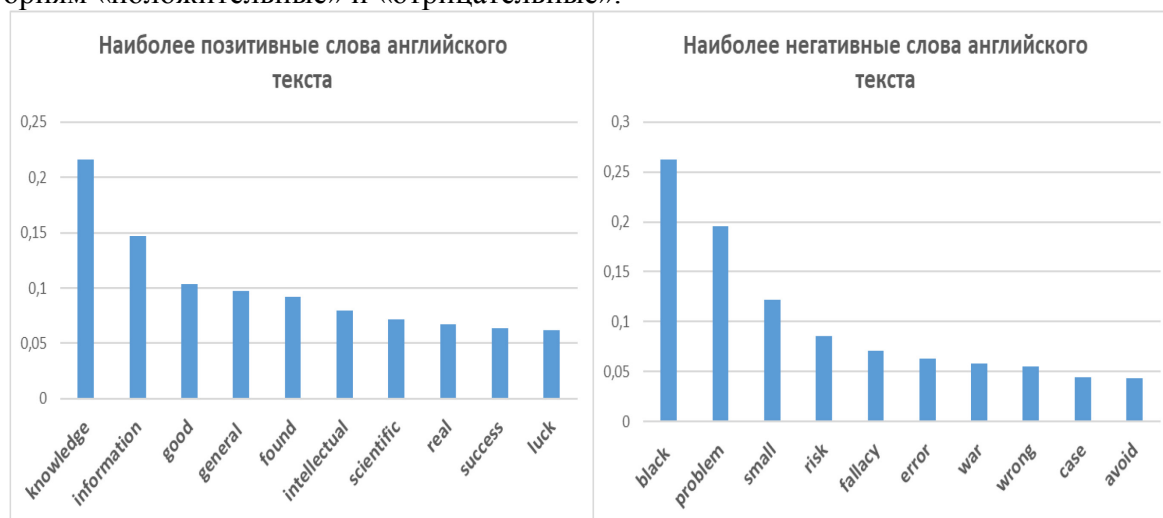


Рис. 1а – Слова, которые соответствуют позитивным и негативным настроениям в английском тексте

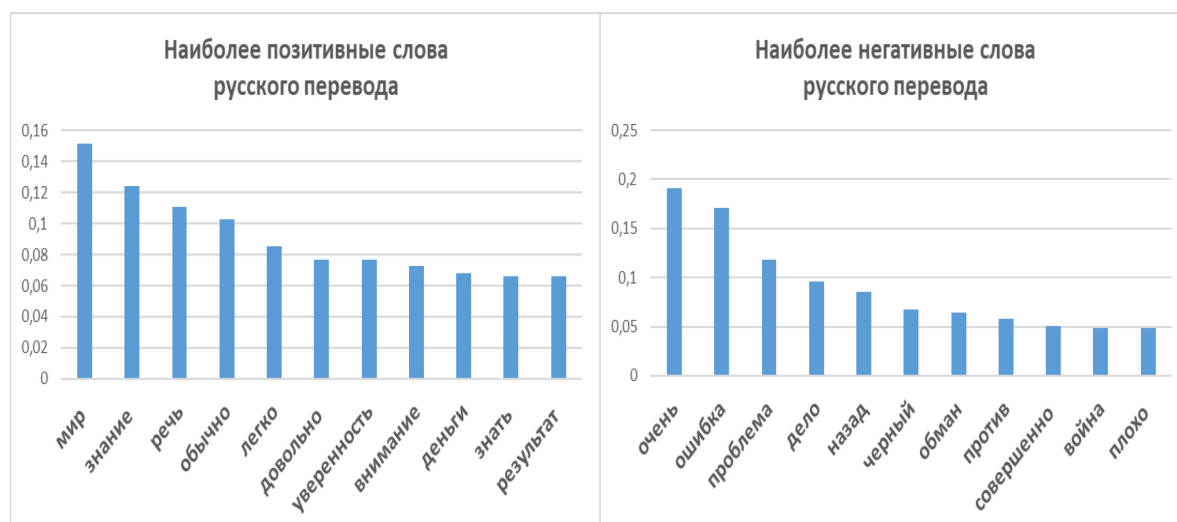


Рис. 1б – Слова, которые соответствуют позитивным и негативным настроениям в русском тексте

Как видно из Рис. 1а, Рис 1б и Таблицы, слова с идентичной эмоциональной оценкой имеют разные частоты встречаемости. Гистограммы представляют наиболее распространенные положительные и отрицательные слова в анализируемом тексте книги и его переводе.

Эмоциональность относится к категории неявного знания, которое не вербализовано и относится к практическим, интуитивным знаниям, существующим в виде навыков и умений. Неявное знание особым образом проявляется в практической деятельности. В этом случае оно выступает как практическое знание, существующее в виде навыков и умений. Следует подчеркнуть, что оценка эмоциональности это одна из характеристик приобретенного неявного знания в результате личного опыта взаимодействия с окружающим миром. В том числе и с миром информационной реальности цифровой экономики.

Список литературы

1. 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.
2. Боргест Н.М. Формирование и развитие научной дисциплины «онтология проектирования»: краткая история личного опыта // *Онтология проектирования*. – 2020. – Т.10, №4(38). – С.415-448. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-415-448.
3. CRAN [Электронный ресурс] / CRAN – Режим доступа: <https://cran.r-project.org/>
4. Silge J., Robinson D. Text Mining with R. A Tidy Approach. – Shroff/O'Reilly; First edition, 2017. – 196 p.
5. Nassim N.T. The black swan: the impact of the highly improbable – N. Y. : Random House, 2007. – 402 p.
6. Нассим Н.Т. Черный лебедь. Под знаком непредсказуемости - М. : Издательство КоЛибри, 2010. — 528 с.

05.13.01

С.Н. Падалко д-р техн. наук

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра «Прикладная информатика»,
Москва, snp7@inbox.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ERP-СИСТЕМ

В статье рассмотрена схема интеграции математических методов и ERP-систем. Показана необходимость наличия связанной системы моделей планирования и управления в составе блока решения обратных и оптимизационных задач автоматизированных систем управления (АСУ) организаций дискретного производства. Формальным обобщением названной системы моделей является тандемная модель, что позволяет использовать при реализации блока управления АСУ разработанные для данного класса формальных моделей методы и алгоритмы.

Ключевые слова: *ERP-системы, обратные задачи, оптимизационные задачи, модели планирования, модели управления, тандемная модель.*

В основе функционирования АСУ организаций дискретного производства, реализованных на базе ERP-систем, лежит методология MRP. Решаемые в рамках этой методологии задачи являются прямыми расчетными, т.е. не предполагают решения обратных задач (решения уравнений) и оптимизации. В то же время, известно [1], что при планировании и управлении деятельностью организаций дискретного производства при ограниченных ресурсах, эти задачи решать требуется. Особенно при ужесточении требований к качеству управления ресурсами предприятий и, в первую очередь, оперативного поиска эффективных допустимых решений при возникновении нештатных ситуаций.

Постановки оптимизационных и обратных задач применительно к практике организаций дискретного производства уже достаточно устоявшиеся и используют модели различных типов (целочисленные, смешанные, линейные и т.д.), каждая из которых приводит к необходимости решения хорошо известных формальных задач. Что касается методов их решения, то их набор постоянно расширяется, в первую очередь, за счет увеличения размерности/сложности задач, поддающихся решению этими методами по мере развития используемой вычислительной техники. Однако стандартные средства, обеспечивающие рутинность использования математических методов в деятельности управляющих органов организаций, пока отсутствуют. Это, на наш взгляд, является причиной того, что решение задач планирования и управления с использованием математических методов пока не встроено в ядро современных ERP-систем. Соответственно, в случае реализации АСУ на базе ERP-системы актуальным является расширение возможностей блока управления АСУ за счет реализации схемы, показанной на рис. 1. Здесь база данных ERP-системы служит источником исходных данных для моделей процессов деятельности организации (реальная размерность массива исходных данных для организации дискретного производства среднего масштаба – 10^4 - 10^6).

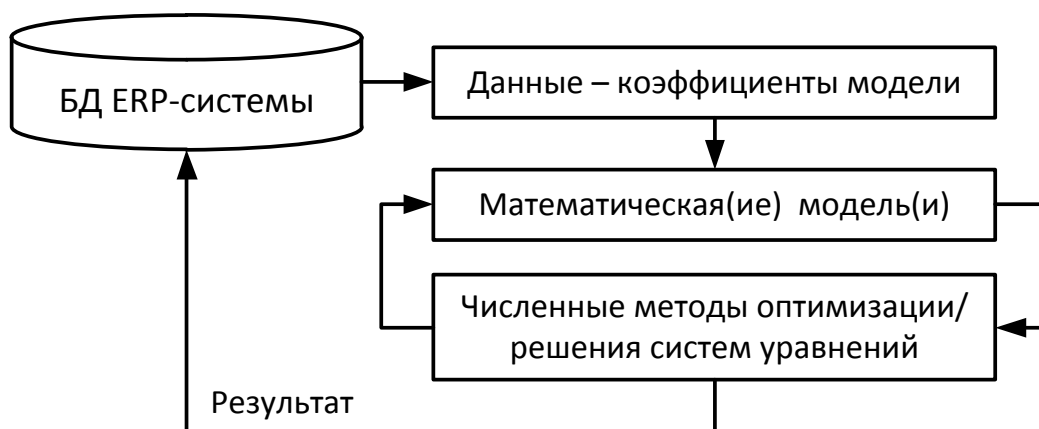


Рис. 1 – Схема интеграции математических методов и ERP-систем

При реализации представленной схемы интеграции математических методов и ERP-систем следует учитывать необходимость использования в процессах планирования и управления организаций различных моделей, отличающихся степенью достоверности, и требующих использования различных методов решения задач. Так в частности, при долгосрочном планировании использование точных моделей, требующих широкого набора исходных данных, объективно невозможно в силу того, что часть этих данных появится значительно позже момента планирования. Поэтому здесь используются огрубленные модели, использующие ограниченный набор исходных данных. Приемлемая достоверность таких моделей достигается за счет введения в состав исходных данных, так называемых, статистических коэффициентов, определяемых путем решения задачи параметрической идентификации на основе исторических данных, трактуемых как экспериментальные данные.

По мере сокращения периода планирования, т.е. при приближении времени (даты) планирования к дате выполнения планируемых действий, появляется расширенная информация и, соответственно, возможность использовать более полные и достоверные модели. По результатам планирования с использованием этих моделей могут корректироваться статистические коэффициенты, входящие в состав исходных данных моделей, используемых при более высокой длительности планирования. В итоге при решении задач оперативного планирования и управления весь необходимый для точных моделей набор исходных данных известен. Это делает такие модели применимыми и для решения оптимизационных и обратных задач. Получаемые результаты могут использоваться как экспериментальные данные при идентификации моделей более раннего планирования.

Таким образом, использование математических методов при планировании предполагает наличие набора моделей, упорядоченных по длительности периода/горизонта планирования, где каждая последующая модель использует более широкий набор исходных данных и является более достоверной, а результаты планирования, полученные с её применением, являются исходными данными для корректировки статистических коэффициентов предшествующих моделей.

Такая структура моделей соответствует определенной в [2, 3] тандемной модели, являющейся формальным обобщением многоуровневых моделей, и к ним применимы приведенные в [3, 4] алгоритмы их построения и взаимодействия.

Применительно к задачам планирования дискретного производства конечной целью планирования является определение времени выполнения каждого передела изготовления каждой детали и сборочной единицы (ДСЕ) и всех работ, связанных с обеспечением их ресурсами. Решения принимаются последовательно. В [1] определены три уровня: решения домена «Управление» – даты изготовления конечной продукции; домена «Основное производство» – даты изготовления ДСЕ; сегментов – времена выполнения переделов изготовления ДСЕ. Каждое из предшествующих решений ограничивает допустимые варианты решений следующих уровней (рис.2).

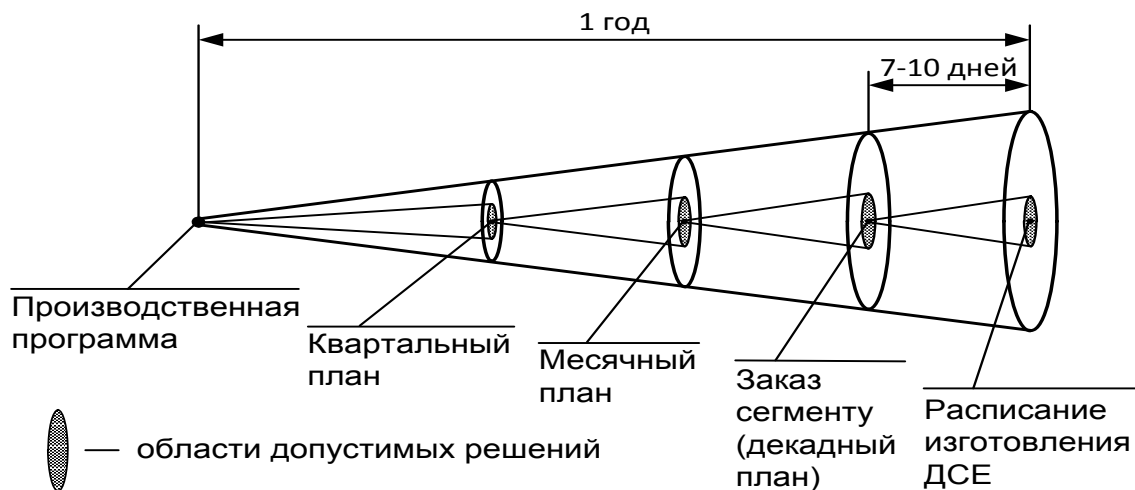


Рис. 2 – Горизонты планирования

Отсутствие контроля в течение времени от задания производственной программы до заказа сегменту без введения промежуточных этапов недопустимо. Это связано с тем, что при планировании программы производства предприятия много факторов, которые реально влияют на времена производственных циклов ДСЕ, использование ресурсов, в первую очередь, возобновляемых заменяются статистическими коэффициентами. Значения этих коэффициентов могут изменяться в достаточно широком диапазоне.

Накопление ошибок планирования за длительный период является недопустимым, т.к. их исправление может оказаться невозможным.

Для недопущения такой ситуации в процесс планирования вводятся промежуточные точки принятия решений, делящие интервал времени от формирования производственной программы предприятия до передачи заказов сегментам на части – периоды, называемые горизонтами планирования. Как правило, вводятся периоды: квартал и месяцы в текущем квартале. Данные решения принимаются на уровне доменов.

В результате такого деления в процесс планирования дополнительно включаются процедуры формирования квартальных и месячных планов производства. Они отличаются от процедур формирования планов для сегментов тем, что в них вместо календарных дат присутствуют последние даты квартала или месяца. Соответственно, в качестве номенклатуры и количества ДСЕ в этих планах присутствуют интегрированные данные календарного планирования за соответствующий период.

Процедуры формирования квартальных и месячных планов не отличаются от рассмотренной выше процедуры планирования заказов сегментам (декадное планирование) и включают процедуры контроля выполнения ранее принятых решений, горизонтального согласования планов производства с планами МТО и ТОиР, вертикального согласования мощностей.

Список литературы

1. Корякин Л.А., Падалко С.Н. Модель сегментированного управления основным производством аэрокосмических предприятий // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 284-288.
2. Падалко С.Н. Определение тандемной модели как базовой формы представления многоуровневых математических моделей при проектировании аэрокосмической техники // Труды МАИ. 2013. № 71. С. 27.
3. Смирнов О.Л. САПР: формирование и функционирование проектных модулей / О.Л. Смирнов, С.Н. Падалко, С.А. Пиявский. Москва : Издательство Машиностроение, 1987. 272 с.
4. Кондрашов Ю.Н., Чашин М.О. Модель согласования планов в иерархической организационной структуре // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2015. № 2(74). С. 11.

05.13.01

**А.В. Раскина, А.В. Караванов,
Д.А. Иптышев, И.А. Чудакин, Д.В. Карпеца**

Институт космических и информационных технологий
Сибирского федерального университета,
кафедра Информационных систем,
Красноярск, raskina.1012@gmail.com

ДУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВЫМ ЛИНЕЙНЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ СТАБИЛИЗАЦИИ

В статье рассматривается задача управления неустойчивым динамическим объектом в условиях непараметрической неопределенности. Конструирование предлагаемой системы управления состоит из двух этапов. На первом этапе осуществляется охват неустойчивого объекта отрицательной обратной связью, которая обеспечивает устойчивость в замкнутой системе. Далее следует второй этап, представляющий собой синтез устройства управления для устойчивой системы «объект-регулятор».

Ключевые слова: неустойчивый динамический процесс, непараметрическое дуальное управление, адаптивные системы.

Введение. Неустойчивые объекты характеризуются возрастанием выходной величины $x(t)$ при сколь угодно малом входном воздействии $u(t)$. Важность управления неустойчивым объектом заключается в том, что при выходе из строя автоматической системы управления неустойчивый объект может представлять собой существенную угрозу, опасность и для человека, и для окружающей среды. В анализе литературы подобного рода объектам уделено меньшее внимание, однако необходимость решения практических задач управления неустойчивыми системами обуславливает необходимость разработки новых алгоритмов и схем управления. Подавляющее число методов подразумевает предварительную оценку параметров исследуемого неустойчивого динамического объекта [1-4]. В случае, если подобного рода априорная информация не доступна, то возможно использование методов непараметрической теории [5-7].

Постановка задачи. В работе рассматриваются неустойчивые линейные динамические системы, которые могут быть описаны в виде следующего уравнения:

$$x(t) = f(x(t-1), \dots, x(t-k), u(t), \xi(t)), \quad (1)$$

где $x(t) \in R^n$ - выход динамической системы, $u(t) \in R^m$, t - непрерывное время, k - порядок объекта, $\xi(t)$ - внешняя помеха, действующая на управляемый объект. Ставится следующая задача управления: при любых начальных условиях $x(0)$ и наличии внешней помехи $\xi(t)$ требуется для объекта управления (1), в условиях структурной априорной неопределенности (параметр k неизвестен из априорной информации), синтезировать алгоритм управления $u(t)$, обеспечивающий выполнение целевого условия:

$$|x(t) - x^*(t)| \leq \sigma_0, \sigma_0 > 0. \quad (2)$$

Общая схема решения. Одним из путей приведения неустойчивых объектов к устойчивым, а, следовательно, и управляемому состоянию, состоит в охвате их отрицательной обратной связью. Передаточные функции ПИ-, ПИД- и ПД-регуляторов, а также инерционно-форсирующие звенья содержат форсирующие множители, обеспечивающие стабилизацию. В условиях непараметрической неопределенности их применение является наиболее оправданным.

Рассмотрим схему непараметрического дуального управления, представленную на нижеследующем рисунке 1:

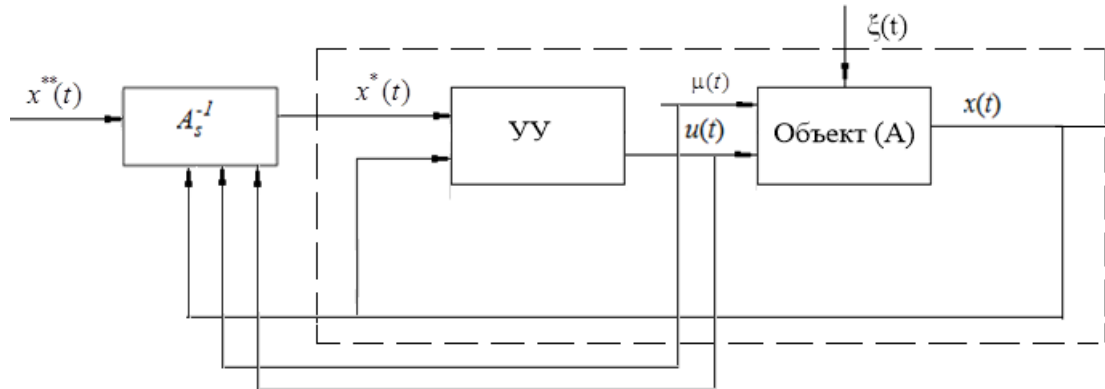


Рис. 1 – Схема непараметрического дуального управления

Здесь A_s^{-1} – непараметрическая оценка обратного оператора A^{-1} по выборке наблюдений «входных-выходных» переменных объема s , $x^{**}(t)$ – задающие воздействие для непараметрического регулятора.

Непараметрический алгоритм дуального управления. Теория дуального управления получила развитие в исследованиях различных авторов [8-11]. В условиях непараметрической неопределенности дуальный алгоритм был предложен А.В. Медведевым [12]. Общий вид непараметрического алгоритма дуального управления имеет вид:

$$u_{s+1} = u_s^* + \Delta u_{s+1}, \quad (3)$$

где u_s^* – слагаемое, отвечающее за изучение и накопление информации об объекте, а $\Delta u_{s+1} = \varepsilon(x_{s+1}^* - x_s)$ – «изучающие» поисковые шаги.

Вид u_s^* первого слагаемого из (3) может быть представлен в виде:

$$u_s^* = \frac{\sum_{i=1}^s u_i \Phi\left(\frac{x_{s+1}^* - x_i}{c_s}\right) \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{x_{s-j} - x_{i-j}}{c_s^{x[j]}}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x_{s+1}^* - x_i}{c_s}\right) \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{x_{s-j} - x_{i-j}}{c_s^{x[j]}}\right)} \quad (4)$$

Дуализм алгоритма (3) заключается в следующем. На первых тактах управления основную роль при формировании управляющих воздействий играет слагаемое Δu_{s+1} из формулы (3).

Но уже по мере накопления информации об объекте возрастает роль слагаемого u_s^* .

Вычислительный эксперимент. В качестве неустойчивого динамического объекта рассмотрим объект, представленный в виде следующего разностного уравнения второго порядка:

$$x_t = 2,037x_{t-1} - 1,053x_{t-2} + 0,039u_t. \quad (5)$$

В данном вычислительном эксперименте, были приняты следующие коэффициенты ПИД регулятора: $\kappa = 10$, $T_i = 1$, $T_d = 1$. Результаты управления макрообъектом (неустойчивая система и ПИД регулятор в качестве стабилизатора) при различных задающих воздействиях, в частности ступенчатом воздействии, а также траектории $x^*(t) = 0,1 \sin(0,01 \cdot t)$ приведены на рисунках 2 а)-в).

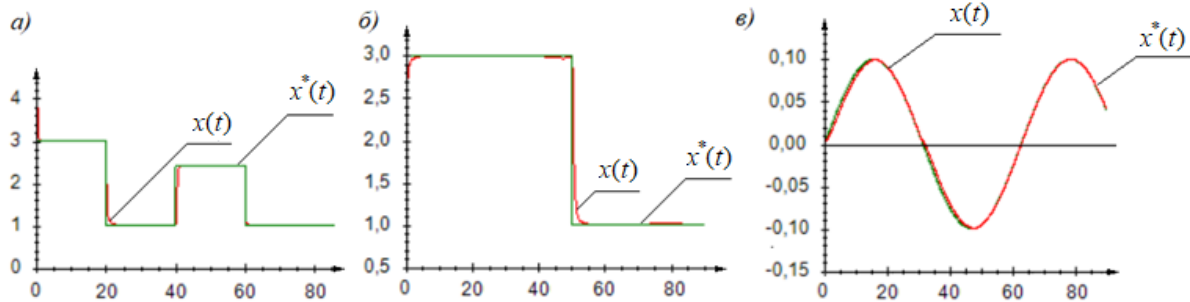


Рис. 2 – Управление макрообъектом

($x(t)$ - выходная характеристика объекта, $x^*(t)$ - задающее воздействие)

Эффективность управления оценивалась по двум ключевым характеристикам: времени регулирования t_p , а также относительной ошибке управления W_p .

$$W_p = \frac{\frac{1}{s} \sum_{i=1}^s |x_i - x_i^*|}{x^*} \quad (6)$$

В таблице 1 представлены результаты эксперимента.

Таблица 1 – Основные показатели качества управления централизованной двухконтурной системы регулирования

Уровень внешней помехи	t_p	W_p
$\xi(t) = 0\%$	1,6	0,032
$\xi(t) = 3\%$	1,9	0,056
$\xi(t) = 5\%$	2,3	0,078
$\xi(t) = 7\%$	3,7	0,091

Заключение. В статье исследуется задача управления неустойчивым объектом. Показано, что для управления таким объектом в условиях непараметрической неопределённости сначала необходимо привести неустойчивый объект к устойчивому виду путем охвата его обратной отрицательной связью. В данном случае для стабилизации использовался типовой ПИД регулятор. Как видно из приведенных результатов вычислительных экспериментов введение предложенного алгоритма управления позволяет эффективно управлять изначально неустойчивой динамической системой, даже в условиях наличия внешних помех. К основным недостаткам данного метода следует отнести, тот факт, что в условиях непараметрической неопределённости, когда управления объекта или его передаточная характеристика неизвестны, невозможно использование различных критериев устойчивости при подборе настроек типовых регуляторов, что значительно усложняет стабилизацию неустойчивого объекта.

Список литературы

1. Troshina G.V., Voevoda A.A., Bobobekov K. Unstable object parameters estimation with one input and two outputs in automatic control system // 2017 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). IEEE, 2017. С. 138-141.
2. Troshina G., Voevoda A., Bobobekov K. The active identification of parameters for the unstable object //2016 11th International Forum on Strategic Technology (IFOST). IEEE, 2016. С. 594-596.
3. Blokhin L.N., Osadchiy S.I., Bezkorovainyi Y.N. Technology of structural identification and subsequent synthesis of optimal stabilization systems for unstable dynamic objects //Journal of Automation and Information Sciences. 2007. Т. 39. №. 11.
4. Balasubramaniam R. On the control of unstable objects: the dynamics of human stick balancing // Progress in motor control. 2013. С. 149-168.
5. Medvedev A.V., Raskina A.V. On the nonparametric identification and dual adaptive control of dynamic processes. Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. 2017. №10 (1). p. 96-107.
6. Медведев А.В. Основы теории непараметрических систем. Красноярск: СибГАУ. 2018. 730 с.
7. Медведев А.В. Основы теории адаптивных систем. Красноярск: СибГАУ. 2015. 525 с.
8. Feldbaum A.A. Dual control theory. I //Avtomatika i Telemekhanika. 1960. Т. 21. №. 9. – С. 1240-1249.
9. Wittenmark B. Adaptive dual control //Control systems, robotics and automation. 2008. Т. 10. С. 122-132.
10. Mesbah A. Stochastic model predictive control with active uncertainty learning: A survey on dual control //Annual Reviews in Control. 2018. Т. 45. С. 107-117.
11. Heirung T.A.N., Ydstie B.E., Foss B. Dual adaptive model predictive control //Automatica. 2017. Т. 80. С. 340-348.
12. Медведев А.В. Теория непараметрических систем. Управление-I //Сибирский журнал науки и технологий. – 2013. – №. 2 (48).

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

05.13.06

А.В. Милов

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева,
институт информатики и телекоммуникаций,
кафедра информационно-управляющих систем,
Красноярск, antnraven@ieee.org

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКОЙ
НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

В работе представлена разработка программного обеспечения управления индукционной пайкой на основе интеллектуальных методов обработки информации. Программное обеспечение реализует технологию управления, в основе которой лежит взаимодействие коллектива предварительно обученных искусственных нейронных сетей. Программное обеспечение позволит повысить качество управления посредством снижения влияния погрешностей средств измерения, а также позволит производить управление в условиях недостоверной, неполной либо отсутствующей информации о температуре нагрева элементов изделия. В качестве языка программирования используется Python, графический интерфейс пользователя реализован средствами PyQt.

Ключевые слова: индукционная пайка, волноводы, искусственные нейронные сети.

Введение

Технология индукционной пайки (ИП) широко используется для создания неразъемных соединений при производстве различной продукции, например при производстве волноводных трактов космических аппаратов (ВТКА).

Управление технологическим процессом ИП происходит в условиях неопределенности. Условия неопределенности вызваны либо полным отсутствием информации о температуре нагрева элементов сборки изделия, либо недостаточной достоверностью данной информации, что делает контроль нагрева невозможным. Недостоверность информации о температуре нагрева элементов сборки как правило вызвана наличием погрешностей средств измерения, например при использовании бесконтактных датчиков измерения температуры.

Интеллектуальные методы обработки информации широко используются для решения различных задач в условиях неопределенности. Использование интеллектуальных методов позволяет проводить оценку достоверности, получаемой из зоны нагрева информации, оценивать погрешности средств измерения и формировать адекватное управление технологическим процессом с целью повышения его точности и повторяемости.

Таким образом, можно утверждать, что разработка технологии управления ИП на основе интеллектуальных методов обработки данных является актуальной научно-технической задачей.

Обзор существующих решений

Вопросами автоматизации управления технологическими процессами на основе индукционного нагрева занимается множество научных и производственных коллективов в России и за рубежом.

Авторы работы [1] представили установку для автоматизированной пайки и термической обработки изделий ЭКУ-2П. В работе [2] представлены индукторы для монтажной пайки в электронике. Использование предложенных индукторов особенно эффективно при пайке

малогабаритных деталей. Микроконтроллерное управление технологическим процессом ВГ представлено в работе [3]. Авторы работы [4] представлена автоматизированная система для пайки ВТКА.

В работе [5] представлена концепция управления процессом ИП ВТКА на основе коллектива предварительно обученных искусственных нейронных сетей (ИНС). В рамках данной работы представлено программное обеспечение, реализующее данную концепцию.

Программное обеспечение

Программный продукт разрабатывается в виде графического приложения, предназначенного для запуска на базе Windows. В качестве основного инструмента выбран язык программирования Python. Программное обеспечение разработано в рамках объектно-ориентированного подхода. Для разработки графического интерфейса выбран фреймворк PyQt5. В качестве среды разработки выступила PyCharm. Также используются библиотеки: Keras, TensorFlow, Pandas, Matplotlib и Bdaqctrl.

На рисунке 1 представлена диаграмма вариантов использования разрабатываемого продукта. Из рисунка видно, что программный продукт предоставляет возможность производить запуск и остановку процесса ИП ВТКА. Также имеется возможность настроить технологические параметры процесса.

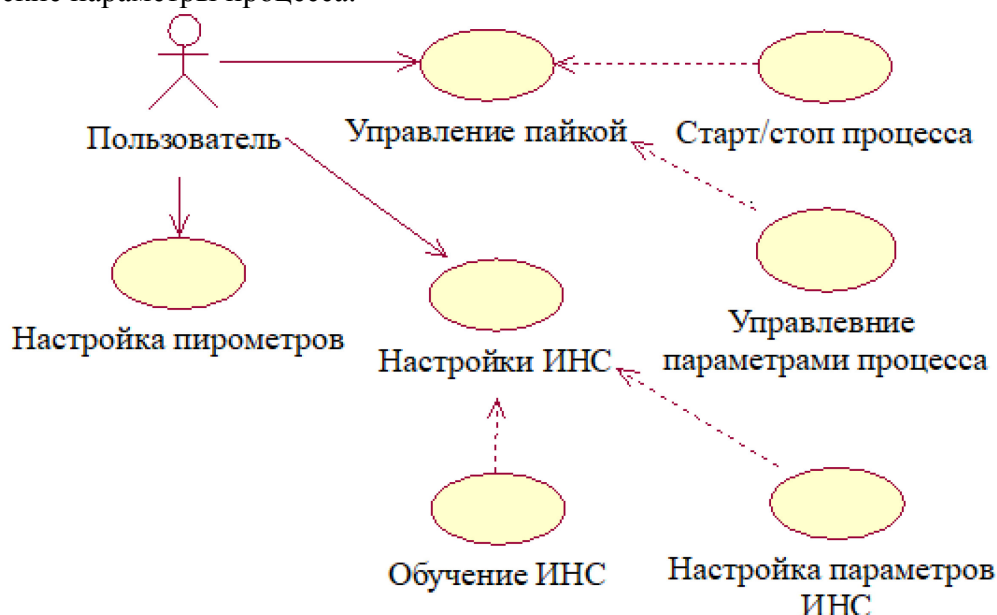


Рис. 1 – Диаграмма вариантов использования

Помимо управления самим процессом пайки, программный продукт реализует возможность настройки пирометров. Следующей функцией является настройка ИНС, используемых для решения задач управления процессом пайки. Настройка возможно производить для каждой из ИНС отдельно. Настройки производятся как в части настроек параметров обучения ИНС, так и в части весов связей, т.е. непосредственно обучения ИНС.

В рамках программного продукта реализованы следующие классы:

1. Mainform – класс, реализующий общую логику работы программной системы.
2. GUI – класс, реализующий логику привязки элементов графического интерфейса к конкретным исполняемым функциям системы.
3. CollectData – класс, предназначенный как для получения оперативной информации о технологическом процессе ИП, так и для проверки работоспособности пирометрических датчиков для принятия решения о выборе метода управления.
4. ClassicControl – класс, реализующий вариации ПИД-регулятора при наличии показаний хотя бы с одного из пирометрических датчиков измерения температуры.
5. IntelligentControl – класс, используемый в случаях, когда отсутствуют оперативные данные о технологическом процессе ИП ВТКА.

6. ANNident, ANNcorrect, ANNpredict, ANNcontrol – классы, наследующие IntelligentControl, предназначены для реализации вывода каждой из моделей.

7. Pyro – класс, реализующий взаимодействие с пирометрическими датчиками измерения температуры.

На рисунке 2 представлена блок-схема работы программного продукта.

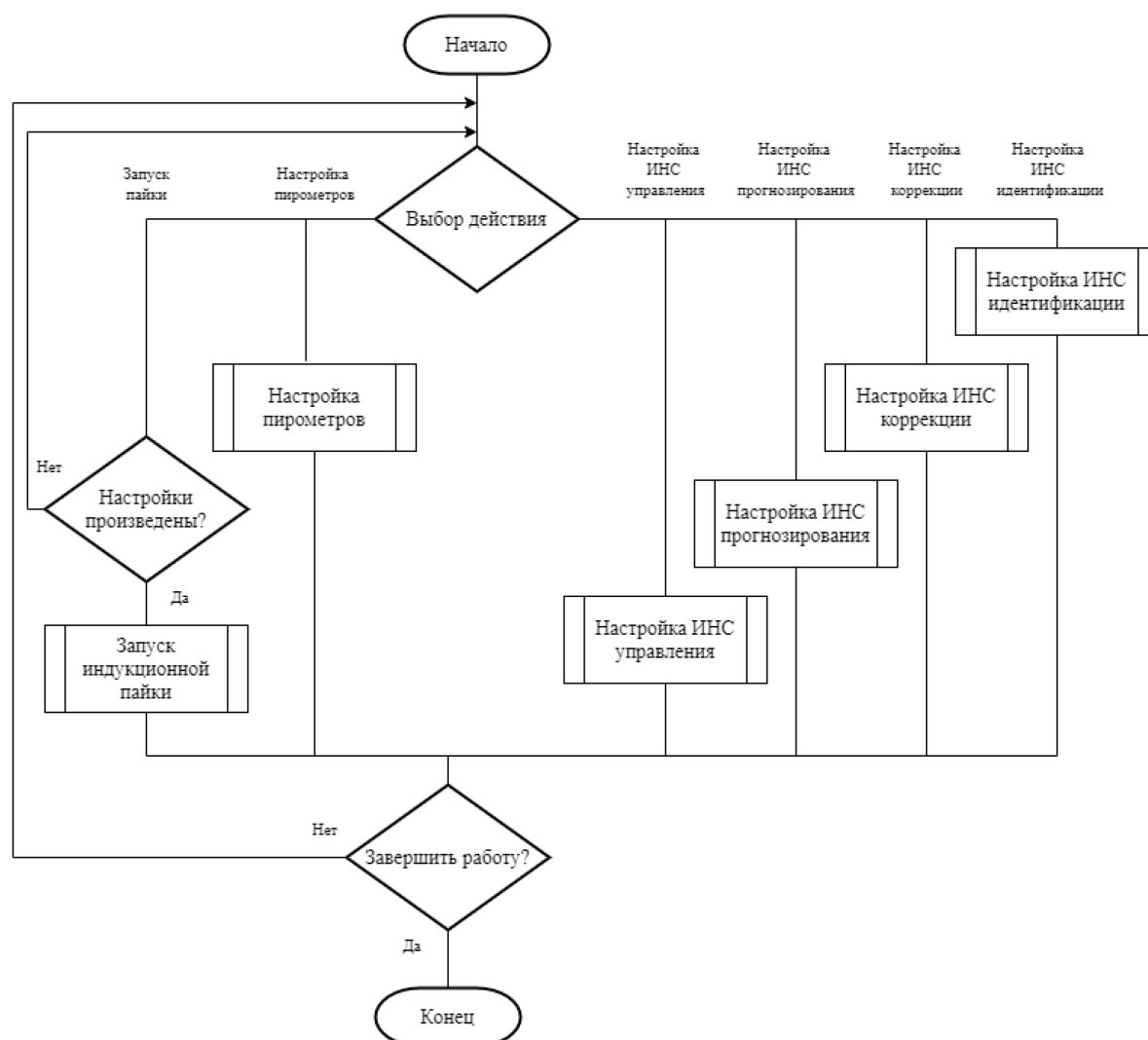


Рис. 2 – Блок-схема программного продукта

На начальном этапе интеллектуального управления процессом ИП происходит получение данных с пирометрических датчиков измерения температуры. Если оба датчика выдают данные о температуре технологического процесса, то происходит идентификация погрешностей. В случае отсутствия погрешностей либо при наличии нормативных погрешностей данные передаются далее для управления ТП на основе классических алгоритмов управления.

При наличии ненормативных погрешностей производится их коррекция с дальнейшей передачей данных для управления на основе классических алгоритмов. При отсутствии показаний с одного из пирометров, данные второго датчика определяются на основе прогноза, полученного с помощью ИНС прогнозирования, при этом управление также производится на основе классических алгоритмов управления.

Если отсутствуют данные с обоих пирометрических датчиков, то управление осуществляется на основе ИНС управления. Признаком остановки процесса управления является истечение времени стабилизации температуры изделия, производящейся на заключительном этапе технологического процесса ИП ВТКА.

Описание работы с программной системой

Запуск программы осуществляется посредством исполнения файла Soldering.exe. На рисунке 3 представлен внешний вид главного окна программы.

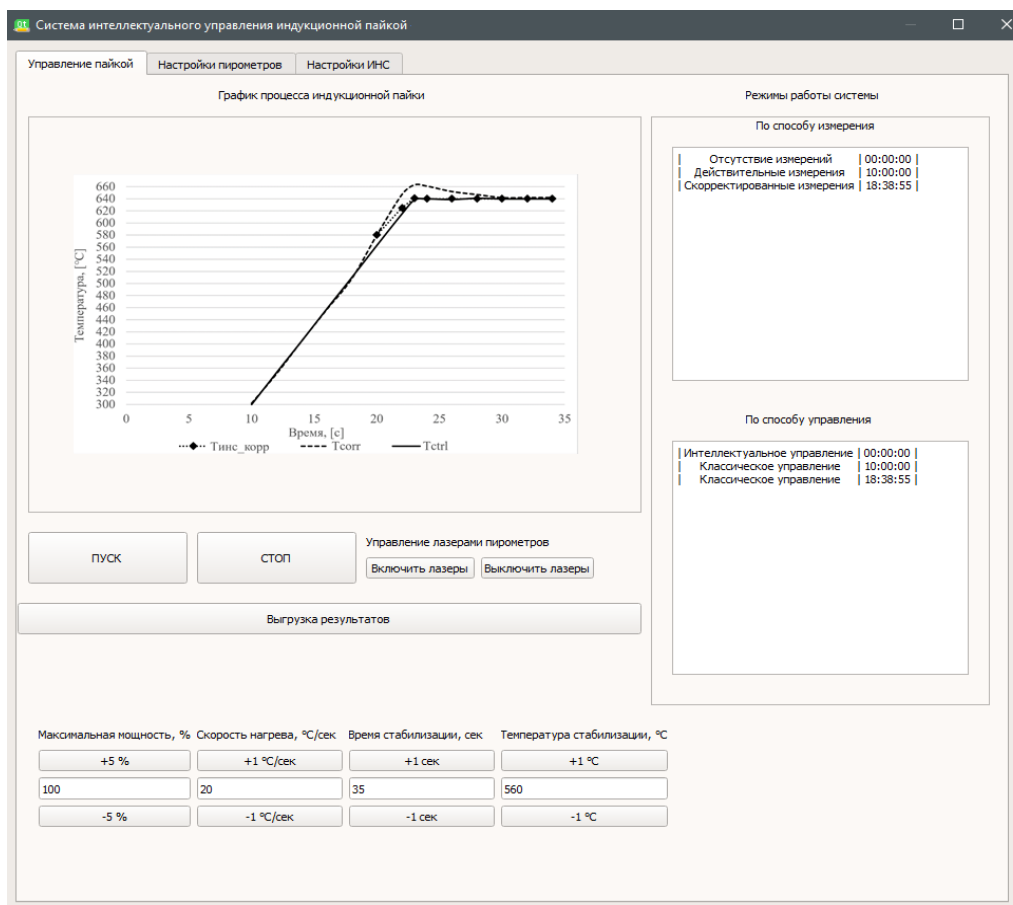


Рис. 3 – Главное окно программной системы

В основном окне программный продукт позволяет: производить настройку параметров технологического процесса ИП; производить включение и отключение лазеров пирометрических датчиков измерения температуры; производить пуск и остановку процесса ИП; выгружать результаты в текстовом виде; выводить в реальном времени график температур нагрева элементов сборки в процессе пайки; логировать переключения режимов работы программной системы.

На вкладке настройки пирометров возможно: производить выбор COM-порта, к которому подключен настраиваемый пирометр; задавать значений излучательной способности материала как в ручном, так и в автоматическом режиме; производить включение и отключение лазера пирометрического датчика.

На вкладке настройки ИНС имеется доступ к обучению и дополнительному обучению ИНС, используемых для решения задач идентификации и коррекции погрешностей средств измерения, прогнозирования измерений и управления процессом ИП. Изначально в составе программного обеспечения уже имеются предварительно обученные модели, но на данной вкладке можно производить как обучение каждой ИНС с нуля, так и производить дополнительное обучение.

Заключение

В рамках данной работы представлена разработка программного обеспечения управления ИП на основе интеллектуальных методов обработки информации. В работе представлены диаграммы в нотации UML, описывающие разработанную программную систему. Описан типовой сценарий взаимодействия с программным продуктом. Использование разработанного программного продукта позволит: повысить качество управления процессом ИП посредством снижения влияния ненормативных погрешностей измерения пирометрических датчиков, повысить живучесть автоматизированной системы управления и производить ИП с требуемым качеством в условиях неполной или недостоверной информации о технологическом процессе, осуществлять управления ИП ВТКА с требуемым качеством в условиях отсутствия информации с пирометрических датчиков.

Список литературы

1. Ланин В.Л., Сергачев И.И. Индукционные устройства для монтажной пайки в электронике // Электронная обработка материалов. – 2012. – Т. 48. – №. 4.
2. Вегера И.И., Гайлевич Э.В., Ходюш В.Е. Система управления установкой индукционного нагрева. – 2020.
3. Ланин В.Л., Хацкевич А.Д. Микроконтроллерное управление термопрофилями индукционной пайки // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2018. – Т. 18. – №. 3. – С. 717-720.
4. Кадочникова Н.С. Индукционная пайка волноводов из алюминиевых сплавов для космических аппаратов связи // А1 Металлорежущие станки. – 2017. – Т. 25. – С. 532.
5. Милов А.В., Тынченко В.С., Курашкин С.О. Применение коллектива искусственных нейронных сетей для управления индукционной пайкой волноводных трактов космических аппаратов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2021. – Т. 19. – №. 2. – С. 72-82.

05.13.06

М.В. Таланов, И.В. Федотова

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева,
институт электроники и светотехники,
кафедра электроники и электротехники,
Саранск, mvtal@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ В СОСТАВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Фильтр Калмана является рекурсивным фильтром, который минимизирует среднеквадратическую ошибку оценивания вектора состояния нелинейной системы при наличии ошибок измерений и возмущений в динамической системе. В статье рассматриваются различные методы нелинейной калмановской фильтрации для дискретных стохастических систем. В статье описаны особенности использования фильтра Калмана в системах управления электроприводами различного типа, используемых в автоматизированных системах управления технологическими процессами.

Ключевые слова: расширенный фильтр Калмана, сигма-точечный фильтр Калмана, электропривод, электродвигатель, автоматизированная система управления технологическими процессами.

Алгоритмы нелинейной калмановской фильтрации строятся на основе стохастических дифференциальных уравнений, описывающих динамику объекта управления. Общая структура объекта управления представлена на рисунке 1. Рисунок 1 иллюстрирует представление объекта управления в пространстве состояний, где x – вектор состояния, y – вектор выхода, u – вектор управления, A – матрица состояний объекта, B – матрица входа, C – матрица выхода, v – шум системы, w – шум измерений.

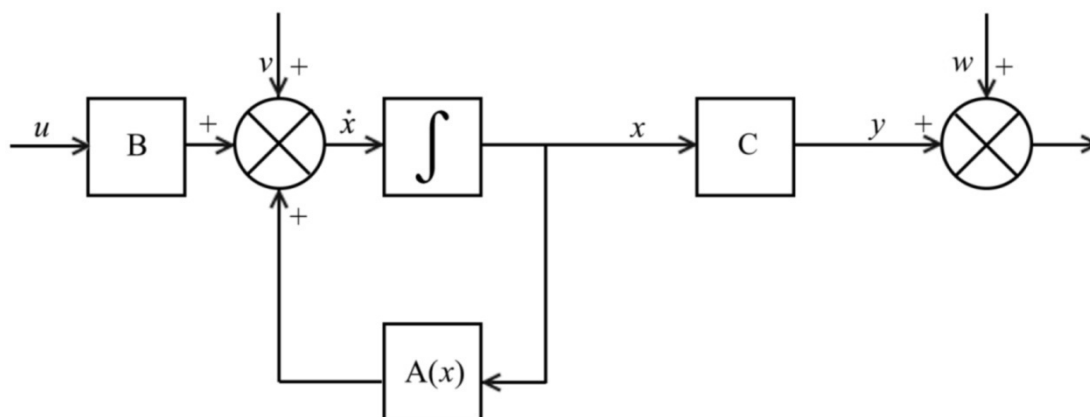


Рис. 1 – Структурная схема объекта управления

В работах [1, 2, 3] приведены математические модели электродвигателей различных типов, которые рассматриваются как объект управления. Структура типовой системы управления электродвигателями в автоматизированных системах управления технологическими процессами приведена на рисунке 2.

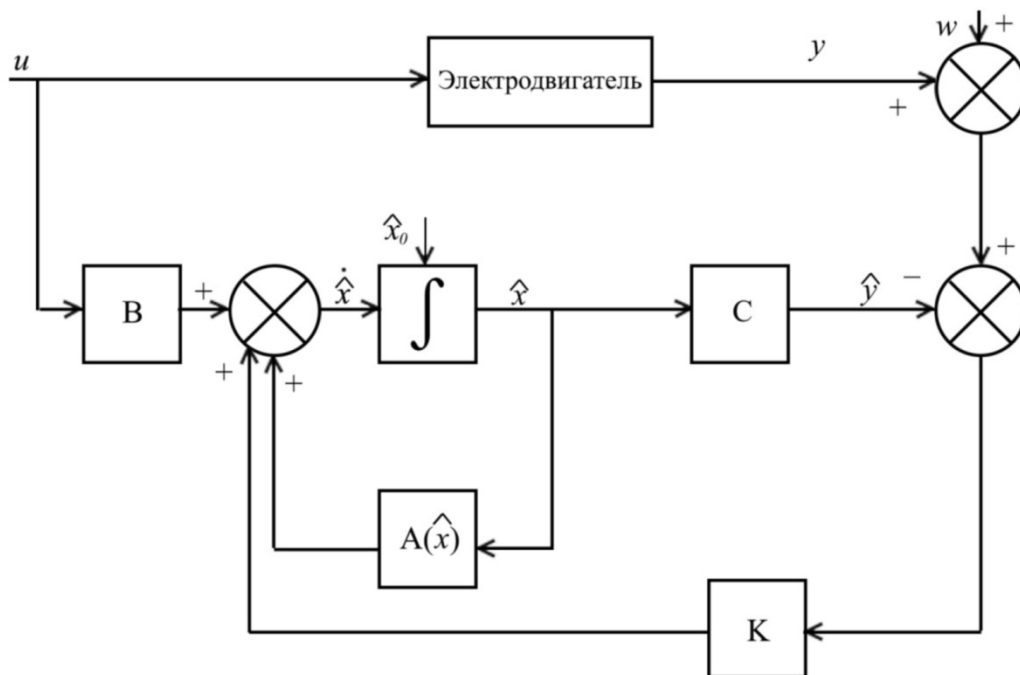


Рис. 3 – Структура фильтра Калмана

Рассмотрим особенности и сравним различные схемы наблюдателей Калмана.

Расширенный фильтр Калмана [1, 2, 3] реализуется путем введения дополнительных переменных в систему уравнений, характеризующих равновесный режим работы объекта управления. В расширенном фильтре Калмана математическое ожидание вектора состояния и матрица ковариации ошибки оценивания вычисляются путем разложения нелинейной функции, описывающей объект, в ряд Тейлора в окрестности оценки вектора состояния системы.

Сигма-точечный фильтр Калмана [1] может обеспечить более высокий порядок аппроксимации оценки математического ожидания вектора состояния объекта управления. Вместо линеаризации нелинейной функции системы выбирается и анализируется набор сигма-точек вокруг полученной оценки вектора состояния системы.

В алгоритме отказоустойчивого расширенного фильтра Калмана [1] учитывается, что каждое измеренное значение с объекта управления поступит с заданной вероятностью. В этом случае вектор выхода объекта управления определяется как:

$$y_k = \Gamma_k h(x_k) + w_k, \quad (1)$$

где $\Gamma = \text{diag}[\gamma^1, \gamma^2, \dots, \gamma^p]$ – диагональная матрица, которая, учитывая размер p вектора выхода, формируется из случайных чисел γ^i , каждое из которых может принимать значение «0» или «1». При таком описании объекта управления считается, что каждое случайное число γ^i будет равняться единице с заданной вероятностью π_i или нулю с вероятностью $(1 - \pi_i)$ соответственно.

В таблице приведены перечисленные уравнения фильтрации. Перед началом выполнения алгоритмов фильтрации задаются начальные значения вектора состояния $\hat{x}_0 = E[x_0]$ и матрицы ковариации $P_0 = E[(x_0 - \hat{x}_0)(x_0 - \hat{x}_0)^T]$. Последовательности v_k и w_k не зависят от начального вектора состояния системы x_0 и взаимно не коррелированы; рассматриваются как дискретный белый шум с нулевым средним и матрицами ковариации V_k и W_k соответственно.

В работах [1, 2, 3] алгоритмы оценивания вектора состояния используются для построения систем управления электродвигателями различных специальных конструкций, требующих особых систем управления питанием.

Таблица – Обзор алгоритмов фильтрации Калмана

Этап	Расширенный фильтр Калмана	Сигма-точечный фильтр Калмана	Отказоустойчивый фильтр Калмана
Прогноз	Дискретная модель объекта управления: $x_{k+1} = f(x_k, u_k, v_k),$ $y_k = h(x_k, u_k, w_k).$ Матрицы Якоби: $A_k = \left. \frac{df}{dx} \right _{x=\hat{x}_k},$ $F_k = \left. \frac{df}{dv} \right _{x=\hat{x}_k},$ $C_k = \left. \frac{dh}{dx} \right _{x=\hat{x}_k},$ $G_k = \left. \frac{dh}{dw} \right _{x=\hat{x}_k}.$ Матрица ковариации ошибки экстраполяции: $P_k^- = A_{k-1} P_{k-1}^+ A_{k-1}^T + F_{k-1} V_{k-1} F_{k-1}^T,$ где V_k – матрица ковариации возмущений в системе. Экстраполяция вектора состояния: $\hat{x}_k^- = f(\hat{x}_{k-1}^+, u_{k-1}).$	Дискретная модель объекта управления: $x_{k+1} = f(x_k, u_k, v_k),$ $y_k = h(x_k, u_k, w_k).$ Набор сигма-точек создается путем применения уравнений: $\chi_k^{(0)} = \hat{x}_k,$ $\chi_k^{(s)} = \hat{x}_k + \tilde{x}_k^{(s)}, s = 1, \dots, 2n,$ $\tilde{x}_k^{(s)} = (\sqrt{n P_k})_s^T, s = 1, \dots, n,$ $\tilde{x}_k^{(s+n)} = -(\sqrt{n P_k})_s^T, s = 1, \dots, n,$ где n – размер вектора состояния, $(\sqrt{n P_k})_s$ – обозначает s-й столбец или колонку матрицы $\sqrt{n P_k}$. Весовые коэффициенты: $\omega^{(s)} = \frac{1 - \omega^{(0)}}{2n}, s = 1, \dots, 2n,$ $\sum_{s=0}^{2n} \omega^{(s)} = 1.$ Для каждой сигма-точки рассчитывается прогноз $\hat{x}_{k+1}^-$: $\hat{x}_{k+1}^- = \sum_{s=0}^{2n} \omega^{(s)} f(\chi_k^{(s)}, u_k).$ Матрица ковариации ошибки экстраполяции: $P_{k+1}^- = \sum_{s=0}^{2n} \omega^{(s)} \left(f(\chi_k^{(s)}, u_k) - \hat{x}_{k+1}^- \right) \times$ $\times \left(f(\chi_k^{(s)}, u_k) - \hat{x}_{k+1}^- \right)^T + V_k.$	Дискретная модель объекта управления: $x_{k+1} = f(x_k) + v_k,$ $y_k = \Gamma_k h(x_k) + w_k,$ где p – размерность вектора выхода. Матрицы Якоби: $A_k = \left. \frac{df}{dx} \right _{x=\hat{x}_k}, C_k = \left. \frac{dh}{dx} \right _{x=\hat{x}_k}.$ Экстраполяция вектора состояния: $\hat{x}_k^- = f(\hat{x}_{k-1}^+).$

Коррекц ия	Матрица усиления фильтра: $K_k = P_k^- C_k^T \times$ $\times (C_k P_k^- C_k^T +$ $+ G_k W_k G_k^T)^{-1}$ Оценка вектора состояния: $\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k [y_k -$ $h_k(\hat{x}_k^-)],$ где $h_k(\hat{x}_k^-)$ – результат умножения матрицы выхода на вектор состояния $\hat{x}_k^-$. Матрица ковариации ошибки оценивания: $P_k^+ = (I - K_k C_k) P_k^-.$	Прогноз вектора выхода объекта управления: $\hat{y}_{k+1} = \sum_{s=0}^{2n} \omega^{(s)} h(\chi_k^{(s)}).$ Матрица ковариации невязки измерений: $P_y = \sum_{s=0}^{2n} \omega^{(s)} (h(\chi_k^{(s)})$ $- \hat{y}_{k+1}) \times$ $\times (h(\chi_k^{(s)}) - \hat{y}_{k+1})^T + W_{k+1}.$ Матрица кросс-ковариации: $P_{xy} = \sum_{s=0}^{2n} \omega^{(s)} (f(\chi_k^{(s)})$ $- \hat{x}_{k+1}) \times$ $\times (h(\chi_k^{(s)}) - \hat{y}_{k+1})^T.$ Матрица усиления фильтра: $K_{k+1} = P_{xy} P_y^{-1}.$ Коррекция оценки вектора состояния: $\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_{k+1}^- + K_{k+1} (y_{k+1} -$ $\hat{y}_{k+1}).$ Матрица ковариации ошибки оценивания: $P_{k+1} = P_{k+1}^- - K_{k+1} P_y K_{k+1}^T.$	Матрица усиления фильтра: $= \left(A_k P_k C_k^T \bar{\Gamma}_k^T \right) [\bar{\Gamma}_k C_k P_k C_k^T \bar{\Gamma}_k^T$ $+$ $+ \gamma \circ (h(\hat{x}_k^-) h^T(\hat{x}_k^-) +$ $C_k P_k C_k^T) + W_k]^{-1},$ где $\bar{\Gamma}_k = \text{diag}[\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_p],$ $\gamma = \text{diag}[\pi_1(1 - \pi_1), \dots, \pi_p(1$ $- \pi_p)].$ Символом «$\circ$» обозначается произведение Адамара. Предельная оценка матрицы ковариации ошибки оценивания вектора состояния: $P_{k+1} = A_k P_k A_k^T + V_k +$ $+ \lambda_{\max} \{ \bar{\Gamma}_k C_k P_k C_k^T \bar{\Gamma}_k^T + W_k +$ $+ \gamma \circ (h(\hat{x}_k^-) h^T(\hat{x}_k^-)$ $+ C_k P_k C_k^T) \} \delta I$ $- \left(A_k P_k C_k^T \bar{\Gamma}_k^T \right) [\bar{\Gamma}_k C_k P_k C_k^T \bar{\Gamma}_k^T$ $+$ $+ \gamma \circ (h(\hat{x}_k^-) h^T(\hat{x}_k^-)$ $+ C_k P_k C_k^T) +$ $+ W_k]^{-1} (\bar{\Gamma}_k C_k P_k A_k^T).$ Символом «λ» обозначается собственное число матрицы. Оценка вектора состояния: $\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k^- + (K_k +$ $\Delta_k) (y_k - \bar{\Gamma}_k h(\hat{x}_k^-)),$ где Δ_k – настроечный коэффициент, который задается: $E[\Delta_k \Delta_k^T] \leq \delta I, E[\Delta_k^T x_0] = 0,$ $E[v_k \Delta_k^T] = 0, E[\Delta_k w_k] = 0$ и характеризует неопределенность настройки фильтра.
-----------------------	---	--	--

В данной статье были рассмотрены общие математические основы оценки вектора состояния в стохастических динамических системах, использующих для своей работы фильтр Калмана.

Список литературы

1. Sensorless Direct Torque Control of Surface-Mounted Permanent Magnet Synchronous Motors with Nonlinear Kalman Filtering. Joon B. Park, and Xin Wang. Received: 2 April 2018; Accepted: 16 April 2018; Published: 18 April 2018.
2. Rotor Position Estimation of a Pseudo Direct Drive PM machine using Extended Kalman Filter. Jiabin Wang and Kais Atallah. Electronic and Electrical Engineering The University of Sheffield Sheffield, UK.
3. Synchronous Reluctance Motor Parameter and State Estimation Using Extended Kalman Filter and Current Derivative Measurement Zbynek Mynar, Member, IEEE, Pavel Vaclavek, Senior Member, IEEE, and Petr Blaha.

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

05.13.11

В.Д. Петелина

ФГБОУ ВО НИУ «Московский Государственный Строительный Университет»,
Институт Фундаментального Образования,
кафедра прикладной математики,
Москва, verapetelina51@gmail.com

**ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ
СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ
ВОЗМУЩЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ
ПРИ ПРОИЗВОДНЫХ**

В статье рассматривается задача получения асимптотического приближения решения возмущенной системы дифференциальных уравнений в случае, когда в уравнении «быстрых движений» при изменении параметра происходит бифуркация: два положения равновесия сливаются с последующей сменой устойчивости. Изучается качественный характер поведения решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений, когда малый параметр стремится к нулю на конечном отрезке времени, на котором медленная переменная проходит через некоторую точку, соответствующую бифуркации в системе «быстрых движений»: устойчивый предельный цикл сливается с неустойчивым и исчезает.

Ключевые слова: система дифференциальных уравнений возмущенного движения тела, регуляризирующая независимая переменная, возмущение, многочлен, приближение.

Одной из основных задач, связанных с траекторными измерениями является приближение прямоугольных координат, составляющих скорости исследуемого тела алгебраическими многочленами низкой степени относительно вспомогательной переменной с наперед заданной степенью точности. Общие принципы построения теории возмущений в координатах рассмотрены в статье [1]. Различные варианты универсальных переменных таких, как S_k и β были рассмотрены в статье [2], намечены пути использования универсальных переменных в ряде задач механики, в частности для определения возмущений методом вариации произвольных постоянных. В работах [3-5] введены вспомогательные переменные S_k в виде степенных рядов относительно переменной β , рассмотрены вопросы использования регуляризирующих переменных при вычислении пассивных траекторий перелета. При разработке метода вычисления возмущений в координатах применялся метод малого параметра, позволяющий получить асимптотические разложения решения в окрестности исходной точки. Целью работы является приближение прямоугольных координат, составляющих скорости исследуемого тела и времени на пассивном участке конечными многочленами относительно регуляризирующей переменной с заданной степенью точности. Регуляризация проводится с целью упрощения правых частей системы дифференциальных уравнений движения исследуемого тела и аналитических свойств решения.

В статье [6] описана основная процедура, которая использовалась при составлении специальной системы дифференциальных уравнений возмущенного движения тела. Основное достоинство построенной системы дифференциальных уравнений возмущенного движения состоит в том, что коэффициенты при проекциях возмущающего ускорения X, Y, Z являются целыми функциями независимой регуляризирующей переменной Ψ .

$$\frac{d}{d\psi} \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} = -r(\rho \cdot S_1 + \rho' \cdot S_2) \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + S_2 \cdot R \cdot \begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{pmatrix} + R' \cdot \begin{pmatrix} x - \xi \\ y - \eta \\ z - \zeta \end{pmatrix} + S_3 \cdot \begin{pmatrix} \xi' \\ \eta' \\ \zeta' \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\frac{d}{d\psi} \begin{pmatrix} \xi' \\ \eta' \\ \zeta' \end{pmatrix} = r(\rho - \mu \cdot S_2) \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - S_1 \cdot R \cdot \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} + R' \cdot \begin{pmatrix} x - \xi \\ y - \eta \\ z - \zeta \end{pmatrix} + S_3 \cdot \begin{pmatrix} \xi'' \\ \eta'' \\ \zeta'' \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\frac{d}{d\psi} \begin{pmatrix} \xi'' \\ \eta'' \\ \zeta'' \end{pmatrix} = r(\rho' + \mu \cdot S_1) \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + S_0 \cdot R \cdot \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} + R' \cdot \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} - S_1 \cdot \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} + \psi \cdot \begin{pmatrix} \xi' \\ \eta' \\ \zeta' \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\frac{d}{d\psi} \begin{pmatrix} \tau \\ -\rho \\ \rho' \\ -\rho'' \end{pmatrix} = r \begin{pmatrix} S_2 \\ S_1 \\ S_0 \\ \sigma \cdot S_1 \end{pmatrix} - R \cdot \begin{pmatrix} S_3 \\ S_2 \\ S_1 \\ S_0 \end{pmatrix} + \rho' \cdot \begin{pmatrix} \psi \cdot S_3 - 2 \cdot S_4 \\ S_3 \\ 0 \\ -\psi \end{pmatrix} + \rho'' \cdot \begin{pmatrix} \psi \cdot S_4 - 3 \cdot S_5 \\ 0 \\ -S_3 \\ S_2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Это позволяет эффективно вычислять возмущения не только первого порядка, но и более высоких порядков, используя метод последовательных приближений. На каждом приближении производится снижение степени построенных многочленов с помощью многочленов Чебышева на основном промежутке $[-1, 1]$.

Рассмотрим асимптотическое приближение решения возмущенной системы дифференциальных уравнений. Введем возмущенную систему дифференциальных уравнений вида:

$$\varepsilon \frac{dx}{dt} = f(x, y), \frac{dy}{dt} = g(x, y), \quad (5)$$

где функции $f(x, y)$ и $g(x, y)$ несколько раз непрерывно дифференцируемы в некоторой области действительных переменных (x, y) , $\varepsilon > 0$ – малый параметр. Вместе с системой (5) рассмотрим вырожденную систему, полагая в системе (5) $\varepsilon = 0$:

$$f(x, y) = 0, \frac{dy}{dt} = g(x, y). \quad (6)$$

при исследовании качественного поведения решений систем (5) и (6) при $\varepsilon \rightarrow 0$ существенную роль играет кривая L , определяемая уравнением $f(x, y) = 0$, представляющая множество всех положений равновесия уравнения:

$$\frac{dx}{d\tau} = f(x, y), \tau = \frac{t}{\varepsilon} \quad (7)$$

при изменении параметра y .

Рассмотрим особую точку (x_0, y_0) кривой L , удовлетворяющую следующим условиям:

$$\begin{aligned} f'_x(x_0, y_0) &= f'_y(x_0, y_0) = 0, f''_{xx}(x_0, y_0) \neq 0, \\ (f''_{xy}(x_0, y_0))^2 - f''_{xx}(x_0, y_0) \cdot f''_{yy}(x_0, y_0) &= D^2 > 0. \end{aligned} \quad (8)$$

В уравнении «быстрых движений» (8) при $y = y_0$ происходит бифуркация – два положения равновесия сливаются в одно (x_0) , а затем происходит смена устойчивости. Получим асимптотическое приближение решения системы (5) по параметру ε вблизи особой точки кривой L , будем считать $x_0 = y_0 = 0$. Дополнительно предположим, что:

$$g(0, 0) > 0. \quad (9)$$

Рассмотрим геометрические свойства кривой L в окрестности точки $(0,0)$. Разложим функцию $f(x,y)$ по формуле Тейлора в окрестности точки $(0,0)$. Учитывая условия (8), получим уравнение кривой L в виде:

$$f''_{xx}(0,0)x^2 + 2f''_{xy}(0,0)xy + f''_{yy}(0,0)y^2 + \dots = 0. \quad (10)$$

Учитывая условия (9), уравнение (10) имеет два решения:

$$\begin{aligned} x &= X_1(y) = y(k_1 + m_1 y^l + \dots), \\ x &= X_2(y) = y(k_2 + m_2 y^l + \dots), l > 0, l \in \mathbb{Z}, \end{aligned} \quad (11)$$

где k_1, k_2 – корни уравнения:

$$\begin{aligned} f''_{xx}(0,0)k^2 + 2f''_{xy}(0,0)k + f''_{yy}(0,0) &= 0. \\ \varepsilon X'_1(y) + \varepsilon^2 \alpha'(y) + \varepsilon^3 \beta'(y) &= T(X_1(y), y) + T'_x(X_1(y), y) \cdot \varepsilon \alpha(y) + \\ + T'_x(X_1(y), y) \cdot \varepsilon^2 \beta(y) + \dots \end{aligned} \quad (12)$$

Пусть для определенности $f''_{xx}(0,0) > 0$. Предположим, что если k_1, k_2 одного знака, то этот знак совпадает со знаком $f''_{xx}(0,0)$. Функции $X_1(y), X_2(y)$ определяют положения равновесия уравнения (7) при изменении параметра y , причем $X_1(y)$ – устойчиво при $y < 0$, $X_2(y)$ – устойчиво при $y > 0$. Отметим, что:

$$f'_x(X_1(y), y) = D \cdot y + o(y^2), f'_x(X_2(y), y) = -D \cdot y + o(y^2) \quad (13)$$

Так как $g(0,0) \neq 0$, разделим в системе (5) первое уравнение на второе и на интервале $-\delta < y < 0$ примем y за независимую переменную, δ – малое, положительное, не зависящее от ε число. В результате получим уравнение в виде:

$$\varepsilon \frac{dx}{dy} = \frac{f(x,y)}{g(x,y)} = T(x,y). \quad (14)$$

На участке $-\delta < y < 0$ представим решение $x(y, \varepsilon)$ уравнения (14) в виде:

$$x(y, \varepsilon) = X_1(y) + \varepsilon \alpha(y) + \varepsilon^2 \beta(y). \quad (15)$$

Подставим функцию $x(y, \varepsilon)$ в уравнение (14), разложив правую часть в ряд по степеням ε .

$$\begin{aligned} \varepsilon X'_1(y) + \varepsilon^2 \alpha'(y) + \varepsilon^3 \beta'(y) &= T(X_1(y), y) + T'_x(X_1(y), y) \cdot \varepsilon \alpha(y) + \\ + T'_x(X_1(y), y) \cdot \varepsilon^2 \beta(y) + \dots \end{aligned} \quad (16)$$

Приравнявая коэффициенты слева и справа при одинаковых степенях ε в равенстве (16), найдем $\alpha(y)$ и $\beta(y)$. Рассмотрим функцию $\alpha(y)$:

$$\alpha(y) = \frac{X'_1(y)}{T'_x(X_1(y), y)}, \quad (17)$$

где:

$$T'_x(X_1(y), y) = \frac{f'_x(X_1(y), y)}{g(X_1(y), y)}, \quad (18)$$

Поэтому $\alpha(y)$ можно представить в виде

$$\alpha(y) = \frac{X'_1(y) \cdot g(X_1(y), y)}{f'_x(X_1(y), y)}. \quad (19)$$

Учитывая равенства (13), получим, что $\alpha(y)$ имеет при $y=0$ полюс первого порядка :

$$\alpha(y) = \frac{k_1 \cdot g(0,0)}{D \cdot y} + \dots \quad (20)$$

Покажем, что функция $X_\varepsilon(y) = X_1(y) + \varepsilon\alpha(y)$ является асимптотическим приближением решения уравнения (14) на интервале $-\delta < y < -\Omega(\varepsilon)$. Теорема. Решение уравнения (14) $x = x(y, \varepsilon)$, удовлетворяющее начальному условию:

$$|x(-\delta, \varepsilon) - X_\varepsilon(y)| = o(\varepsilon^2) \quad (21)$$

можно представить в виде:

$$x(y, \varepsilon) = X_\varepsilon(y) + R(y, \varepsilon), \quad (22)$$

где $|R(y, \varepsilon)| \leq \frac{M\omega(\varepsilon)}{y^4}$, $-\delta < y < -\Omega(\varepsilon)$, M – достаточно большое значение, не зависящее от ε . Для доказательства рассмотрим две кривые:

$$(L_1) \quad x = X_\varepsilon(y) + \frac{M\omega(\varepsilon)}{y^4}, \quad (23)$$

$$(L_2) \quad x = X_\varepsilon(y) - \frac{M\omega(\varepsilon)}{y^4} \quad (24)$$

и вычислим в точках кривых (23) и (24) производную V в силу уравнения (14), умножив ее на ε :

$$\varepsilon V = \varepsilon \frac{dx}{dy} - \varepsilon X'_\varepsilon(y) \mp \varepsilon \left(\frac{M\omega(\varepsilon)}{y^4} \right)'. \quad (25)$$

Применяя формулу Тейлора и учитывая конкретный вид функции $\alpha(y)$, после ряда преобразований получим:

$$\varepsilon V = \pm T'_x(X_1(y), y) \frac{M\omega(\varepsilon)}{y^4} - \varepsilon^2 \alpha'(y) \pm \frac{4M\varepsilon\omega(\varepsilon)}{y^5} + \dots \quad (26)$$

Используя равенства (13), (18) и (20), представим εV в виде:

$$\varepsilon V = \frac{DM\omega(\varepsilon)}{y^3} \pm \frac{4M\varepsilon\omega(\varepsilon)}{y^5} + o\left(\frac{\varepsilon^2}{y^2}\right) + \dots \quad (27)$$

Полагая $\omega(\varepsilon) = \varepsilon^2$, $\Omega(\varepsilon) = \varepsilon^{\frac{1}{6}}$, $-\delta \leq y \leq -\Omega(\varepsilon)$, получим $\varepsilon V > 0$ в точках кривой L_2 и $\varepsilon V < 0$ в точках кривой L_1 .

Таким образом, решение уравнения (14), начальная точка которого находится в полосе между кривыми L_1 и L_2 , не может выйти из этой полосы при указанных значениях y . Если y меняется на интервале $-\delta < y < -\varepsilon^{\frac{1}{6}}$, то решение $x(y, \varepsilon)$ имеет вид:

$$x(y, \varepsilon) = X_1(y) + \varepsilon\alpha(y) + R(y, \varepsilon), \quad (28)$$

где $R(y, \varepsilon)$ – величина порядка не менее, чем $\varepsilon^{\frac{4}{3}}$.

Таким образом в статье рассмотрена задача получения асимптотического приближения решения возмущенной системы дифференциальных уравнений в случае, когда в уравнении «быстрых движений» при изменении параметра происходит бифуркация: два положения равновесия сливаются с последующей сменой устойчивости. Изучается качественный характер поведения решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений, когда малый параметр стремится к нулю на конечном отрезке времени, на котором медленная переменная проходит через некоторую точку, соответствующую бифуркации в системе «быстрых движений»: устойчивый предельный цикл сливается с неустойчивым и исчезает.

Список литературы

1. *Goodyear W.H.* A general method of variation of parameters for numerical integration // *Astron. J.* – 1965. Vol. 70, №5. – P. 524-526.
2. *Herrick S.* Universal variables // *Astron. J.* – 1965. Vol. 70, №4. – P. 309-315.
3. *Broucke R.* Perturbations in rectangular coordinates by iteration // *Celest. Mech.* – 1969. Vol. 1, №1. – P. 110-129.
4. *Szebehely U., Pierce D., Standish S.* A group of Earth to Moon trajectories with consecutive collisions // *Celest. Mech. and Astrodyn.* – 1964. Vol.14. – P. 35-51.
5. *Яров-Яровой М.С.* Аналитическая теория движения космического корабля к Луне // *Труды гос. астроном.инст. им. П. К. Штернберга.* –1967. – Т. 36. – С. 24-160.
6. *Petelina V.D.* About choosing the form of perturbed body motion differential equations system // *IOP Conf. Ser: Mater. Sci. and Eng.* – 2018. Vol. 456 – P. 012123.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И
КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (05.13.11)***05.13.11***В.И. Поляков канд. техн. наук, Ф.Ф. Зиннатулин**

Университет ИТМО

**ВЕРИФИКАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА
КОРПОРАТИВНОГО ПОРТАЛА**

В статье рассматривается вопрос верификации вычислительного процесса корпоративного портала. Данная проблема является актуальной ввиду огромного количества программного обеспечения, верификация которого позволяет определить степень качества данного программного обеспечения. Проблема верификации корпоративного портала является актуальной, т.к. корпоративный портал тесно интегрирован в корпоративную программную инфраструктуру компании, деятельность которой связана с информационными технологиями. Поэтому цель данной статьи – исследовать верификацию вычислительного процесса корпоративного портала.

Показаны разработанные модели верификации вычислительного процесса корпоративного портала: графоаналитическая модель вычислительного процесса корпоративного портала; программная модель верификации вычислительного процесса корпоративного портала.

Делается вывод о том, что корпоративный портал удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям, т.к. прошел верификацию вычислительного процесса успешно.

Ключевые слова: корпоративный портал, требования корпоративного портала, верификация, вычислительный процесс корпоративного портала, программная модель вычислительного процесса, графоаналитическая модель вычислительного процесса.

Введение

Верификация вычислительного процесса является важным этапом в жизненном цикле программного обеспечения. В последнее время появляется необходимость создания новых инструментов верификации, которые могут быть реализованы с помощью широкого набора языков программирования ввиду нарастания программного обеспечения. Комплексные программы, направленные на развитие Интернет-технологий федерального (РФ, США) и международного (ООН, ЮНЕСКО и др.) уровней получают ежегодные ассигнования до 2 млрд долларов США и выше, значительную часть которых составляют расходы на НИОКР [1]. Ввиду этого актуальность в создании программных средств автоматизации верификации вычислительного процесса не спадает. Одним из таких программных средств, для которого требуется провести верификацию вычислительного процесса, является корпоративный портал, являющийся важным атрибутом программного контекста компании. Таким образом возникает необходимость проведения верификации вычислительного процесса корпоративного портала.

Решение

Ранее в работах [2, 5, 6] была отмечена верификация графоаналитических моделей вычислительных процессов в САПР, верификация параллельных автоматных программ, а также рассмотрен метод формальной верификации программ для виртуальной лаборатории "машина Поста", однако не была рассмотрена верификация вычислительного процесса корпоративного портала. Авторы взялись за эту работу, потому что она не была рассмотрена. Корпоративный портал может быть связан со своим вычислительным процессом путем

вызова подготовленных динамических подключаемых модулей [7]. Далее представлен метод верификации вычислительного процесса корпоративного портала. Для верификации программы необходимо задаться критерием ее правильности для точного описания того, что должно быть выполнено в результате выполнения программы. Требования, предъявляемые к корпоративному portalу должны содержать следующие пункты:

1. Проводить мониторинг задач сотрудника компании.
2. Анализировать данные сотрудника компании.
3. Минимизировать свой набор составных модулей.
4. Осуществлять доступ к документации.

Мониторинг выполнения задачи позволяет проверить время выполнения задачи. Для выполнения верификации программы необходимо использовать формальный метод. Формальные методы все шире используются для обеспечения качества программного обеспечения [5]. Одним из направлений формализации верификации вычислительных процессов является использование описания графоаналитических моделей.

Графоаналитическая модель вычислительного процесса представлена на рис. 1:

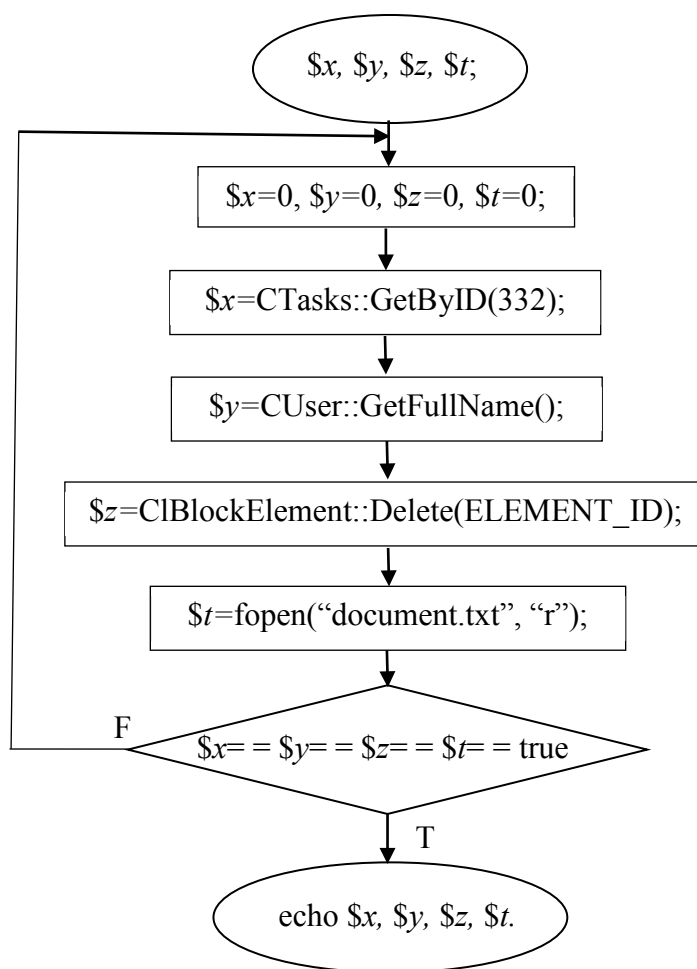


Рис. 1 – Графоаналитическая модель верификации корпоративного портала.

Графоаналитическая модель содержит 2 типа вершин: условные, содержащие условие-предикат, и линейные, содержащие выражения для преобразования входных значений. По программной реализации данного вычислительного процесса восстанавливается описание ГАМ. Реализация на языке программирования PHP представлена на рис. 2:

```

<?php
a:
function initValues(){
    $x = 0, $y = 0, $z = 0, $t = 0;
}

function setValues(){
    $x = CTasks::GetByID(332);
    $y = CUser::GetFullName();
    $z = CIBlockElement::Delete(ELEMENT_ID);
    $t = fopen("document.txt", "r");
}

if($x == true){
    if($y == true){
        if($z == true){
            if($t == true){
                echo $x, $y, $z, $t;
            }
            else goto a;
        }
        else goto a;
    }
    else goto a;
}
else goto a;

```

Рис. 2 – Программная модель, реализованная с использованием языка PHP.

В зарубежных исследованиях, а именно Ousama Esbel в своей работе “Hardware/Software Verification process through cloud computing” отмечает, что верификация вычислительного процесса в облачных ресурсах ложится на сетевые ресурсы, установку, выполнение, безопасность, и обновление системы [8]. Однако верификация вычислительного процесса корпоративного портала в данной работе не рассматривается.

Корпоративный портал находится в корпоративной инфраструктуре компании. С помощью корпоративного портала пользователь может получить доступ к различным информационным ресурсам компании, корпоративный портал является одним из инструментов работы с программным массивом компании.

Заключение

Корпоративный портал является одним из модулей программного контекста корпоративной программной инфраструктуры компании. Работники компании получают доступ к корпоративным информационным ресурсам в корпоративном портале. Верификация вычислительного процесса корпоративного портала выполняет важную роль для обеспечения работы программных модулей корпоративного портала. Графоаналитическая модель и программная модель являются главными сущностями процесса верификации вычислительного процесса корпоративного портала. В процессе верификации вычислительного процесса программной модели корпоративного портала было выявлено, что все предъявляемые требования к корпоративному portalу были выполнены.

Список литературы

1. Зыков С.В. Теоретические и методологические основы построения корпоративных порталов // Исследовано в России. 2005. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-i-metodologicheskie-osnovy-postroeniya-korporativnyh-portalov> (дата обращения: 11.03.2021).
2. Зыков А.Г., Безруков А.В., Немолочнов О.Ф., Поляков В.И., Андронов А.В. Графо-аналитические модели вычислительных процессов в САПР // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2011. №4 (74). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/graf-analiticheskie-modeli-vychislitelnyh-protsessov-v-sapr> (дата обращения: 17.03.2021).
3. Винниченко И.В. Автоматизация процессов тестирования. СанктПетербург, Питер, 2005, 203 с.
4. Канер С., Фолк Дж., Нгуен Е.К. Тестирование программного обеспечения. Киев, «ДиаСофт», 2001, 544 с.
5. Лукин М.А. Верификация параллельных автоматных программ // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. №1 (89). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/verifikatsiya-parallelnyh-avtomatnyh-programm> (дата обращения: 11.03.2021).
6. Лямин А.В. Метод формальной верификации программ для виртуальной лаборатории "машина Поста" // Информационно-управляющие системы. 2018. №2 (93). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-formalnoy-verifikatsii-programm-dlya-virtualnoy-laboratorii-mashina-posta> (дата обращения: 16.03.2021).
7. Дроздин В.В., Кондрашин М.В., Симакин В.О., Шалаев А.А. Модель организации вычислительного процесса в самоорганизующейся информационной системе // Вестник УГАТУ = Vestnik UGATU. 2014. №3 (64). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-organizatsii-vychislitelnogo-protsessa-v-samoorganizuyuscheysya-informatsionnoy-sisteme> (дата обращения: 11.03.2021).
8. Esbel, Ousama & Christian, Ng. (2016). Hardware/Software Verification Process through Cloud Computing. Lecture Notes on Software Engineering. 4. 123-128. 10.7763/LNSE.2016.V4.236.c

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

05.13.18

А.В. Волков канд. техн. наук, С.Н. Ивлиев канд. техн. наук, Р.Р. Биктякова

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева,
Институт электроники и светотехники,
кафедра информационной безопасности и сервиса,
elsoldador@rambler.ru, ivliev_sn@mail.ru, biktyakovav@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОШИБОК МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ**

В нашем исследовании поставлена задача нейросетевой параметрической идентификации нелинейных динамических моделей на основе экспериментальных данных. Также необходимо сформировать на его основе обучающие выборки с последующим обучением динамической и статической нейронных сетей. Предложен анализ не только полученных в ходе обучения нейронной сети параметров модели, но и ошибок обучения. Проведена апробация предложенного алгоритма для идентификации нелинейной модели натриевой лампы высокого давления.

Ключевые слова: Ошибки моделирования, нелинейная динамическая модель, динамическая нейронная сеть, натриевая лампа высокого давления.

1. Введение

Рынок в России обладает огромным потенциалом, поскольку находится на начальной стадии развития. Инновации, рекомендованные светотехническим кластером, в настоящее время не уступают мировым в области энергоэффективности, но они также доступны по цене.

Разработка автоматизированных систем управления производством для различных осветительных приборов приведет к значительной экономии энергии и снижению затрат на техническое обслуживание и изготовление систем освещения.

Надежность первичной информации обеспечивается только непрерывной синхронной записью каждого факта несогласованности и ее причин в реальном времени. Это основной принцип точного учета качества. Очевидно, что требование надежности может быть выполнено в случае, когда статистические методы встроены в систему учета управления производством.

Для практической реализации принципа полного учета качества мы предлагаем ввести новые аналитические параметры, которые ранее не использовались (измерению должны подвергаться не только напряжение на лампе, но и текущие значения для получения более достоверной информации о процессе всего контроля качества НЛВД системы).

Основой для разработки вышеуказанных принципов может быть также классификация дефектов и их причин в зависимости от степени влияния на потребительские свойства продуктов, предложенная В. Мишиным [1].

Обращаясь к производству НЛВД, необходимо учитывать как основные параметры, используемые для проверки продукта, так и дополнительные для улучшения качества продукции и контроля процесса на каждом этапе производства, а также ошибки идентификации [2].

2. Постановка задачи идентификации

Для построения математической модели использовались расчетные и экспериментальные осциллограммы напряжения и тока лампы.

Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют собой новую и весьма перспективную вычислительную технологию, позволяющую в ряде случаев весьма эффективно решать вычислительные задачи в самых различных областях человеческой деятельности.

Реализация нелинейных законов и алгоритмов управления. Реализация таких законов вытекает из обобщенной аппроксимационной теоремы Стоуна – Вейерштрасса, согласно которой для любой непрерывной функции на отрезке можно подобрать последовательность многочленов, равномерно сходящихся к этой функции на отрезке [3]. Отсюда вытекают универсальные аппроксимационные свойства многослойных нейронных сетей, играющие ключевую роль в формировании нелинейных алгоритмов управления. Проблема подхода с нейронными сетями основана на известной теореме А.Н. Колмогорова [4] о представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиции непрерывных функций переменной и операции сложения, затем обобщенной Хехтом-Нильсеном [5], примененной к нейронным сетям. Эта теорема послужила теоретическим обоснованием возможного применения многослойных нейронных сетей для формирования законов нелинейного управления в динамических системах.

В отличие от традиционных методов оптимального управления, использование нелинейных законов, нейронных сетей, благодаря своей структуре и алгоритмам обучения, позволяет решать нелинейные задачи теории управления, которые не всегда могут быть полностью решены аналитическими методами. Способность формировать сложные нелинейные законы делает искусственные нейронные сети подходящей средой для уровня сложности нелинейной задачи управления и контроля.

3. Реализация задачи идентификации

Рассмотрим построение и обучение двухслойной динамической нейронной сети с линейными функциями активации, моделирующей работу натриевой лампы высокого давления (НЛВД). Изменение параметров происходит за счет изменения параметров переменных, входящих в уравнение (1). Требования к уравнениям дифференциальной модели лампы были сформулированы в работе [6].

$$\begin{cases} \frac{dg_{\text{л}}}{dt} = A_{\text{л}} U_0^2 \frac{\left(\frac{i_{\text{л}}}{\beta U_0}\right)^2 - g_{\text{л}}^2}{1 + k_1 \left(\frac{|i_{\text{л}}|}{\beta g_{\text{л}} U_0} - 1\right)}, \\ \frac{d\beta}{dt} = \left[k_2 + k_3 \left(\frac{|i_{\text{л}}|}{\beta g_{\text{л}} U_0}\right)^{k_4} \right] \cdot \left[1 + k_1 \left(\frac{|i_{\text{л}}|}{\beta g_{\text{л}} U_0} - 1\right) - \beta \right], \end{cases} \quad (1)$$

В результате получена нейронная сеть со структурой, показанной на рисунке 1. В первом слое использовались два нейрона, во втором – один. Ошибка обучения такой сети (рисунок 2) практически равна нулю.

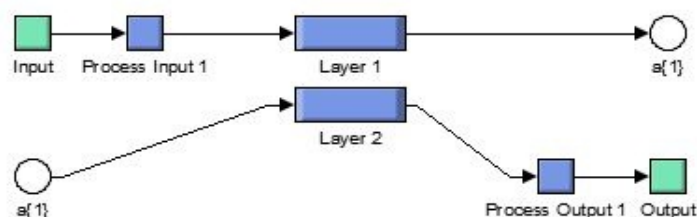


Рис. 1 – Структура нейронной сети (двухслойная нейронная сеть)

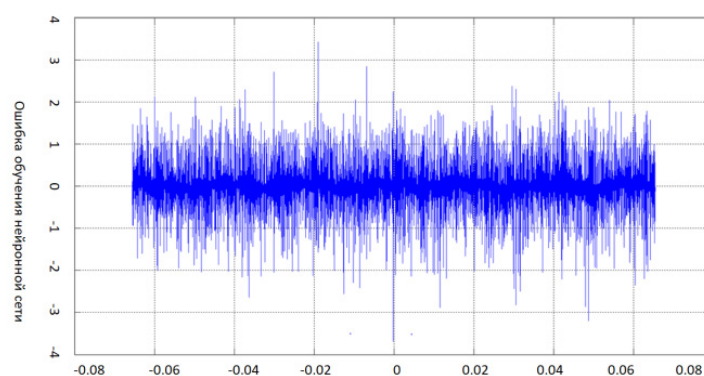


Рис. 2 – Ошибка обучения нейронной сети для исправной лампы

При этом следует отметить, что ошибка обучения нейронной сети представленная на рисунке 2, характерна для исправной лампы. На рисунке 3 представлена ошибка обучения нейронной сети, имеющая отклонение значительно больше, чем представленное на графике (рисунок 2). Это связано с тем, что данные, использованные при обучении нейронной сети, были получены с заведомо неисправной лампы. Характерным является наличие периодической составляющей, вызванной резонансными процессами, происходящими внутри самой лампы.

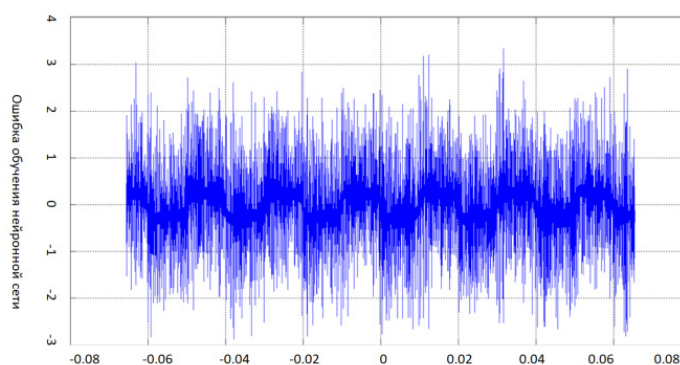


Рис. 3 – Ошибка обучения нейронной сети неисправной лампы

Выводы

1. Поставлена задача исследования ошибок моделирования, выявленных в ходе нейросетевой параметрической идентификации нелинейных динамических моделей натриевых ламп высокого давления. Задача заключается в получении отображения экспериментальных данных модели в её параметры с помощью нейронных сетей.

2. Экспериментальная проверка предложенного метода нейросетевой параметрической идентификации на примере модели натриевой лампы высокого давления показала, что наличие дефекта внутри лампы можно выявить не только алгоритмами, указанными в [7], но и по результатам анализа ошибок обучения. Такой подход позволяет существенно облегчить задачу параметрической идентификации, при серийном производстве готовых изделий, существенно снизив ошибки первого и второго рода.

Список литературы

1. Мишин В.М. Управление качеством: учеб. для студ. вузов, обучающихся по спец. «Менеджмент организации» (061100) / В.М. Мишин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2005. – 463 с.
2. Ульянова Н.В. Тенденции развития методологии управления качеством и формирование принципов учета качества / Н.В. Ульянова // Аудит и финансовый анализ. – №4. – 2014. – С. 44–51.
3. Фёдорова В.П. Теорема Стоуна–Вейерштрасса и пространства мер / В.П. Фёдорова // Матем. заметки. – 2002. – Т. 72, вып. 3. – С. 455–467.
4. Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиции непрерывных функций одного переменного и сложения / А.Н. Колмогоров // Докл. АН СССР. – 1957. – Е. 114. – № 5. – С. 953–956.
5. Hecht-Nielsen R. Kolmogorov's Mapping Neural Network Existence Theorem / R. Hecht-Nielsen // IEEE First Annual Int. Conf. on Neural Networks. – 1987. – Vol. 3. – P. 11–13.
6. Харченко В.Ф. Модифицированная модель нестационарных режимов разрядной лампы высокого давления с индуктивным балластом / В.Ф. Харченко, А.А. Якунин // Світлотехніка та електроенергетика. – 2012. – № 2 (30). – С. 4–12.
7. Semenov A.D., Volkov A.V., Shchipakina N.I. Operational control algorithm of parameters of high-pressure sodium lamps based on a statistical time series model / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – 971(3). – 032084. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/971/3/032084>.

05.13.18

А.В. Волков канд. техн. наук, С.Н. Ивлиев канд. техн. наук, Т.А. Захватова

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

ДВУКРАТНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ

Алгоритм параметрической идентификации заключается в отображении множества параметров модели при оценке этих параметров через ту или иную идентификационную процедуру. Предлагается предварительное обучение первой нейросети по экспериментальным данным и использование ее синаптических коэффициентов для обучения второй нейронной сети. Обучение производится посредством анализа данных, полученных в ходе обучения нейронной сети, а также параметров модели.

Ключевые слова: *Двукратная идентификация, нелинейная динамическая модель, динамическая нейронная сеть, натриевая лампа высокого давления.*

1. Введение

Процесс производства ламп представляет собой длинный технологический маршрут, который включает в себя такие этапы, как подготовка колб, проверка их на механическую прочность, зеркалирование колб. Параллельно с этим происходит изготовление деталей монтажа, ножки, цоколя. Затем производится сборка ламп, их проверка на механическую прочность.

После изготовления, как и любые другие источники света, перед отгрузкой потребителю эти лампы должны пройти процесс стендовых испытаний и разбраковки. Испытания заключаются во включении ламп на заданное время с контролем их параметров. Контроль состоит в измерении напряжения на лампах и сравнении полученных значений напряжений со значениями, определяемыми техническими требованиями. Если измеренное значение не укладывается в необходимый диапазон, то лампа отбраковывается.

2. Двумерная нейросетевая аппроксимация обратного оператора параметрической идентификации

Алгоритм параметрической идентификации заключается в отображении множества параметров модели θ в оценку этих параметров $\hat{\theta}$ через ту или иную идентификационную процедуру. Традиционно такая процедура осуществляется в три этапа. На первом этапе формируется массив входных переменных модели U , обладающий статистическими характеристиками, близкими к характеристикам белого шума. Это условие необходимо для улучшения сходимости оценок модели при идентификации. На втором этапе исходные параметры модели с помощью физического (на объекте), или вычислительного (на модели) эксперимента отображаются в множество переменных состояния модели X и выходных переменных Y . На третьем этапе множества входных U и выходных X, Y переменных с помощью идентификационной процедуры отображаются в оценку множества параметров модели $\hat{\theta}$.

Не снижая общности рассуждений, будем полагать, что исследуемая динамическая модель полностью наблюдаема, в противном случае в качестве множества выходных переменных следует использовать массив переменных состояния X .

В такой постановке задача идентификации является обратной к задаче моделирования исследуемой динамической модели. Прямая задача заключается в нахождении массива выходных переменных Y по заданным массивам входных переменных U и параметров θ модели. Обратная задача, задача идентификации, наоборот, заключается в нахождении массива оценки параметров модели $\hat{\theta}$ по массивам её входных U и выходных Y переменных, что можно изобразить следующими структурами.

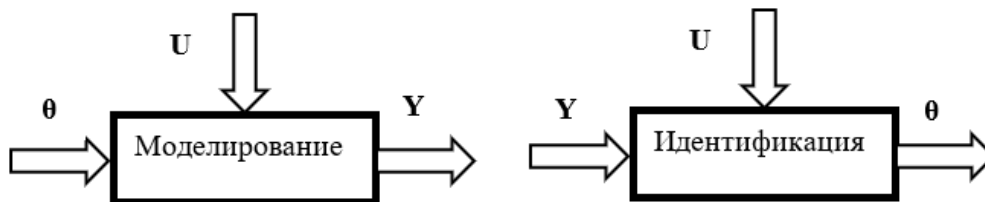


Рис. 1 – Структурные схемы моделирования и идентификации динамических моделей

Очевидно, что, как и при решении любой обратной задачи возникают вопросы существования, корректности и физической реализуемости обратного оператора, обеспечивающего нахождение массива оценки параметров модели $\hat{\theta}$. При решении таких задач широко используется метод регуляризации А.Н. Тихонова [1].

В рассматриваемом случае для повышения точности и сходимости оценок предложено использовать метод двумерной нейросетевой аппроксимации обратного оператора, реализующего процедуру идентификации.

В соответствии с этим методом построение обратного оператора осуществляется путем объединения двух нейронных сетей. Первая нейронная сеть по обучающей выборке выходных U , выходных Y переменных и переменных состояния X , сгруппированных в обучающую выборку

$$\begin{aligned} P_r &= [X, Y, U]; \\ T_r &= Y; \end{aligned} \quad (1)$$

$$X = X(t); Y = Y(t); U = U(t),$$

где X , Y , U – массивы расчётных данных, включающие все переменные модели, полученные в каждом из N опытов плана эксперимента, отображает в результате обучения массивы P_r, T_r в массив синаптических и весовых коэффициентов первой нейронной сети W_k .

$$[P_r, T_r] \xrightarrow{\text{Обучение}} W_k$$

Вторая нейронная сеть по обучающей выборке, составленной из массива синаптических коэффициентов и массива параметров модели θ , полученных в результате вычислительного эксперимента

$$\begin{aligned} P_c &= W_k; \\ T_c &= \theta, \end{aligned} \quad (2)$$

вычисляет оценку параметров модели $\hat{\theta}$.

$$[W_k, \theta] \xrightarrow{\text{Обучение}} \hat{\theta}$$

Принимая во внимание мощные аппроксимирующие возможности нейронных сетей, следует ожидать высокую точность параметрической идентификации.

3. Алгоритм параметрической идентификации.

Предлагается следующий алгоритм получения отображения [2].

1. На математической модели (1) при варьировании параметров θ проводится эксперимент (например полнофакторный эксперимент 2^N , где N – размерность вектора θ), и формируется выборка параметров модели θ и выборки с массивом входов P_r и массивом выходов T_r для построения имитационных моделей (5).

2. На выборке P_r, T_r осуществляется построение имитационной модели и формируется матрица ее параметров W_r . В качестве имитационной модели используется нейронная сеть, у которой роль идентифицируемых параметров играют синаптические коэффициенты W_r , хотя в принципе можно использовать любую динамическую модель.

3. Формируется новая обучающая выборка для обучения второй статической нейронной сети (6).

4. Проводится обучение второй статической сети и вычисляется оценка вектора параметров $\hat{\theta}$ модели (1) в каждом из N экспериментов.

5. На вход полученной имитационной модели (первую обученную нейронную сеть) подаются экспериментальные осциллограммы (2), которые не участвовали в обучающих экспериментах, и вычисляется вектор параметров имитационной модели (синаптические коэффициенты нейронной сети) w_r для текущего состояния объекта.

6. Полученные коэффициенты подаются на вход второй нейронной сети и вычисляется оценка вектора параметров модели для текущего состояния реального объекта $\hat{\theta}$.

Можно отметить хорошее совпадение расчётных данных модели (1) [2] с данными, полученными в результате идентификации, проведённой на реальном объекте в результате физического эксперимента. Причем ошибка идентификации, возникающая при физическом эксперименте, меньше ошибки идентификации вычислительного эксперимента.

Выводы

1. Поставлена задача параметрической идентификации нелинейных моделей, заключающаяся в получении отображения экспериментальных данных модели в её параметры с помощью нейронных сетей.

2. Предложена нейронная сеть, состоящая из комбинации динамической и статической нейронной сети, в которой синаптические коэффициенты динамической нейронной сети подаются на вход статической нейронной сети.

3. Экспериментальная проверка предложенного метода нейросетевой параметрической идентификации на примере модели натриевой лампы высокого давления показала, что среднеквадратичное отклонение тока и напряжения от номинальных значений не превышает 5 % для напряжения и 11% для тока.

4. Учитывая хорошую аппроксимирующую способность нейронных сетей, предложенный алгоритм и нейронные сети можно рассматривать как эффективный метод идентификации.

Список литературы

1. Сумин М.И. Метод регуляризации на компактных множествах для решения операторных уравнений первого рода : учебно-методическое пособие / М. И. Сумин. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2016. — 37 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153296> (дата обращения: 07.09.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. *Semenov A.D., Volkov A.V., Shchipakina N.I.* Operational control algorithm of parameters of high-pressure sodium lamps based on a statistical time series model / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 971(3), 032084 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/971/3/032084>.
3. Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиции непрерывных функций одного переменного и сложения / А.Н. Колмогоров // Докл. АН СССР. – 1057. –Е. 114. – № 5. – С. 953–956.

05.13.18

А.В. Колсанов, С.С. Чаплыгин,
А.В. Захаров, С.В. Ровнов, 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 ПРЕДИКТИВНОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ЗАДАЧАХ НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ

В статье описывается оригинальная модель предиктивной виртуальной реальности, основанная на трехмерной симуляции органов человека и их динамики с помощью временных потоков событий. Приведены результаты успешного применения модели раннем реабилитационном периоде ишемического инсульта. Предложенная модель позволяет определять зависимости объектов и сцен виртуальной реальности на практике при решении разнообразных задач нейрореабилитации.

Ключевые слова: *дополненная реальность, оптический трекинг, нейрореабилитация.*

В настоящее время виртуальная реальность широко используется в задачах нейрореабилитации [1, 2]. В основе персонифицированного подбора реабилитационных мероприятий с использованием адаптированной среды виртуальной реальности [3, 4] лежит поиск индивидуальных предпочтений реабилитированного демонстрируемым контентом.

Для реализации аппаратно-программного комплекса нейрореабилитации пациентов после инсульта [5, 6] была разработана модель предиктивной виртуальной реальности. Модель основывается на симуляции трехмерной сцены, реализующей высокореалистичное отображение органов человека (см. Рис. 1) и позволяет реализовать настройку параметров визуализации движения верхней конечности в зависимости от исходного уровня двигательного дефекта.

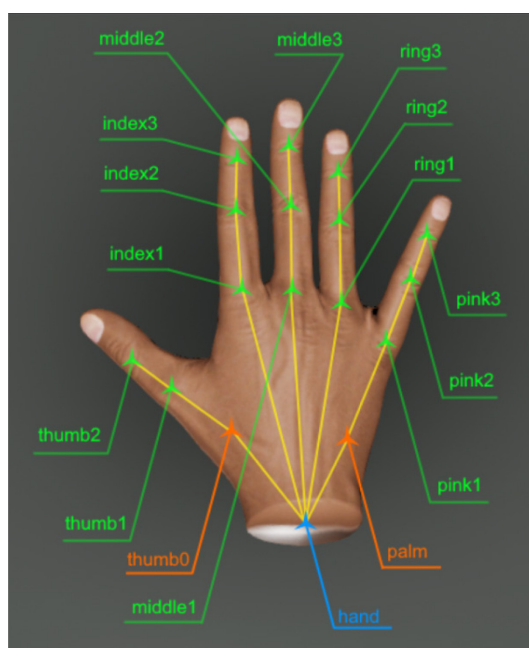


Рис. 1 – Трехмерная модель руки для системы виртуальной реальности

Для моделирования динамических изменений частей тела человека объекты сцены, например фаланги пальцев, моделируются с помощью геометрических примитивов:

$$g_{i,j} = g_{i,j}(w_i, c(x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}), r_{i,j}) = \{0, 1\}, \quad (1)$$

где w_i - объект сцены, $c(x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}), r_{i,j}$ - центр и радиус сферы, характеризующей размер и расположение в пространстве.

Таким образом, можно указать фактическое и ожидаемое положения соответственно для каждой части тела человека.

Тренировочные, обучающие и реабилитационные упражнения пациента описываются потоками событий ожидаемых и реальных действий. Наблюдаемые действия пациента u_m опишем потоком событий:

$$e_{m,n,i,j} = e_{m,n,i,j}(u_m, g_{i,j}, t_{m,n,i,j}) = \{0, 1\}, \quad (2)$$

где $t_{m,n,i,j}$ - время события.

Ожидаемые (целевые) действия опишем с помощью потока событий:

$$e'_{m,k,i,j} = e'_{m,k,i,j}(u_m, g'_{i,j}, t'_{m,k,i,j}) = \{0, 1\}. \quad (3)$$

Система должна мотивировать пользователя совершать определенные действия и, таким образом, генерировать поток событий, который приводит к достижению цели. Целевая последовательность требуемых позиций может быть сгенерирована либо экспертом, либо автоматически на основе текущего состояния пациента. Качество манипуляции характеризуется минимальным суммарным отклонением положения и времени:

$$\Delta Q(u_m) = \sum_n \sum_k \sum_i \sum_j e_{m,n,i,j} \cdot e'_{m,k,i,j} \cdot \delta(g_{i,j}, g'_{i,j}) \rightarrow \min,$$

$$\Delta T(u_m) = \sum_n \sum_k \sum_i \sum_j e_{m,n,i,j} \cdot e'_{m,k,i,j} \cdot |t_{m,n,i,j} - t'_{m,k,i,j}| \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $\delta(g_{i,j}, g'_{i,j})$ характеризует отклонение наблюдаемого положения моделируемого объекта от заданного.

Это означает, что для решения задачи реабилитации в среде предиктивной виртуальной реальности необходимо генерировать целевой поток событий, который вдохновляет пользователя выполнять необходимые действия в нужное время.

Данная модель была успешно апробирована на практике. Наиболее перспективными пациентами для изучения эффектов использованной технологии на восстановление двигательных нарушений являлись пациенты с перенесенным острым нарушением мозгового кровообращения в бассейне средней мозговой артерии. Выбор данной категории пациента был обусловлен тем, что у них наблюдалось изолированное повреждение двигательной функции при относительной сохранности остальных сенсорных систем, в том числе и структур отвечающих за зрительное восприятие.

В исследование было включено 10 пациентов в раннем реабилитационном периоде ишемического инсульта, находившихся на лечении в неврологическом отделении для больных с ОНМК Регионального сосудистого центра Самарской областной клинической больницы им. В.Д. Середавина с марта 2021 г. по август 2021 г. Исследование получило одобрение локального этического комитета (протокол № 25 от 02.02.2021).

Все пациенты получали терапию ишемического инсульта и сопутствующих заболеваний в соответствии со стандартами оказания медицинской помощи, а также проводились реабилитационные мероприятия в соответствии с индивидуальными особенностями. Исследование включало в себя два визита, на которых проводилась оценка по шкалам исследования, на 2-3 день, соответствующего включению в исследование и на 14-21 день от момента поступления в стационар (что соответствовало дате выписки), являющийся визитом

завершения участия в исследовании. В течение всего исследования проводилась непрерывная оценка любых нежелательных явлений. На первом визите исследования проводилась рандомизация пациентов в группу сравнения или исследуемую группу.

Пациенты группы сравнения получали медикаментозную терапию в рамках стандарта оказания медицинской помощи пациентам в реабилитационном периоде после ОНМК. Данные пациенты также получали на реабилитацию с использованием технологии виртуальной реальности при демонстрации испытываемому виртуальные среды, не имеющей биологически обратной связи с исходным неврологическим двигательным дефектом реабилитируемого. Таким образом, пациенту демонстрировался полный объем движений верхних или нижних конечностей в зависимости от решаемой реабилитационной задачи в имплицитном режиме. Пациент не мог управлять активностью виртуального аватара (анимированными движениями).

Пациенты группы исследования получали возможность эксплицитного взаимодействия с виртуальной реальностью опосредованно анимации движения виртуального аватара. Объем данной анимации контролировался посредством ЭМГ датчиков, а также оптического трекера, позволяя осуществлять контролируемую визуализацию объема действий, исходя из исходных параметров амплитуды движения верхней или нижней конечности, которая обуславливалась выраженностью неврологического дефицита, а именно степенью снижения мышечной силы. Длительность занятий составляла 10 дней по 20 - 25 минут ежедневно.

Пациенты получали инструкцию, зависящую от двигательного дефекта верхней и нижней конечности. По мере совершения иных реабилитационных движений, а именно при последующих занятиях в рамках процедуры двигательной реабилитации, изменялись коэффициенты чувствительности ЭМГ и оптических датчиков. Это позволяло анимировать движения руки в различных отделах (плечо, предплечье, кисть, отдельные фаланги), мотивируя реабилитируемого прикладывать большие усилия для достижения физиологического объема движений в том или ином составе.

На рисунке 2 отображена динамика значения шкалы ARAT у пациентов сравниваемых групп. Достоверные различия свидетельствуют о более полном восстановлении функции верхней конечности, в том числе и ее дистальных отделов, а именно кисти. Это значительно увеличивает степень функционирования верхней конечности и значительно повышает независимость пациента. Положительная динамика может свидетельствовать об активации нейропластичности в контралатеральном полушарии (в полушарии с зоной ишемии), т.к. именно там максимально представлены дистальные отделы конечности, в частности руки.

Полученные данные демонстрируют положительный эффект дополнительного использования предиктивной виртуальной реальности у пациентов в остром периоде ишемического инсульта, основывающийся в первую очередь на регрессе двигательных нарушений. Основные положительные эффекты проводимой терапии реализуются за счет регресса двигательных нарушений как верхней, так и нижней конечностей.

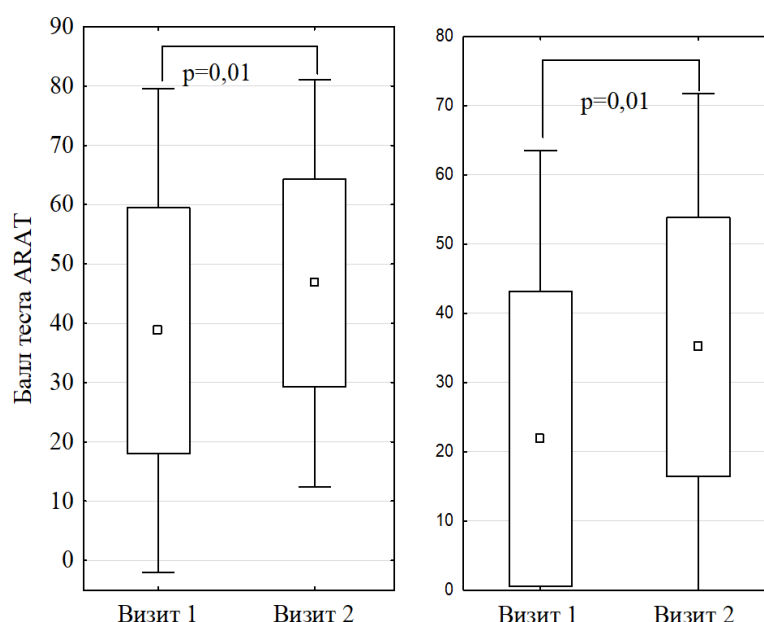


Рис. 2 – Динамика значений теста ARAT в группе исследования (слева) и в группе сравнения (справа)

Тщательная оценка двигательной функции продемонстрировала корреляцию выраженности двигательных нарушений верхней конечности на прогностическую оценку у пациентов после перенесенного ишемического инсульта. На протяжении всего времени исследования не было зарегистрировано каких-либо нежелательных явлений, что соответствует высокому профилю безопасности используемой методики.

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. Aramaki A., Sampaio R., Reis D., Cavalcanti A., Silva e Dutra F. Virtual reality in the rehabilitation of patients with stroke: an integrative review // *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*. Vol. 77. – 2019. - pp. 268 – 278
2. Tieri G., Morone G., Paolucci S., Iosa M. Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies // *Expert Review of Medical Devices*, 15:2. – 2018. - pp. 107 – 117
3. Virtual and Augmented reality: concepts, methodologies, tools and applications. IGI Global USA, 2018. - 1845 p.
4. Ha H-G., Hong J. Augmented Reality in medicine // *Hanyang Medical Reviews*, 36(4). – 2016. – pp. 242 – 247
5. Kolsanov A., Chaplygin S., Rovnov S., Ivaschenko A. Augmented Reality application for hand motor skills rehabilitation // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 11, No. 4. - 2020. – pp. 51 – 57
6. Kolsanov A., Chaplygin S., Rovnov S., Ivaschenko A. Hand motion capturing and simulation in medical rehabilitation applications // *Communications in Computer and Information Science*, Vol. 1170. – 2020. – pp. 125 – 134

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

CFD - МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПОТОКА В СТАТИЧЕСКИХ СМЕСИТЕЛЯХ SULZER SMRX

Приводятся результаты численного моделирования гидродинамики потока в статических смесителях Sulzer SMRX. Показано, что величина перепада давления увеличивается линейно со скоростью и что этот эффект усиливается с числом смесительных элементов в области потока. Анализ результатов перепада давления, характер движения частиц на выходе из канала и линий тока показал, что оптимальным углом пересечения труб смесительного элемента SMRX равна 90° .

Ключевые слова: гидродинамика, SMRX статические смесители; численное моделирование; смешение.

Введение

Особое место в многообразии статистических смесителей (СС) занимают СС Sulzer (СС3) – как признанный мировой лидер. Процесс перемешивания в этих смесителях носит упорядоченный характер и определяется геометрической структурой периодически повторяющихся пересекающихся каналов[1].

Целью работы является численное моделирование гидродинамики потока в СС3. В качестве инструмента исследования выступает вычислительный программный комплекс ANSYS FLUENT [2].

В представленной работе проводилось численное 3D-моделирование стационарного течения однофазной несжимаемой ньютоновской среды, вязкость которой $\mu=1.46$ Па с, плотность $\rho = 1053$ кг м³, в прямоугольном канале, заполненном одной или двумя смесительными элементами SMRX. Смесительные элементы SMRX представляют собой решетчатую конструкцию из пересекающихся полос, применяются для перемешивания или эмульгирования в вязких потоках и для обработки термолабильных жидкостей в производстве и переработке полимеров (экструдеры, литьевые машины и др.), а также в задачах смешения жидкостей с существенно различной вязкостью. Конструкция одного смесительного элемента SMRX представлена на рис. 1а

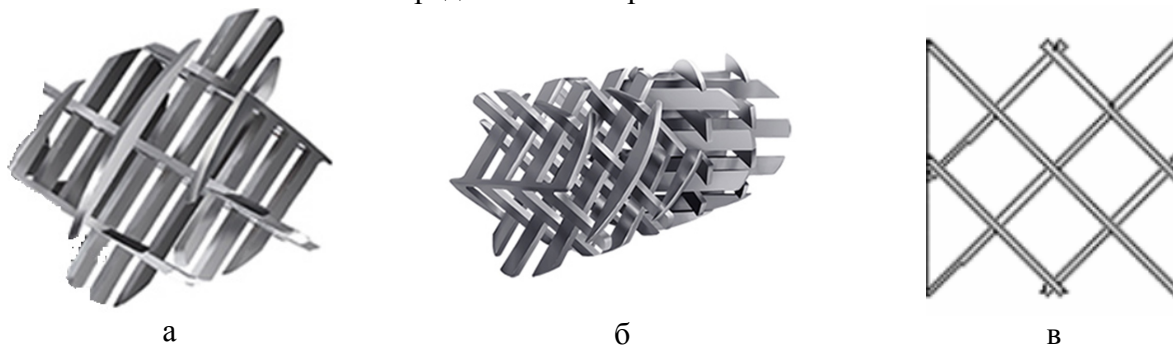


Рис. 1 – Смесительный элемент SMRX в прямоугольном канале[3].

CFD-моделирование

Решалась система осредненных уравнений Навье-Стокса с уравнениями неразрывности и двухпараметрическими моделями турбулентности. Использовался усовершенствованный алгоритм, включающий законы распределения осредненной скорости в пограничном слое и формулы расчета параметров турбулентности в пограничном слое. Решение разностных

уравнений проводилось с помощью решателя segregated, обеспечивающего решение с последующей коррекцией поля скорости и давления. Как правило, невязки по уравнению неразрывности при этом не превышали величины 10^{-10} . Детальное описание метода решения, постановки задачи, условий однозначности, визуализация параметров исследуемых течений приводится в [4,5].

Для подтверждения адекватности численных расчетов проведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными [6].

На рис. 2,а приводятся экспериментальные данные авторов [6], и результаты численного эксперимента для ССЗ с одним смесительным элементом в прямоугольном канале, как показано на рис. 1,а. 20%-ое несоответствие между экспериментом и результатом численных расчетов можно считать удовлетворительной для такой сложной геометрии.

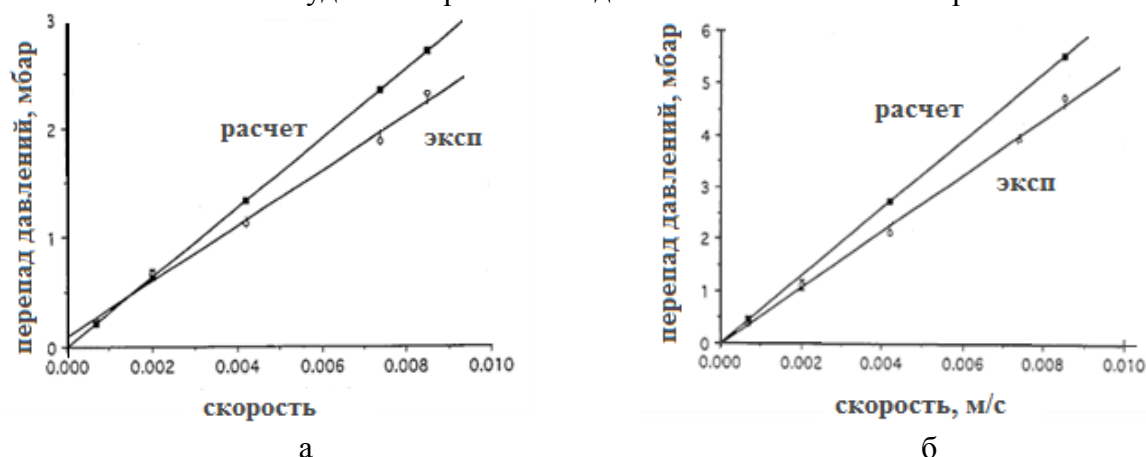


Рис.2 – Зависимость перепада давления от средней скорости для ССЗ с одним (а) и двумя (б) смесительными элементами. Угол пересечения труб $\theta = 90^\circ$

На рис. 1,б приводится конструкция статического смесителя с двумя смесительными элементами. Из рисунка видно, что для смесителя, состоящего из нескольких смесительных элементов каждый следующий элемент повернут на 90° вокруг оси потока относительно предыдущего. Результаты численного эксперимента по перепаду давления для ССЗ с двумя смесительными элементами показаны на рис. 2,б.

Прямая пропорциональность между значением перепада давления и скоростью, найденной для ламинарного течения в трубе, следует из классического источника [7]. Проведенное сопоставление показало удовлетворительное согласование наших расчетов с экспериментальными данными авторов [6], что подтверждает адекватность теоретических результатов и позволяет предсказывать характеристики турбулентного течения для других аналогичных условий и аппаратов аналогичной геометрии.

Анализ конструкции ССЗ SMRX показал, что значительное влияние на гидродинамические характеристики потока может оказывать угол θ пересечения труб смесительного элемента (рис.1,в) и число смесительных элементов.

На рис. 3,а приводится график зависимости перепада давления от скорости для различных углов пересечения труб одноэлементного смесителя. Из графика видно, что значение перепада давления увеличивается с увеличением угла при постоянной скорости. На рис. 3,б приводится график зависимости перепада давления от скорости для различных углов пересечения труб двухэлементного смесителя. Наблюдается та же тенденция, что и для одноэлементного смесителя. Существенно более высокие значения перепада давления соответствуют углам 150° и 120° , по сравнению с более маленькими углами пересечения. Высокие значения перепада давления в промышленности нежелательны, потому что они увеличивают эксплуатационные расходы, а низкие значения – признак неэффективного перемешивания. Эффективность смесителя является результатом компромисса между снижением значения перепада давления и увеличением показателя смешения.

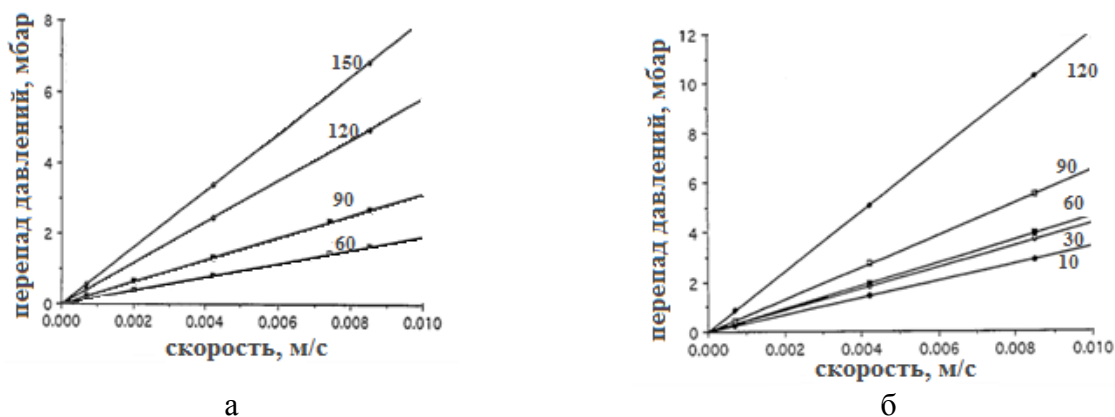


Рис. 3 – Влияние угла пересечения труб на величину перепада давления от скорости для одноэлементного смесителя в прямоугольном реакторе. (а) и для двухэлементного смесителя(б)

Таким образом, исследовано влияние угла пересечения труб и числа смесительных элементов на величину перепада давления.

Заключение

1. Исследовано влияние угла пересечения труб и числа смесительных элементов на величину перепада давления и на интенсивность смешения.
2. Полученные численные данные по гидродинамике потока в ССЗ позволят расширить существующую базу данных по статическим смесителям.

Список литературы

1. *Alekseev K.A., Mukhametzyanova A.G.* Classification function, and construction of modern static mixers // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2020. Т. 55. № 11-12. С. 934-941 2.
2. www.ansys.com
3. <https://www.gmatw.com/static-mixers>
4. *Мухаметзянова А.Г., Алексеев К.А., Галимов Ф.Ф.* Численное моделирование гидродинамики потока в слое нерегулярной насадки // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2015. № 5. С. 11-18.
5. *Алексеев К.А., Мухаметзянова А.Г.* Выбор модели турбулентности для моделирования гидродинамики потока в насадочном слое // *Вестник технологического университета*. 2015. Т. 18. № 17. С. 64-66.
6. *L.A.J. van Dijck and L.L. van Dierendonck*, Sulzer Mixer Reactor: Experimental Verification of the Computer Simulations of the Hydrodynamical Behavior, Project Report, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1992.
7. *Mohr W.D., Saxton R.L. and Jepson C.H.*, Mixing in Laminar Flow Systems, *Ind. Eng. Chem.*, 49 (1957) 1855.
8. *Middleman S.*, Fundamentals of Polymer Processing, McGraw-Hill, New York, 1977, p. 29560

05.13.18

**А.Д. Недошивина, К.А. Насеткин, М.С. Муравьев,
Г.М. Алимирзоев, А.С. Пузанов, Д.А. Литовский, А.А. Недошивин**

Национальный исследовательский университет имени Н.И. Лобачевского,
Радиофизический факультет,
кафедра квантовой радиофизики и электроники,
zverbeshenka@gmail.com

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК AlGaN/GaN HEMT И AlGaAs/GaAs HEMT ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОНИКАЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Исследование посвящено сравнению характеристик AlGaN/GaN HEMT и AlGaAs/GaAs HEMT при воздействии проникающих излучений, позволяющему решить важную задачу прогнозирования, повышения радиационной стойкости микроэлектроники и выявления особенностей применения в различных режимах работы отечественных HEMT.

Ключевые слова: *полевые транзисторы, HEMT, радиационная стойкость.*

Введение

В настоящее время уменьшение размеров рабочих областей транзисторов является основным направлением развития для цифровой и аналоговой электроники[1]. Результатом становится улучшение характеристик изделий микроэлектроники, таких как быстродействие, увеличения предельных рабочих частот и усиливаемой мощности, снижения уровня шумов и т.д.. Аналогичные процессы[2] идут в области разработки специализированной элементной базы, предназначенной для применения в условиях повышенных внешних воздействующих факторов, например, радиации[3]. Одним из наиболее перспективных типов транзисторов является квантово-размерный полевой транзистор с высокой подвижностью электронов в канале (HEMT). Значительное подавление рассеяний носителей заряда в канале HEMT позволяет добиться отличных шумовых и частотных характеристик усилителей на их основе.

Одной из основных характеристик малошумящих усилителей является их коэффициент усиления, то есть способность усиливать слабый входной сигнал в линейном режиме. Соответственно, все снижения характеристик[4] при воздействии проникающих излучений связаны с возникающими нелинейными искажениями[5].

Результаты моделирования и экспериментальные данные

В эксперименте были облучены экспериментальные структуры AlGaAs/GaAs и AlGaN/GaN. Снятие характеристик проводилось на лабораторном оборудовании ННГУ им. Лобачевского.

На рисунке 1 представлена зависимость коэффициента нелинейных искажений(α) от флюенса для AlGaAs/GaAs HEMT в рабочем режиме, на рисунке 2 представлена зависимость коэффициента нелинейных искажений от флюенса в рабочем режиме для AlGaN/GaN HEMT:

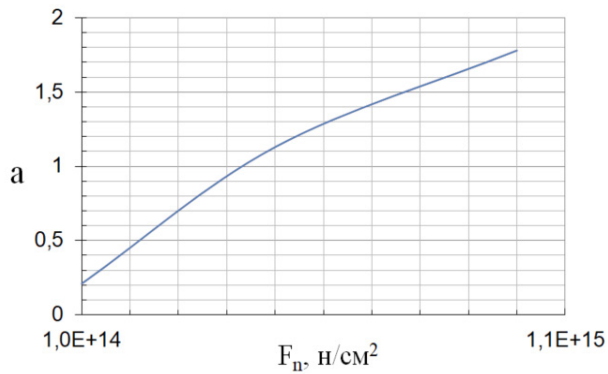


Рис. 1 – График зависимости коэффициента нелинейных искажений от флюенса в AlGaAs/GaAs HEMT

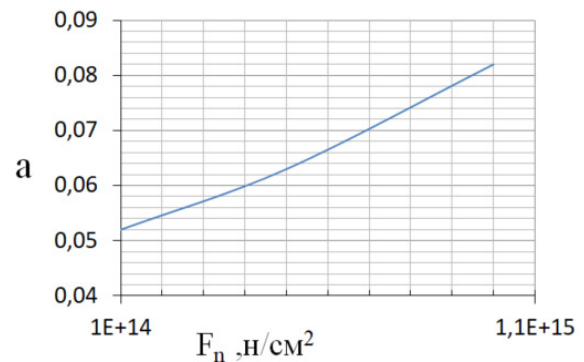


Рис. 2 – График зависимости коэффициента нелинейных искажений от флюенса в AlGaN/GaN HEMT

После облучения нейтронами коэффициент нелинейных искажений для AlGaN/GaN HEMT увеличился на 37,5%. Для AlGaAs/GaAs HEMT на 88,2%. Как видно из результатов исследования AlGaN/GaN HEMT более стойкий к облучению нейтронами. Эта структура имеет меньше коэффициент нелинейных искажений при облучении в диапазоне флюенсом от 10^{14} до 10^{15} . Так же не рекомендуется использовать оба вида транзисторов в режиме отсечки из-за того, что коэффициент нелинейных искажений в режиме отсечки в два раза превышает коэффициент в рабочем режиме.

Гармоники выходного сигнала так же являются показателем нелинейных искажений. Нелинейные искажения в этом случае проявляются в возникновении в частотном спектре выходного сигнала составляющих, отсутствующих в спектре входного сигнала. То есть идеальный усилитель содержит только одну гармонику, вторая и третья отсутствуют.

Был проведен анализ отношения гармоник обоих типов транзисторов, чтобы подтвердить полученные результаты, для этого мощность выходного сигнала раскладывалась в ряд Фурье. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

	До облучения		После облучения	
	Отношение 1 гармоники к 2	Отношение 1 гармоники к 3	Отношение 1 гармоники к 2	Отношение 1 гармоники к 3
AlGaAs/GaAs	1,45	2,9	1,05	1,11
AlGaN/GaN	3,64	20,6	2,61	16,19

Отношение первой и второй гармоник AlGaN/GaN HEMT до облучения примерно в два раза больше отношений тех же гармоник в AlGaAs/GaAs HEMT, первой и третьей в 10 раз. После облучения отношение первой и второй гармоник AlGaN/GaN HEMT в 2,5 раза больше, чем отношение тех же гармоник в AlGaAs/GaAs HEMT первой и третьей в 16 раз. В усилителях предлагается использовать AlGaN/GaN HEMT, так как они создают меньше нелинейных искажений. Данный результат подтверждает все предыдущие расчёты.

Заключение

Результаты, представленные в данной работе, позволили сделать следующие выводы:

1) Проведен анализ нелинейных искажений после облучения нейтронами порядка 10^{14} - 10^{15} н/см² AlGaN/GaN HEMT и AlGaAs/GaAs HEMT. Полученные данные показывают, что в условиях воздействия проникающих излучений лучше использовать AlGaN/GaN HEMT так, как этот вид транзистора более стойкий к облучению нейтронами, имеет меньше коэффициент нелинейных искажений при облучении. Так же не рекомендуется использовать оба вида транзисторов в режиме отсечки так как коэффициент нелинейных искажений в режиме отсечки в два раза превышает коэффициент в рабочем режиме.

Рассмотрено отношений гармоник выходного сигнала в усилителях до и после облучения для обоих видов структур. После облучения, отношение первой и второй гармоник AlGaIn/GaN HEMT в 2,5 раза больше, чем отношение тех же гармоник в AlGaAs/GaAs, HEMT, отношений первой и третьей гармоник в AlGaIn/GaN HEMT в 16 раз больше, чем AlGaAs/GaAs HEMT. Таким образом, Это подтверждает, что в качестве радиационно-стойких лучше использовать AlGaIn/GaN HEMT, так как они создают меньше нелинейных искажений, чем AlGaAs/GaAs HEMT как до, так и после нейтронного облучения.

3) Полученные результаты хорошо согласуются с известными на данный момент данными и представлениями, что вместе с остальными исследованиями[6] позволяет развивать подходы к производству отечественной радиационно-стойкой электронике.

Список литературы

1. *Thayne I., Li X., Jansen W. et al.* III-V MOSFETs for Sub-15nm technology generation CMOS: Some observations, issues and solutions // sec.9a,CS Mantech 2011.
2. *Насеткин К.А., Муравьев М.С., Алимурзоев Г.М., Пузанов А.С., Забавичев И.Ю., Потехин А.А.* Моделирование характеристик субмикронных структур «кремний на изоляторе» с учетом радиационных эффектов // Научно-технический вестник Поволжья, 2019, №7, С.127-130.
3. *Насеткин К.А., Пузанов А.С.* Реакция микросхем с цепью автокомпенсации токов утечки на воздействие низкоинтенсивных проникающих излучений // В кн.: Труды XXII научной конференции по радиофизике (г. Нижний Новгород, 15-29 мая 2018 г.). – Нижний Новгород, 2018, С.66-68.
4. *Венедиктов М.М., Тарасова Е.А., Боженькина А.Д., Оболенский С.В.* Анализ поведения неравновесных полупроводниковых структур и СВЧ транзисторов после импульсного гамма-нейтронного облучения // В кн.: Материалы XXII Международного симпозиума «Нанопизика и наноплектроника», Нижний Новгород, 2018, Т.2, С. 566-567.
5. *Тарасова Е.А., Хананова А.В., Оболенский С.В. и др.* Исследование распределения электронов в GaN и GaAs структурах после гамма-нейтронного // Физика и техника полупроводников. -2016. - т.50. - №3. - С.331-338.
6. *Киселева Е.В., Китаев М.А., Оболенский С.В., Трофимов В.Т., Козлов В.А.,* Радиационная стойкость перспективных арсенид галлиевых полевых транзисторов Шотки// Журнал технической физики. 2005. Т. 75. № 4. С. 136-138.

05.13.18

Ю.Г. Полкунов

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра прикладной математики,
Оренбург, polkunov_ug@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРЕЩИН В КРЕПКИХ ПОРОДАХ КОНИЧЕСКИМИ ДИСКОВЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Статья посвящена разработке критериев развития магистральных трещин в крепких породах циклическим способом разрушения.

Ключевые слова: конический дисковый инструмент, разрушение.

Результаты экспериментальных лабораторных исследований по разрушению породных блоков коническими дисковыми инструментами показали, что в блокированном циклическом режиме разрушения также формируются устойчивые и неустойчивые трещины в крепких породах.

Применяя механику разрушения был разработан объемный критерий развития магистральных трещин, позволяющий выяснить причины роста трещин нормального разрыва в крепких породах.

На рисунке 1 приведена схема воздействия конического дискового инструмента при формировании магистральной устойчивой и неустойчивой трещин.

Раскрытие берегов неустойчивой трещины от воздействия нормальных постоянных напряжений, приложенных к берегам устойчивой трещины, осуществлялось на основе метода разрывных смещений в объемной постановке для плоских трещин ортогональных плоскости Ox_2x_3 [1]:

$$\begin{aligned}\sigma_{nx}^i &= G \sum_{j=1}^N [A11_{ij}D_{nxj} + A12_{ij}D_{nyj} + A13_{ij}D_{nzz}], \\ \sigma_{ny}^i &= G \sum_{j=1}^N [A21_{ij}D_{nxj} + A22_{ij}D_{nyj} + A23_{ij}D_{nzz}], \\ \sigma_{nz}^i &= G \sum_{j=1}^N [A31_{ij}D_{nxj} + A32_{ij}D_{nyj} + A33_{ij}D_{nzz}],\end{aligned}$$

где

$\sigma_{nx}^i, \sigma_{ny}^i, \sigma_{nz}^i$ - касательные и нормальные напряжения, заданные на границе ($i = 1, 2, \dots, N$);

$D_{nxj}, D_{nyj}, D_{nzz}$ - компоненты разрыва смещений j -го граничного элемента в касательных и нормальном направлениях соответственно;

$A11, A12, \dots, A33$ - коэффициенты влияния;

$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ - модуль сдвига; E - модуль Юнга; ν - коэффициент Пуассона.

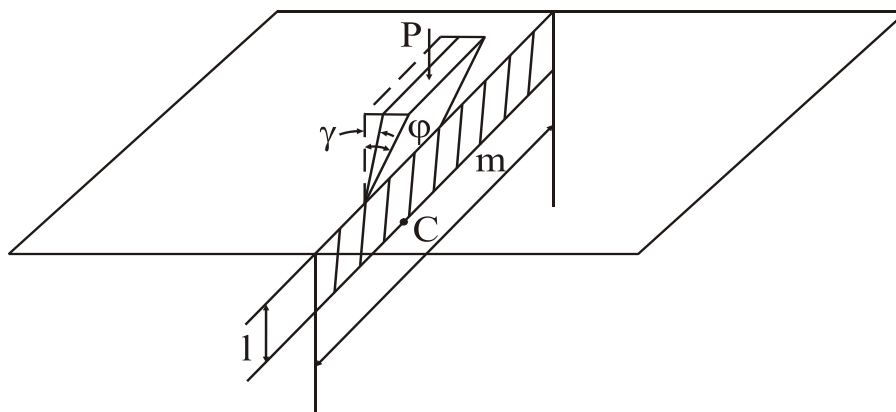


Рис. 1 – Схема взаимодействия конического дискового инструмента с горной породой

Вычисление коэффициента интенсивности напряжений первого типа осуществлялось по асимптотическому методу, учитывающему разрывы смещений [2].

Критерии развития прямоугольной магистральной трещины в упругой полуплоскости, нагруженной коническими дисковыми инструментами, состоят из двух частей:

- коэффициента интенсивности напряжений первого типа для устойчивой трещины [3]

$$K_1 = A \frac{\sin(\beta-\alpha)}{\cos \alpha} P_y \frac{\sqrt{\pi}}{S_y^{3/4}}, \quad (1)$$

- коэффициента интенсивности напряжений первого типа для неустойчивой трещины в крепких хрупких породах

$$K_1 = B \operatorname{ctg} \alpha P_H \sqrt{\pi} \frac{S_H^{1/4}}{S_y}, \quad (2)$$

где

$$\alpha = \arctg \left[\frac{\sin(\varphi-\gamma)}{\cos \varphi \cos \gamma} \right], \text{ град.};$$

P_y , P_H - равнодействующая сила, действующая на ось конического дискового инструмента при устойчивом и неустойчивом развитии трещины соответственно, Н;

$S_y = m \cdot l_y$ - площадь устойчивой трещины, м²;

m , l_y - геометрические размеры устойчивой трещины, м;

$A = 0,5019205$ - постоянная величина;

φ - угол заострения инструмента ($20^\circ \leq \varphi \leq 45^\circ$), град.;

γ - задний угол ($0^\circ \leq \gamma \leq 12^\circ$), град.;

$\beta = 72,43758$ - постоянная величина, град.;

$S_H = m \cdot l_H$ - площадь неустойчивой трещины, м²;

m , l_H - геометрические размеры неустойчивой трещины, м;

$l = l_y + l_H$, м;

$B = 0,159572488$ - постоянная величина;

K_1 - коэффициент интенсивности напряжений первого типа, Н/м^{3/2}.

Критерии развития устойчивых и неустойчивых магистральных трещин в упругой полуплоскости крепких хрупких породах установили зависимость площади неустойчивой трещины от площади устойчивой трещины, углов заострения конических дисковых инструментов в следующем виде

$$\left(\frac{S_H}{S_y} \right)^{1/4} = \frac{A \sin(\beta-\alpha)}{B \cos \alpha}. \quad (3)$$

В таблице 1 приведены данные экспериментальных исследований по разрушению горных пород коническим дисковым инструментом и результаты расчетов, выполненных по критериям (1) и (2).

Песчаник ($\sigma_{сж} = 70,5$ МПа, $\sigma_p = 14$ МПа), кварц ($\sigma_{сж} = 127$ МПа, $\sigma_p = 12$ МПа) и карбонатные породы ($\sigma_{сж} = 87,8$ МПа, $\sigma_p = 4,3$ МПа) разрушались коническим дисковым инструментом, имеющим диаметр $D = 0,28$ м, угол заострения $\varphi = 45^\circ$ и задний угол $\gamma = 12^\circ$.

В расчетах принималось, что величина $m = 1,0$ м представляет собой длину разрушаемого блока.

В таблице 1 приняты следующие обозначения: t_p - шаг разрушения; h - суммарная глубина прохода конического дискового инструмента по одному и тому же следу; R - равнодействующая сила на оси конического дискового инструмента, определяемая экспериментально; l_y - длина устойчивой трещины; l_3 - длина магистральной неустойчивой трещины, определяемая экспериментально; P - равнодействующая сила, определяемая по критериям разрушения (1) и (2); l_H - неустойчивая трещина, вычисленная по критерию (2).

Коэффициент интенсивности напряжений для песчаника $K_1 = 0,7$ МПа · м^{1/2}, для карбонатных пород $K_1 = 1,0$ МПа · м^{1/2} и для кварца $K_1 = 1,1$ МПа · м^{1/2}.

Во второй колонке представлено количество проходов конического дискового инструмента по одному и тому же следу до образования магистральной неустойчивой трещины.

Результаты экспериментальных исследований по разрушению блоков карбонатных пород и кварца коническим дисковым инструментом взяты из работы [4].

Результаты экспериментальных и теоретических исследований показывают, что глубина внедрения соответствует величине устойчивой трещины. В условиях заблокированного режима разрушения неустойчивый рост трещины независимо от крепости и вида горной породы осуществляется, когда величина устойчивой трещины достигает значения 0,020 – 0,025 м.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных и теоретических исследований разрушения пород коническим дисковым инструментом

$t_p, м$	№	$h = l_y, м$	$R, кН$	$l_z, м$	$P, кН$	$l_n, м$
Песчаник 0,10	1	0,005	15,85	0,40	16,28	0,51
	2	0,010	29,22		27,37	
	3	0,015	37,41		37,10	
	4	0,020	41,76		46,04	
Карбонатные породы 0,09	1	0,005	20,25	0,49	23,25	0,64
	2	0,015	51,82		53,00	
	3	0,025	63,25		77,75	
0,10	1	0,015	47,43	0,38	53,00	0,64
	2	0,025	66,93		77,75	
Кварц 0,09	1	0,005	24,84	0,59	25,58	0,51
	2	0,010	41,62		43,02	
	3	0,015	50,77		58,30	
	4	0,020	57,87		72,34	

Равнодействующие нагрузки в экспериментальных и теоретических исследованиях имеют разброс результатов в пределе 25%.

Таким образом, разработанные критерии разрушения позволяют прогнозировать разрушения крепких пород и определять нагруженность конических дисковых инструментов и исполнительных органов при разрушении крепких пород.

Список литературы

1. Полкунов Ю.Г., Лобода М.Ю. Математическое моделирование развития объемных трещин // Научно-технический вестник Поволжья.-2019.-№4.-С.26-29.
2. Линьков А.М. Комплексный метод граничных интегральных уравнений теории упругости / А.М. Линьков.-СПб.: Наука,1999.-382.
3. Нестеров В.И., Полкунов Ю.Г. Прогнозирование разрушения крепких горных пород при циклическом воздействии коническими дисковыми инструментами // Известия вузов. Горный журнал.- 1999.- №3-4.- С.26-28.
4. Герике Б.Л. Разрушение крепких горных пород дисковым скалывающим инструментом очистных комбайнов: дис. докт. техн. наук. – Кемерово, 1991.- С. 451-470.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS****А.П. Буйносов
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ
ГИДРОДЕМФЕРА ЭЛЕКТРОВОЗА**

Ключевые слова: электровоз, неисправности, причины, анализ, испытание, результаты.

Приводится анализ неисправностей отечественного пассажирского электровоза нового поколения серии ЭП2К на основе проведения стендового контроля и полученной диаграммы, способы устранения неисправностей. Приведены результаты сравнительных ходовых испытаний опытного демфирующего комплекса, установленного на электровозе ВЛ10У, в котором в качестве базового был выбран гидродемфер типа ГКЦЛ 667640, силовые характеристики которого были форсированы, а узлы крепления доработаны с целью минимизации радиальных зазоров.

**Г.А. Волкова
ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ДИАГРАММЫ
НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ НА ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ
ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ И
ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА**

Ключевые слова: Потенциальная погрешность, задержка сигнала, частота Доплера, среднеквадратическая длительность и ширина спектра сигнала, диаграмма направленности антенны.

В работе рассматривается влияние характеристик сигнала на потенциальную погрешность измерения задержки и доплеровского сдвига частоты, а также формирование сигналов с требуемой огибающей или спектром путем изменения диаграммы направленности антенны.

**Р.М. Галиев, А.Ю. Барыкин, Д.И. Нуретдинов,
И.Ф. Шайхутдинов, З.А. Аюкин, Д.К. Шакуров
К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ
НА ДОРОГАХ ВНЕ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА**

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, автомобиль, радар, федеральная трасса.

В статье рассматриваются вопросы обеспечения безопасности дорожного движения на дорогах вне населенного пункта с применением технических систем контроля. Приводится статистика дорожно-транспортных происшествий по России и по Республике Татарстан, а также правила использования видеонаблюдения фиксации нарушения автомобилистами правил дорожного движения. При этом больше внимание обращено на личностные качества водителя.

**И.Б. Гинзбург, А.А. Ермаков, Д.С. Кобзев
СПЕЦИФИКА ИНФОРМАЦИОННОГО НАПОЛНЕНИЯ
СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Ключевые слова: организация дистанционного обучения, средства дистанционного обучения, наполнение систем дистанционного обучения, цифровые учебные материалы.

В статье рассмотрено влияние специфики информационного наполнения систем дистанционного обучения на организацию работ по подготовке цифровых учебных материалов. Описаны форматы учебных материалов, подходящие для использования в системах дистанционного обучения. Предложен способ подготовки цифровых учебных материалов для размещения в системах дистанционного обучения. Предложенный способ может применяться для разработки новых учебных материалов с нуля и для адаптации уже имеющихся цифровых материалов в других форматах перед их размещением в системах дистанционного обучения.

**A.P. Buinosov
TEST RESULTS OF THE ELECTRIC
LOADER'S HYDRAULIC DAMPER**

Keywords: electric locomotive, malfunctions, causes, analysis, test, results.

The analysis of malfunctions of the domestic passenger electric locomotive of the new generation of the EP2K series is given on the basis of bench control and the resulting diagram, as well as ways of troubleshooting. The results of comparative running tests of an experimental damping complex installed on an electric locomotive VL10U, in which a hydraulic damper of the GKtSL 667640 type was chosen as the base one, the power characteristics of which were forced, and the attachment points were modified in order to minimize the radial clearances..

**G.A. Volkova
THE INFLUENCE OF THE SHAPE
OF THE ANTENNA RADIATION PATTERN
ON THE POTENTIAL ERROR OF MEASURING
THE COORDINATES AND PARAMETERS OF THE
OBJECT'S MOTION**

Keywords: Potential error, signal delay, Doppler frequency, RMS duration and width of the signal spectrum, antenna radiation pattern.

The paper considers the influence of signal characteristics on the potential error of measuring the delay and Doppler frequency shift, as well as the formation of signals with the required envelope or spectrum by changing the antenna radiation pattern.

**R.M. Galiev, A.Yu. Barykin, D.I. Nuretdinov,
I.F. Shajhutdinov, Z.A. Ayukin, D.K. Shakurov
TO THE QUESTION OF ENSURING TRAFFIC SAFETY
ON ROADS OUTSIDE THE SETTLEMENT**

Keywords: road safety, road traffic accident, car, radar, federal highway.

The article discusses the issues of ensuring road safety on roads outside the settlement with the use technical control systems. The road traffic accidents statistics in Russia and the Republic of Tatarstan are given, as well as the rules for using video cameras to record violations of traffic rules by cars. At the same time, more attention is paid to the drive personal qualities.

**I.B. Ginzburg, A.A. Ermakov, D.S. Kobzev
DISTANCE LEARNING SYSTEMS' CONTENT SPECIFICS
Keywords: distance learning organization, distance learning tools, distance learning systems' content, digital educational materials.**

The article discusses the influence of the distance learning systems' content specifics on the digital educational materials' preparation work organization. The educational materials formats suitable for the distance learning systems' use are described. Method for preparing digital educational materials for placement in distance learning systems is proposed. The proposed method can be used for the new educational materials from scratch development, and for adapting existing digital materials in other formats before placing them in distance learning systems.

Ю.Г. Жеглова

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НУЛЕВОГО ЦИКЛА
СТРОИТЕЛЬСТВА

Ключевые слова: ограждающая конструкций нулевого цикла строительства, система поддержки принятия решений, комплексная оценка, расчет эффективности возведения.

Работа посвящена оценке эффективности возведения ограждающих конструкций нулевого цикла строительства. Данная методика позволит сократить время на обоснование технического решения ограждающей конструкции, провести комплексную оценку и расчет эффективности ее возведения. Методика может быть положена в основу разработки системы поддержки принятия решений при выборе ограждающей конструкции, позволяющая проектировщику выбрать наиболее рациональное техническое решение, отвечающее не только расчету по предельным состояниям, но и являющееся рациональным относительно экономической целесообразности его возведения.

В.С. Крылов

ОЦЕНКА ЭМОЦИОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТОВ
НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ

Ключевые слова: анализ тональности текстов, интеллектуальный анализ текстов, R язык.

В статье представлены результаты оценки эмоциональной компоненты текста научной монографии на английском языке и её перевода на русский. Эмоциональность дает дополнительное понимание об интуитивном неявном знании. Сравнительная оценка эмоциональности источника и его перевода создает более полное представление о содержании научных монографий, текстов обзоров тенденций развития направлений научных исследований и т.д.

С.Н. Падалко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПЛАНИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ERP-СИСТЕМ

Ключевые слова: ERP-системы, обратные задачи, оптимизационные задачи, модели планирования, модели управления, тандемная модель.

В статье рассмотрена схема интеграции математических методов и ERP-систем. Показана необходимость наличия связанной системы моделей планирования и управления в составе блока решения обратных и оптимизационных задач автоматизированных систем управления (АСУ) организаций дискретного производства. Формальным обобщением названной системы моделей является тандемная модель, что позволяет использовать при реализации блока управления АСУ разработанные для данного класса формальных моделей методы и алгоритмы.

А.В. Раскина, А.В. Караванов,

Д.А. Иптышев, И.А. Чудакин, Д.В. Карпеца

ДУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВЫМ ЛИНЕЙНЫМ
ДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ
АЛГОРИТМОВ СТАБИЛИЗАЦИИ

Ключевые слова: неустойчивый динамический процесс, непараметрическое дуальное управление, адаптивные системы. В статье рассматривается задача управления неустойчивым динамическим объектом в условиях непараметрической неопределенности. Конструирование предлагаемой системы управления состоит из двух этапов. На первом этапе осуществляется охват неустойчивого объекта отрицательной обратной связью, которая обеспечивает устойчивость в замкнутой системе. Далее следует второй этап, представляющий собой синтез устройства управления для устойчивой системы «объект-регулятор».

Yu.G. Zhiglova

METHODOLOGY FOR CALCULATING THE EFFICIENCY
OF ESTABLISHING FENCING STRUCTURES OF THE
ZERO CYCLE OF CONSTRUCTION

Keywords: enclosing structures of the zero construction cycle, decision support system, comprehensive assessment, calculation of the construction efficiency.

This paper is devoted to assessing the efficiency of erection of enclosing structures of the zero construction cycle. This technique will reduce the time spent on justifying the technical solution of the enclosing structure, carry out a comprehensive assessment and calculation of the effectiveness of its construction. The technique can be used as the basis for the development of a decision support system when choosing a building envelope, which allows the designer to choose the most rational technical solution that meets not only the calculation for limit states, but is also rational with respect to the economic feasibility of its construction.

V.S. Krylov

THE SENTIMENT ANALYZE OF A TEXT
OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Keywords: text tonality analysis, intellectual text analysis, R language.

The article presents the results of the evaluation of the emotional component of the text of a scientific monograph in English and its translation into Russian. Emotionality provides additional insight about intuitive implicit knowledge. A comparative assessment of the emotionality of the source and its translation creates a more complete picture of the content of scientific monographs, texts of reviews of trends in the development of research directions, etc.

S.N. Padalko

USE OF MATHEMATICAL PLANNING METHODS
BASED ON ERP-SYSTEMS

Keywords: ERP systems, inverse problems, optimization problems, planning models, management models, tandem model.

The article discusses the scheme of mathematical methods and ERP systems integration. The necessity of planning and control models connected system as a part of the discrete production organizations automatic control systems (ACS) solving block for inverse and optimization problems is shown. The formal generalization of the named models' system is the tandem model, which allows using the methods and algorithms developed for this class of formal models when implementing the ACS control unit.

A.V. Raskina, A.V. Karavanov,

D.A. Iptyshev, I.A. Chudakin, D.V. Karpeza

ADAPTIVE CONTROL OF AN UNSTABLE LINEAR
DYNAMIC OBJECT USING STABILIZATION
ALGORITHMS

Keywords: unstable dynamic process, nonparametric dual control, adaptive systems.

The article deals with the problem of controlling an unstable dynamic object in conditions of nonparametric uncertainty. The design of the proposed control system consists of two stages. At the first stage, the unstable object is covered with negative feedback, which ensures stability in a closed system. This is followed by the second stage, which is the synthesis of a control device for a stable system "object-controller".

А.В. Милов
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ
ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКОЙ НА ОСНОВЕ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИИ

Ключевые слова: индукционная пайка, волноводы, искусственные нейронные сети.

В работе представлена разработка программного обеспечения управления индукционной пайкой на основе интеллектуальных методов обработки информации. Программное обеспечение реализует технологию управления, в основе которой лежит взаимодействие коллектива предварительно обученных искусственных нейронных сетей. Программное обеспечение позволит повысить качество управления посредством снижения влияния погрешностей средств измерения, а также позволит производить управление в условиях недостоверной, неполной либо отсутствующей информации о температуре нагрева элементов изделия. В качестве языка программирования используется Python, графический интерфейс пользователя реализован средствами PyQt.

М.В. Таланов, И.В. Федотова
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В
СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ В
СОСТАВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Ключевые слова: расширенный фильтр Калмана, сигматочечный фильтр Калмана, электропривод, электродвигатель, автоматизированная система управления технологическими процессами.

Фильтр Калмана является рекурсивным фильтром, который минимизирует среднеквадратическую ошибку оценивания вектора состояния нелинейной системы при наличии ошибок измерений и возмущений в динамической системе. В статье рассматриваются различные методы нелинейной калмановской фильтрации для дискретных стохастических систем. В статье описаны особенности использования фильтра Калмана в системах управления электроприводами различного типа, используемых в автоматизированных системах управления технологическими процессами.

В.Д. Петелина
ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЗМУЩЕННОГО
ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ ПРИ
ПРОИЗВОДНЫХ

Ключевые слова: система дифференциальных уравнений возмущенного движения тела, регуляризирующая независимая переменная, возмущение, многочлен, приближение.

В статье рассматривается задача получения асимптотического приближения решения возмущенной системы дифференциальных уравнений в случае, когда в уравнении «быстрых движений» при изменении параметра происходит бифуркация: два положения равновесия сливаются с последующей сменой устойчивости. Изучается качественный характер поведения решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений, когда малый параметр стремится к нулю на конечном отрезке времени, на котором медленная переменная проходит через некоторую точку, соответствующую бифуркации в системе «быстрых движений»: устойчивый предельный цикл сливается с неустойчивым и исчезает.

В.И. Поляков, Ф.Ф. Зиннатулин
ВЕРИФИКАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА
КОРПОРАТИВНОГО ПОРТАЛА

Ключевые слова: корпоративный портал, требования корпоративного портала, верификация, вычислительный процесс корпоративного портала, программная модель вычислительного процесса, графоаналитическая модель

A.V. Milov
INDUCTION SOLDERING CONTROL
SOFTWARE BASED ON INTELLIGENT INFORMATION
PROCESSING METHODS

Keywords: induction soldering, waveguides, artificial neural networks.

The paper presents the development of software control of induction brazing process based on intelligent methods of information processing. The software implements the interaction of a team of pre-trained artificial neural networks, allowing to improve the quality of control by reducing the influence of errors of measuring instruments, and also allows you to perform control in conditions of unreliable, incomplete or missing information about the temperature of heating elements of the product. Python is used as the programming language, the graphical user interface is implemented by means of PyQt.

M.V. Talanov, I.V. Fedotova
FEATURES OF KALMAN FILTER USAGE IN ELECTRIC
DRIVE CONTROL SYSTEMS AS PART OF AUTOMATED
PROCESS CONTROL SYSTEMS

Keywords: extended Kalman filter, Unscented Kalman filter, electric drive, electric motor, automated process control systems.

The Kalman filter is a recursive filter that minimizes the standard error of estimating the state vector of a nonlinear system in the presence of measurement errors and disturbances in the dynamic system. The paper discusses various methods of nonlinear Kalman filtering for discrete stochastic systems. The paper describes the features of using the Kalman filter in various types of electric drive control systems used in automated process control systems.

V.D. Petelina
APPROXIMATE SOLUTION OF DIFFERENTIAL
EQUATION SYSTEM FOR PERTURBED MOTION OF A
BODY WITH A SMALL PARAMETER IN FRONT
OF THE DERIVATIVES

Keywords: system of differential equations of perturbed body locomotion, regularizing independent variable, perturbation, polynomial, approximation.

This paper presents the problem of an asymptotic approximation to the solution of a perturbed system of differential equations when the bifurcation in the equation of 'rapid motions' occurs upon a change in the parameter: two equilibriums merge, followed by a change of stability. Here we study the qualitative behaviour of solutions of ordinary differential equations system when a small parameter tends to zero on a finite time interval, where the slow variable passes through some point corresponding to the bifurcation in the system of rapid motions: the stable limit cycle merges with the unstable one and disappears.

V.I. Polyakov, F.F. Zinnatulina
VERIFICATION OF THE ENTERPRISE PORTAL
COMPUTING PROCESS

Keywords: Enterprise portal, requirements of the enterprise portal, verification, computing process of the enterprise portal, software model of the computing process, graphoanalytic model of the computing process.

вычислительного процесса.

В статье рассматривается вопрос верификации вычислительного процесса корпоративного портала. Данная проблема является актуальной ввиду огромного количества программного обеспечения, верификация которого позволяет определить степень качества данного программного обеспечения. Проблема верификации корпоративного портала является актуальной, т.к. корпоративный портал тесно интегрирован в корпоративную программную инфраструктуру компании, деятельность которой связана с информационными технологиями. Поэтому цель данной статьи – исследовать верификацию вычислительного процесса корпоративного портала.

Показаны разработанные модели верификации вычислительного процесса корпоративного портала: графоаналитическая модель вычислительного процесса корпоративного портала; программная модель верификации вычислительного процесса корпоративного портала.

Делается вывод о том, что корпоративный портал удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям, т.к. прошел верификацию вычислительного процесса успешно.

The article deals with the issue of verification of the computing process of the corporate portal. This problem is relevant due to the huge amount of software, the verification of which allows you to determine the degree of quality of this software. The problem of verifying the corporate portal is relevant, since the corporate portal is closely integrated into the corporate software infrastructure of the company, whose activities are related to information technologies. Therefore, the purpose of this article is to investigate the verification of the computing process of the corporate portal.

The developed models of verification of the computing process of the corporate portal are shown: the graphoanalytic model of the computing process of the corporate portal; the software model of verification of the computing process of the corporate portal.

It is concluded that the corporate portal meets the requirements for it, because it passed the verification of the computing process successfully.

А.В. Волков, С.Н. Ивлиев, Р.Р. Биктыкова
ИССЛЕДОВАНИЕ ОШИБОК МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ
ИДЕНТИФИКАЦИИ

Ключевые слова: Ошибки моделирования, нелинейная динамическая модель, динамическая нейронная сеть, натриевая лампа высокого давления.

В нашем исследовании поставлена задача нейросетевой параметрической идентификации нелинейных динамических моделей на основе экспериментальных данных. Также необходимо сформировать на его основе обучающие выборки с последующим обучением динамической и статической нейронных сетей. Предложен анализ не только полученных в ходе обучения нейронной сети параметров модели, но и ошибок обучения. Проведена апробация предложенного алгоритма для идентификации нелинейной модели натриевой лампы высокого давления.

А.В. Волков, С.Н. Ивлиев, Т.А. Захватова
ДВУКРАТНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ
ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ

Ключевые слова: Двукратная идентификация, нелинейная динамическая модель, динамическая нейронная сеть, натриевая лампа высокого давления.

Алгоритм параметрической идентификации заключается в отображении множества параметров модели при оценке этих параметров через ту или иную идентификационную процедуру. Предполагается предварительное обучение первой нейросети по экспериментальным данным и использование ее синаптических коэффициентов для обучения второй нейронной сети. Обучение производится посредством анализа данных, полученных в ходе обучения нейронной сети, а также параметров модели.

A.V. Volkov, S.N. Ivliev, R.R. Biktyakova
RESEARCH OF MODELING ERRORS IN NEURAL
NETWORK PARAMETRIC IDENTIFICATION

Keywords. Modeling errors, nonlinear dynamic model, dynamic neural network, high pressure sodium lamp.

In our study, we set the task of neural network parametric identification of nonlinear dynamic models based on experimental data. It is also necessary to form training samples on its basis with subsequent training of dynamic and static neural networks. The analysis of not only the parameters of the model obtained in the course of training the neural network, but also the training errors is proposed. The proposed algorithm was tested for identifying a nonlinear model of a high-pressure sodium lamp.

A.V. Volkov, S.N. Ivliev, T.A. Zahvatova
DOUBLE NEURAL NETWORK PARAMETRIC
IDENTIFICATION OF NONLINEAR DYNAMIC MODELS
OF OBJECTS

Keywords. Double identification, nonlinear dynamic model, dynamic neural network, high pressure sodium lamp.

The parametric identification algorithm consists in displaying a set of model parameters when evaluating these parameters through one or another identification procedure. Preliminary training of the first neural network based on experimental data and the use of its synaptic coefficients for training the second neural network is proposed. Training is performed by analyzing the data obtained during the training of the neural network, as well as the parameters of the model.

А.В. Колсанов, С.С. Чаплыгин,
А.В. Захаров, С.В. Ровнов, А.В. Иващенко
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДИКТИВНОЙ
ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ЗАДАЧАХ
НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ

Ключевые слова: дополненная реальность, оптический трекинг, нейрореабилитация.

В статье описывается оригинальная модель предиктивной виртуальной реальности, основанная на трехмерной симуляции органов человека и их динамики с помощью временных потоков событий. Приведены результаты успешного применения модели раннем реабилитационном периоде ишемического инсульта. Предложенная модель позволяет определять зависимость объектов и сцен виртуальной реальности на практике при решении разнообразных задач нейрореабилитации.

A.V. Kolsanov, S.S. Chaplygin,
A.V. Zaharov, S.V. Rovnov, A.V. Ivaschenko
MATHEMATICAL MODEL OF PREDICTIVE VIRTUAL
REALITY FOR NEURO REHABILITATION

Keywords: augmented reality, optical tracking, rehabilitation. The paper presents an original predictive virtual reality model based on 3D simulation of human organs and their dynamics using time based event flows. The results of the successful application of the model in the early rehabilitation period of ischemic stroke are presented. The proposed model makes it possible to determine the dependences of objects and scenes of virtual reality in practice when solving various problems of neurorehabilitation.

А.Г. Мухаметзянова, В.В. Бронская
CFD - МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПОТОКА В
СТАТИЧЕСКИХ СМЕСИТЕЛЯХ SULZER SMRX

Ключевые слова: гидродинамика, SMRX статические
смесители; численное моделирование; смешение.

Приводятся результаты численного моделирования гидродинамики потока в статических смесителях Sulzer SMRX. Показано, что величина перепада давления увеличивается линейно со скоростью и что этот эффект усиливается с числом смесительных элементов в области потока. Анализ результатов перепада давления, характер движения частиц на выходе из канала и линий тока показал, что оптимальным углом пересечения труб смесительного элемента SMRX равна 90°.

А.Д. Недошивина, К.А. Насеткин,
М.С. Муравьев, Г.М. Алимирзоев, А.С. Пузанов,
Д.А. Литовский, А.А. Недошивин
СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК AlGaN/GaN НЕМТ И
AlGaAs/GaAs НЕМТ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОНИКАЮЩИХ
ИЗЛУЧЕНИЙ

Ключевые слова: полевые транзисторы, HEMT, радиационная
стойкость.

Исследование посвящено сравнению характеристик AlGaN/GaN НЕМТ и AlGaAs/GaAs НЕМТ при воздействии проникающих излучений, позволяющему решить важную задачу прогнозирования, повышения радиационной стойкости микроэлектроники и выявления особенностей применения в различных режимах работы отечественных НЕМТ.

Ю.Г. Полкунов
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ
МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРЕЩИН В КРЕПКИХ ПОРОДАХ
КОНИЧЕСКИМИ ДИСКОВЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Ключевые слова: конический дисковый инструмент, разрушение.
Статья посвящена разработке критериев развития магистральных трещин в крепких породах циклическим способом разрушения.

A.G. Mukhametzyanova, V.V. Bronskaya
CFD - SIMULATION OF FLOW HYDRODYNAMICS IN
STATIC MIXERS SULZER SMRX

Keywords: fluid dynamics, SMRX static mixers; numerical
modeling; mixing.

The results of numerical simulation of flow hydrodynamics in static mixers Sulzer SMRX are presented. It is shown that the magnitude of the pressure drop increases linearly with speed and that this effect increases with the number of mixing elements in the flow area. Analysis of the results of the pressure drop, the nature of the movement of particles at the outlet from the channel and streamlines showed that the optimal angle of intersection of the pipes of the SMRX mixing element is 90°.

A.D. Bozhenkina K.A. Nasetkin,
M.S. Muravyev, G.A. Alimirzoev, A.S. Puzanov,
D.A. Litovskiy, A.A. Nedoshivin
COMPARISON OF THE CHARACTERISTICS OF
AlGaN/GaN HEMT AND AlGaAs/GaAs HEMT UNDER
THE INFLUENCE OF PENETRATING RADIATION

Keywords: field-effect transistors, HEMT, hardness.

The study is devoted to comparing the characteristics of AlGaN / GaN HEMT and AlGaAs/GaAs HEMT under the influence of penetrating radiation, which allows solving an important task of forecasting, increasing the radiation resistance of microelectronics and identifying the features of application in various operating modes of domestic HEMT.

Yu.G. Polkunov
MATHEMATICAL MODELING OF THE DEVELOPMENT
OF MAIN CRACKS IN STRONG ROCKS WITH CONICAL
DISK TOOLS

Keywords: conical disk tool, destruction.

The article is devoted to the development of criteria for the development of main cracks in strong rocks by a cyclic method of destruction.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья", ООО "Рашин Сайнс" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№9 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 28.09.2021 Формат А4. Печать цифровая.

Дата выхода в свет 28.09.2021

9,8 усл.печ.л. 12,1 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 3670.

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»