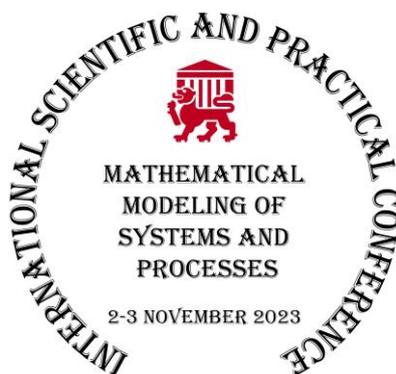


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Псковский государственный университет



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

Сборник тезисов докладов
II Международной научно-практической конференции
2–3 ноября 2023 г.

Электронное сетевое издание

Псков
Псковский государственный университет
2023

УДК 62+001
ББК 30+72
М34

*Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
Псковского государственного университета*

Рецензенты:

— Д. А. Андреев, кандидат технических наук, заведующий отделением информационно-коммуникационных технологий образовательного департамента Передовой инженерной школы гибридных технологий в станкостроении Союзного государства в Псковском государственном университете;

— В. Ю. Цветков, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инфокоммуникационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Редакционная коллегия:

Ю. В. Бруттан (общая редакция), Т. К. Антал, В. В. Фролов, В. Н. Мельник

М34

Математическое моделирование систем и процессов. Сборник тезисов докладов II Международной научно-практической конференции. — Псков: Псковский государственный университет, 2023. — 122 с. Режим доступа: <https://lib.pskgu.ru/page/d1f45f6d-f629-4fa1-94fd-6449031c1269>

ISBN 978-5-00200-157-6

Издание содержит тезисы докладов участников II Международной научно-практической конференции «Математическое моделирование систем и процессов», которая состоялась в г. Пскове 2–3 ноября 2023 г. Конференция была проведена в Псковском государственном университете на базе научно-образовательного математического центра «Северо-Западный центр математических исследований имени Софьи Ковалевской».

Опубликованные работы представляют интерес для научных и педагогических работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов, молодых ученых, занимающихся научно-исследовательской деятельностью, а также для иных специалистов с целью использования в научной работе, педагогической и учебной деятельности.

Все материалы проходят рецензирование (экспертную оценку), стилистическую и редакционную правку.

УДК 62+001
ББК 30+72

ISBN 978-5-00200-157-6

© Коллектив авторов, 2023

© Псковский государственный университет, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ, БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

Ризниченко Г. Ю., Рубин А. Б.

Системно-динамические и агентные модели в биологии 8

Вольхин И. А., Федоров В. А., Хрущев С. С., Коваленко И. Б.

Моделирование взаимодействия фотосистемы i с белками-переносчиками электрона методом броуновской динамики 10

Марченко Л. Н., Подгорная В. В.

Выбор базового растительного масла для создания биоразлагаемого смазочного материала с помощью методов многокритериальной оптимизации 12

Нарциссов Я. Р.

Моделирование нестационарных градиентов концентрации метаболитов в цифровых фантомах биологических объектов 14

Александрова В. В., Гудимчук Н. Б.

Стохастическое моделирование спонтанных переключений тубулиновых микротрубочек между фазами сборки и разборки 16

Хрущев С. С., Плюснина Т. Ю., Ризниченко Г. Ю., Рубин А. Б.

Разработка интегральной модели фотосинтетической электронтранспортной сети с использованием редуцированных моделей фотосистем 1 и 2 и цитохромного b_6f -комплекса 18

Ивонцин Л. А., Машковцева Е. В., Нарциссов Я. Р.

Использование методов молекулярной динамики для исследования гидратации протонных полуканалов F_0F_1 -атф синтазы 20

Плюснина Т. Ю., Червицов Р. Н., Хрущев С. С., Ризниченко Г. Ю.

Применение методов машинного обучения для анализа состояния фитопланктона водоемов 22

Копыцкий А. В., Мотевич И. Г., Стрекаль Н. Д.,

Хильманович В. Н., Шиман О. В.

Методика программного окрашивания гистологических образцов, выдержанных в водных растворах наночастиц CdSe/ZnS, на основании информации о спектрах люминесценции наночастиц 23

Самаркин А. И., Иванова Н. В., Белов В. С., Ревенко А. Б.

Прогнозирование заболеваемости вирусными инфекциями с помощью имитационной модели 25

Загубная О. А., Нарциссов Я. Р.

Пространственно-распределенная функциональная модель глутаматного синапса 27

<i>Васюченко Е. П., Коваленко И. Б., Холина Е. Г., Федоров В. А., Хрущев С. С., Страховская М. Г.</i>	
Молекулярное моделирование метиленового синего с оболочкой коронавируса SARS-COV-2 методом броуновской динамики	29
<i>Ревенко А. Б., Лялина Л. В., Самаркин А. И.</i>	
Использование скрытых марковских моделей при анализе заболеваемости COVID-19	31
<i>Абатурова А. М., Ризниченко Г. Ю.</i>	
Оценка константы скорости связывания белков в модели броуновской динамики образования комплекса цитохрома С и цитохрома С ₁ комплекса III дыхательной цепи митохондрий	33
<i>Попов М. А., Попова А. М., Попова В. М.</i>	
Технические аспекты создания бионических протезов конечностей домашней кошки	35
<i>Этезова Ф. М., Нарциссов Я. Р., Машковцева Е. В.</i>	
Моделирование кровоснабжения и пространственно-временных распределений метаболитов в печёночной дольке	37
<i>Шубина А. И., Холина Е. Г., Федоров В. А., Коваленко И. Б.</i>	
Использование метода анализа нормальных мод и молекулярной динамики для изучения подвижности тетрамеров тубулина с регуляторными соединениями	39

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

<i>Жогаль С. П., Марченко Л. Н.</i>	
Математическое моделирование сложных систем на примере научных школ факультета математики и технологий программирования ГГУ Ф. Скорины	41
<i>Goldengorin B.</i>	
The modeling power of patterns in linear assignment problems applied in economics, industrial engineering and quantitative logistics	43
<i>Антонов И. В., Бруттан Ю. В.</i>	
Виртуальная среда эволюционного моделирования	45
<i>Мельник В. Н., Медведева И. Н., Веселова А. Ф.</i>	
Невмешательство как стратегический выбор	47
<i>Суворков П. Э., Бруттан Ю. В.</i>	
Математическое моделирование цифровой трансформации в Псковской области	49
<i>Денисихина Д. М.</i>	
Использование численных методов для проектирования систем вентиляции и кондиционирования ледовых арен	52

<i>Marchanka Larysa N., Yakubovich Aksana V.</i> Open markov queueing networks with negative customers and control queues ...	54
<i>Самаркин А. И., Самаркина Е. И., Дмитриев С. И., Евгеньева Е. А.</i> Применение материалов с переменными свойствами, полученных методом трехмерной печати при проектировании режущего инструмента прогрессивной конструкции	56
<i>Флегонтов А. В.</i> От обобщенной модели Лесли к уравнению Абеля	58
<i>Герасименко П. В., Воронов М. В.</i> О роли формальных определений базовых понятий технических систем и процессов в современном образовании инженера	59
<i>Вертешев А. С., Вертешев С. М.</i> Обработка транзакций в монолитной и микросервисной архитектурах современных приложений	61
<i>Немилюстивая В. А.</i> Замкнутая сеть Гордона — Ньюэлла с однолинейными полюсами и экспоненциально ограниченным временем ожидания запросов	63
<i>Алексеев А. А., Дмитриев С. И., Евгеньева Е. А.</i> К вопросу о подходах компьютерного моделирования шлифования тел вращения с фасонными поверхностями	65
<i>Горелов М. А., Бруттан Ю. В.</i> О подходах к построению моделей рекомендательных систем	67
<i>Миронов Т. С., Мотайленко Л. В., Андреев Д. А., Хришкевич Г. А.</i> Архитектура и требования к автоматическим торговым системам на финансовых рынках	69
<i>Грызунова И. В., Николаев В. В.</i> Построение, анализ и прогнозирование временного ряда методами машинного обучения	70
<i>Лопушко М. А.</i> Разработка нейронной сети для прогнозирования свойств шин	72
<i>Елистратов Д. А., Малинковский Ю. В.</i> Стационарное функционирование сети с обратной связью и сигналами вычёркивания	74
<i>Гаврилькова Е. В.</i> Анализ временных рядов курсов валют и промышленных индексов	76
<i>Маюрникова А. В., Якубович О. В.</i> Систематизация и анализ депозитов банков Республики Беларусь	77
<i>Тетерич Н. Ю.</i> Разработка приложения определения черных включений графита на изображениях	79

Измайлов В. В., Макейчик Е. Г., Якубович Е. Д. Моделирование и разработка клиент-серверного web-приложения «Кинопоиск API»	81
Корниенко А. Г. Эконометрическое моделирование ВВП стран СНГ	83
Минаев И. А., Вертешев С. М. Технологии искусственного интеллекта для обучения IT-специалистов	85
Филимонова А. М. Применение преобразования Пуассона для бесшовного наложения изображений	86
Чучваго А. С. Компьютерная реализация непараметрических критериев сдвига на языке программирования Java	88

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Никифоров И. П., Вологин Н. А. Определение площадей прижогов на шлифованных поверхностях	89
Плохов И. В., Козырева О. И. Имитационное моделирование электрофрикционного взаимодействия	91
Довнар С. С. МКЭ-оценка аддитивно-субтрактивного станка с токарно-портальной компоновкой и бионическими колоннами	93
Хитров А. А., Хитров А. И. Моделирование электрической подсистемы автономной электроэнергетической установки малой мощности	95
Кулакова М. В., Никифоров И. П. Обеспечение электрической проводимости шлифовальных кругов	97
Федоров Д. С., Козырева О. И. Математическая модель низкочастотного электродинамического вибровозбудителя	99
Litvinov V. L., Litvinova K. V. Exact solution of the problem on forced vibrations of a string of variable length ...	101
Киргинцева С. В., Можаровский В. В., Кузьменков Д. С. Влияние физических и геометрических параметров трубы из композита на гидроудар	104
Матвиенко С. А., Михайлов А. Н., Лукичев А. В. К вопросу синтеза наукоемких синергетических технологий модификации поверхностного слоя рабочих поверхностей деталей	106

<i>Бандурин И. И.</i>	
Математическая модель выбора оптимального месторасположения коммутационных аппаратов в воздушной линии 6–10 кВ	108
<i>Кухарев А. В.</i>	
Моделирование колебаний намагниченности, возбуждаемых в наноразмерном диске кобальта спин-поляризованным током	110
<i>Кривогузова А.</i>	
Математическое моделирование двигателя BLDC со встроенным коммутатором	112
<i>Васильев Л. С., Никифоров И. П.</i>	
Методы повышения жесткости и виброустойчивости оправок для глубокого растачивания.....	114
<i>Иванов М. И., Краснов Н. С.</i>	
Роботизированная система с дистанционным управлением для обучения студентов	116
<i>Жуйков И. М., Никифоров И. П.</i>	
Гибридная технология шлифования с периодическим пластическим деформированием поверхности заготовки	118
<i>Мирный И. А.</i>	
SCADA — технологичный инструмент модернизации системы управления электротехнического комплекса плавательного бассейна	120

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ, БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

УДК 577.3

СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ И АГЕНТНЫЕ МОДЕЛИ В БИОЛОГИИ

Ризниченко Г. Ю., Рубин А. Б.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия

Ключевые слова: динамические модели, агентные модели, дифференциальные уравнения, модели эпидемий, популяционная динамика, фотосинтез.

История развития математического моделирования процессов в живых системах прошла несколько этапов [1–5]. К середине XX века были предложены отдельные феноменологические модели процессов в живых системах. Во второй половине XX века круг моделируемых процессов существенно расширился, появились модели ферментативных реакций, в том числе модели колебаний в гликолизе, модели метаболической и генной регуляции, модели биологических ритмов, или биологических часов. Были предложены и получили развитие модели, представлявшие собой системы нелинейных дифференциальных уравнений с двумя или тремя переменными, допускающие аналитическое исследование методами качественной теории дифференциальных уравнений. Представление о характерных временах процессов в клетке и наличии узкого места, теория лимитирующего фактора давали возможность упростить полную систему уравнений и при этом выявить главные факторы, которые определяют динамику биологических процессов, протекающих в системе. Теорема А. Н. Тихонова (1952), в которой сформулированы условия, допускающие упрощение систем дифференциальных уравнений с малыми параметрами при производных, дала строгое математическое обоснование метода квазистационарных концентраций для сложных систем, в которых процессы протекают с сильно отличающимися характерными временами. Именно таким путем было по существу получено и классическое уравнение ферментативной кинетики Михаэлиса-Ментен.

«Классические» модели математической биологии являются результатом системно-динамического подхода к моделированию. В изучаемой системе выделяются реально измеряемые переменные (концентрация веществ в клетке, численность видов в популяции или клеток в культуре) и связи между ними. При этом должна обеспечиваться достаточность выделенных характеристик для адекватного описания системы (гипотеза о замкнутости). Затем составляется система дифференциальных или дискретных уравнений, в которых количественно отражено, как меняются величины этих переменных во времени и пространстве. Аналитическое или численное решение такой системы уравнений при различных значениях внешних и внутренних параметров системы и раз-

личных начальных условиях позволяет давать прогноз динамического поведения системы, что соответствует решению прямой кинетической задачи. Обратная кинетическая задача состоит в таком «подборе» формы уравнений и значений параметров (констант скоростей), при которых поведение переменных системы в модели будет соответствовать реально наблюдаемой в эксперименте или в природе динамике.

Возможности математического моделирования существенно расширились в конце 20 века в связи с появлением и бурным развитием компьютерной техники. Стало возможным разрабатывать детальные системно-динамические модели, содержащие сотни и тысячи «реальных» компонентов, решать системы огромного числа уравнений, моделировать процессы в системах, обладающих сложной геометрией.

В начале XXI века при моделировании систем самой разной природы получили распространение так называемые «агентные» модели. В традиционном системно-динамическом подходе система исходно характеризуется некими обобщенными переменными (численность видов, концентрация веществ). В «агентном», «корпускулярном» методе моделирования предполагается выводить общие свойства сложных систем выводятся на основе свойств и механизмов взаимодействия составляющих эти системы «агентов» или «атомов» — неких простейших реальных объектов, составных элементов этой системы.

«Агентное» и традиционное «системно-динамическое» описания взаимно дополняют друг друга. В большой мере сам способ описания во многом определяется целями моделирования. Так, для ответа на качественные вопросы о типе и условиях динамического поведения системы удобно составлять и изучать упрощенные «феноменологические» модели. А детальные «атомистические модели» необходимы для понимания, каким образом механизмы взаимодействия биомакромолекул в клетке или особей в популяции определяют динамические свойства сложных систем. Наиболее полное понимание достигается, когда оба описания «проникают» друг в друга.

В докладе обсуждаются возможности и преимущества системно-динамического и агентного подхода для моделирования процессов в живых системах, приводятся примеры динамических и агентных моделей процессов в фотосинтетической мембране, модели распространения эпидемий (ковид 19), модели взаимодействий типа хищник-жертва.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мюррей Дж. Математическая биология. Т. 1. Введение. М.; Ижевск: ИКИ-РХД, 2009. 776 с.
2. Мюррей Дж. Математическая биология. Т. 2. Пространственные модели и их приложения в медицине. М.; Ижевск: ИКИ-РХД, 2011. 1104 с.
3. Ризниченко Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии. М.; Ижевск: Изд. РХД, 2011. 560 с.
4. Ризниченко Г. Ю., Рубин А. Б. Математические методы в биологии и экологии. Биофизическая динамика продукционных процессов в 2 ч. М.: Изд. Юрайт, Третье переработанное издание 2018. Ч. 1. 210 с. Ч. 2. 185 с.
5. Рубин А.Б. Биофизика. Т. 3. М.; Ижевск: ИКИ-РХД, 2017. 480 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФОТОСИСТЕМЫ I
С БЕЛКАМИ-ПЕРЕНОСЧИКАМИ ЭЛЕКТРОНА
МЕТОДОМ БРОУНОВСКОЙ ДИНАМИКИ**

Вольхин И. А.¹, Федоров В. А.¹, Хрущев С. С.¹, Коваленко И. Б.^{1,2}

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия

**²Научно-образовательный математический центр «Северо-Западный
центр математических исследований им. Софьи Ковалевской»
Псковский государственный университет, Россия**

Ключевые слова: фотосистема I, пластоцианин, взаимодействие белков, броуновская динамика.

Пластоцианин и цитохром *c*₆ — белки-переносчики электронов в электронтранспортной цепи цианобактерий и хлоропластов, осуществляющие перенос электрона от цитохрома *f* цитохром-*b*₆*f*-комплекса на фотосистему I. В то время как у зелёных водорослей в фотосинтезе могут принимать участие оба белка, у высших растений на это способен только пластоцианин.

Мы полагаем, что взаимодействие белка – подвижного переносчика электронов с мультиферментным комплексом можно условно разделить на несколько этапов [1]. Предполагается, что на первом этапе взаимодействия белок-переносчик диффундирует под действием случайных броуновских сил и электростатических взаимодействий с фотосистемой. Результатом диффузии является формирование столкновительного комплекса, который затем может перейти в финальный комплекс, в котором возможен туннельный перенос электрона. Разные этапы этого процесса происходят на разных временных масштабах и требуют различных подходов к описанию [2].

В данной работе мы исследуем процесс формирования столкновительного комплекса белков-переносчиков с фотосистемой I методом броуновской динамики. Особенность данного метода молекулярного моделирования заключается в том, что белок рассматривается как твёрдое тело, движущееся в вязкой среде растворителя согласно уравнениям Ланжевена. Молекулы растворителя и ионы заданы неявно и их влияние на электростатическое взаимодействие между белками учитывается с помощью расчёта электростатического потенциального поля по уравнению Пуассона-Больцмана. Моделирование броуновской динамики осуществлялось в программе ProKSim [2].

Для моделирования были выбраны белки *Chlamydomonas reinhardtii*. Каждый запуск броуновской динамики производился до тех пор, пока энергия взаимодействия между белком переносчиком и фотосистемой не становилась по абсолютному значению больше заранее выбранного порога, после чего структура столкновительного комплекса сохранялась. Использовались пороги 4кТ, 6кТ, 8кТ. Заметим, что белок цитохром *c*₆ не образовывал комплексы с фотосистемой I при пороговом значении электростатического взаимодействия 8 кТ и более. Для каждого белка-переносчика и каждого порогового значения

энергии произведено по 10000 запусков динамики. Полученные структуры электростатических столкновительных комплексов далее подвергались кластерному анализу.

Исследование подвижности белков-переносчиков внутри выявленных кластеров столкновительных комплексов показало, что на первом этапе взаимодействия пластоцианин и цитохром с₆ образуют электростатический контакт с субъединицей PsaF фотосистемы I и при этом могут свободно совершать колебания без разрыва этого контакта. Для всех исследованных белков было также показано, что комплексы с энергиями 4кТ и 6кТ формируют равномерно плотный ансамбль. Среди комплексов пластоцианина с энергией больше 8кТ выделяется два кластера в случае зелёных водорослей и три кластера в случае высших растений. Переход между центральными структурами кластеров может осуществляться поворотом вокруг оси, проходящей через белок-переносчик и субъединицу PsaF фотосистемы, т.е. без сдвига белка-переносчика относительно фотосистемы.

Путём расчёта наиболее частых электростатических аминокислотных контактов были выделены наиболее значимые остатки, отвечающие за формирование столкновительного комплекса. В случае высших растений ими являются Lys 93, Lys 100, Lys 101, Lys 107 PsaF и Glu 43, Glu 59, Asp 44 пластоцианина. В случае зелёных водорослей это Lys 85, Lys 89, Lys 78 PsaF, Asp 54, Asp 59 и Glu 44 пластоцианина и Glu 69 и Glu 54 цитохрома с₆. Центральные структуры кластеров в дальнейшем могут быть использованы для моделирования формирования финального комплекса методом молекулярной динамики.

Работа И.Б.Коваленко проведена в рамках реализации проекта «Научно-образовательный математический центр “Северо-Западный центр математических исследований имени Софьи Ковалевской”» (соглашение № 075-02-2023-937 от 16 февраля 2023 г).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fedorov V. A., Kovalenko I. B., Khrushev S. S., Ustinin D. M., Antal T. K., Riznichenko G. Yu. and Rubin A. B. "Comparative analysis of plastocyanin-cytochrome f complex formation in higher plants, green algae and cyanobacteria", *Physiologia Plantarum*. Vol. 166, No. 1. Pp. 320–335, 2019.
2. Федоров В. А., Хрущев С. С., Коваленко И. Б. Анализ траекторий броуновской и молекулярной динамики для выявления механизмов белок-белковых взаимодействий // Компьютерные исследования и моделирование. 2023. Т. 15. № 3. С. 723–738.

**ВЫБОР БАЗОВОГО РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА ДЛЯ СОЗДАНИЯ
БИОРАЗЛАГАЕМОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА С ПОМОЩЬЮ
МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

Марченко Л. Н.¹, Подгорная В. В.², Ковалева И. Н.²

**¹Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь**

**²Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого
НАН Беларуси, Республика Беларусь**

Ключевые слова: биоразлагаемые смазочные материалы, растительные масла, животные жиры, классификация масел, многокритериальная оптимизация, TOPSIS.

Проблемы загрязнения окружающей среды во всем мире обусловили вернувшийся интерес исследователей и промышленных предприятий к смазочным материалам на основе растительных масел и животных жиров. Возрастающие требования к экологической безопасности в ряде отраслей промышленности, сельского и лесного хозяйства приняли к обязательному исполнению использование биоразлагаемых растительных масел в качестве основы для промышленных смазок, а также дисперсионной среды для консистентных [1]. Основной проблемой отбора образцов для базовой основы является неравнозначность признаков, по которым он производится. Это обусловлено различной значимостью характеристик с точки зрения описания функциональности объекта. Решить проблему помогают многокритериальные математические методы [2, 3].

В работе рассмотрены физико-химические свойства масел рапсового, подсолнечного, кукурузного, льняного, оливкового, соевого, пальмового, касторового, кокосового, конопляного, свиного жира, говяжьего жира, куриного жира, для сравнения - минерального И-40 и синтетического РАО 100. Оценивались следующие параметры масел: плотность при 20 °С (X1, кг/м³), кинематическая вязкость при 100 °С (X2, мм²/с), кислотное число (X3, мг КОН/г), температура вспышки (X4, °С), температура застывания (X5, °С), процентное содержание олеиновой кислоты (X6, %), процентное содержание линолевой кислоты (X7, %), процентное содержание линоленовой кислоты (X8, %).

Методами кластерного анализа проведена классификация масел по указанным критериям. Выделены группы масел, обладающих однородными свойствами. Выбор масла, обладающего оптимальными характеристиками, осуществлялся с помощью следующих методов многокритериальной оптимизации: метод главного критерия, линейной аддитивной свертки и TOPSIS [4]. Согласно метода линейной свертки многокритериальная задача сводилась к однокритериальной путем введения интегрального показателя. Идея метода TOPSIS заключается в том, что из сравниваемых альтернатив наилучшей считается та, которая имеет наименьшее расстояния от наилучшего варианта (идеального решения) и наибольшее расстояния от наихудшего (антиидеальное решение). В

результате исследований получили ранжирование масел с оптимальными характеристиками, которое может использоваться в дальнейших прикладных исследованиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Directive 2003/30/EC 8.05/2005; Directive 2009/28/EC 23.07.2009
2. Зак Ю. А. Прикладные задачи многокритериальной оптимизации. М.: Экономика, 2014. 455 с.
3. Черноруцкий И. Г. Методы оптимизации и принятия решений. СПб.: Лань, 2001. 384 с.
4. Hwang C. L., Yoon K. Multiple attributes decision making methods and applications. Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1981. 269 p. DOI: 10.1007/978-3-642-48318-9. Date of access: 20.05.2023.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ГРАДИЕНТОВ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАБОЛИТОВ В ЦИФРОВЫХ ФАНТОМАХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Нарциссов Я. Р.^{1,2}

¹ НИИ цитохимии и молекулярной фармакологии, Россия

² Группа биомедицинских исследований, БиДиФарма ГмбХ, Зик, Германия

Ключевые слова: реакция-диффузия, конвекция, пространственный полиморфизм, биологический фантом.

Практически все биологические объекты обладают свойством пространственной распределенности процессов. Это находит свое отражение в зависимости физико-химических переменных от координаты положения определенной области внутри изучаемого объекта. Кроме этого, характерной особенностью биологически значимых переменных является их зависимость от времени в ходе адиабатического или спайкового изменения ряда параметров системы. Важнейшими величинами, описывающими состояние организма, ткани и клеток являются концентрации химических соединений, принимающих участие в метаболических реакциях. Моделирование подобных процессов базируется на решении краевых задачи для уравнений (систем уравнений) параболического типа, в которых также необходимо учитывать конвекционную составляющую, электродиффузию, а также реакции, протекающие в среде.

В биологических объектах создание и формулировку моделей можно осуществлять на основе предложенной геометрической классификация краевых задач (N/N Classification), которая позволяет описывать обширный спектр встречающихся постановок задач при исследовании различных явлений. Формализацию цифрового фантома, в котором происходит моделирование можно осуществлять с использованием алгоритма создания сложных объектов на базе 3D структур Вороного [1, 2]. На различных примерах, включающих в себя моделирование распределения концентрации метаболитов вблизи стенки сосудов в нейроваскулярной единице [3, 4], диффузию гидроперекиси в тканях мозга [5], распределение ионов хлора в постсинаптическом бутоне глицинэргического синапса [6] было показано, что геометрические особенности неоднородностей биологического объекта влияют не только на амплитуду градиентов метаболитов, но и на качественный ответ биологической системы на внешнее воздействие. Данное свойство пространственного полиморфизма является фундаментальной особенностью и должно учитываться при рассмотрении всех классов биологических объектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nartsissov Y. R. A novel algorithm of the digital nervous tissue phantom creation based on 3D Voronoi diagram application. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 2090. No. 1. P. 012009, 2021/11/01 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2090/1/012009.

2. Nartsissov Y. R. and Zagubnaya O. A. A digital 3D reconstruction of a synaptic cleft which can be used for further modeling of neuromediators convectional diffusion in a nervous tissue. AIP Conference Proceedings. Vol. 2872. No. 1. P. 120003. 2023. doi: 10.1063/5.0162989.

3. Nartsissov Y. R. The Effect of Flux Dysconnectivity Functions on Concentration Gradients Changes in a Multicomponent Model of Convectional Reaction-Diffusion by the Example of a Neurovascular Unit. Defect and Diffusion Forum. Vol. 413. Pp. 19–28. 2021. doi: 10.4028/www.scientific.net/DDF.413.19.

4. Nartsissov Y. R. Application of a multicomponent model of convectional reaction-diffusion to description of glucose gradients in a neurovascular unit. Frontiers in Physiology, Methods vol. 13, 2022, doi: 10.3389/fphys.2022.843473.

5. Selivanov V. A., Zagubnaya O. A., Nartsissov Y. R. and Cascante M. Unveiling a key role of oxaloacetate-glutamate interaction in regulation of respiration and ROS generation in non-synaptic brain mitochondria using a kinetic model. PLoS ONE, Article Vol. 16. No. 8. P. e0255164, 2021, Art no. e0255164, doi: 10.1371/journal.pone.0255164.

6. Nartsissov Y. R. and Ivontsin L. A. Mathematical Modelling of Physiological Effects Caused by a Glycine Receptors Post-Synaptic Density Spatial Polymorphism. Mathematics. Vol. 11. No. 11. doi: 10.3390/math11112499.

**СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СПОНТАННЫХ
ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ ТУБУЛИНОВЫХ МИКРОТРУБОЧЕК
МЕЖДУ ФАЗАМИ СБОРКИ И РАЗБОРКИ**

Александрова В. В.^{1,2}, Гудимчук Н. Б.^{1,2,3}

**¹ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Россия**

**² Центр теоретических проблем физико-химической фармакологии РАН,
Россия**

**³ Научно-образовательный математический центр «Северо-Западный
центр математических исследований им. Софьи Ковалевской»,
Псковский государственный университет, Россия**

Ключевые слова: стохастическое моделирование, микротрубочки, цитоскелет, тубулин.

Микротрубочки являются важными полимерами белка тубулина, которые демонстрируют циклы удлинения и укорочения во всех эукариотических клетках. Стохастические переключения микротрубочек между фазами удлинения и укорочения называются катастрофами и спасениями. Эти переключения четко регулируются в клетках на протяжении всего их жизненного цикла. Например, во время клеточного деления частота катастроф микротрубочек существенно увеличивается, а частота спасений, наоборот, уменьшается, чтобы четко подстроить поведение микротрубочек под конкретные задачи, стоящие перед клеткой. Неравновесная динамика микротрубочек помогает реорганизовать цитоскелет, изменять и поддерживать форму клетки, генерировать механические силы для ремоделирования мембраны, изменения положения органелл и разделения дуплицированных хромосом во время митоза. Накопленные за последние годы биохимические данные и данные электронной криотомографии заставили пересмотреть ранее широко принятую модель сборки микротрубочки. Вопреки ранее классическим представлениям обнаружилось, что микротрубочки растут за счет добавления не прямых, а изогнутых тубулинов в комплексе с гуанозинтрифосфатом (ГТФ) к кончикам изогнутых тубулиновых протофиламентов как в клетках, так и в очищенных системах белков.

Авторами была построена стохастическая модель микротрубочки, которая явно учитывает как нуклеотидное, так и конформационное состояния тубулина [1]. Модель была реализована в пакете Matlab 2017b на основе алгоритма первой реакции Гиллеспи [2]. Параметризация модели проводилась по опубликованным экспериментальным данным о динамике микротрубочек в очищенной системе *in vitro*. Модель позволяет воспроизводить катастрофы и «старение» микротрубочек — постепенное снижение устойчивости микротрубочек с течением времени. Анализ динамики микротрубочек в модели указывает на то, что стабильность микротрубочек определяется не только лишь присутствием так называемой ГТФ-шапки на собирающемся конце микротрубочек, но еще и самой структурой

этих концов. Интересно, что модель с полностью ограниченными параметрами предсказывает крайне низкую частоту спонтанных спасений микротрубочек. Они возникают в симуляциях только если стенка микротрубочек содержит участки встроенного ГТФ-тубулина. Это позволяет утверждать, что присутствие нерегулярностей решетки, ведущих к встраиванию ГТФ-тубулинов в тело микротрубочек, может быть важным и даже доминантным механизмом спонтанного переключения микротрубочек от разборки к сборке. В целом, наше исследование устанавливает единую теорию для описания процессов сборки, разборки микротрубочек и стохастических переключений между этими динамическими фазами.

Работа частично выполнена в рамках проекта «Научно-образовательный математический центр “Северо-Западный центр математических исследований имени Софьи Ковалевской”» (соглашение № 075-02-2023-937 от 16 февраля 2023 г).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alexandrova V. V., Anisimov M. N., Zaitsev A. V., Mustyatsa V. V., Popov V. V., Ataulakhanov F. I., Gudimchuk N. B. A theory of tip structure-dependent microtubule catastrophes and damage-induced microtubule rescues // *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 2022. V. 119. № 46, e2208294119.
2. Gillespie D. T. A general method for numerically simulating the stochastic time evolution of coupled chemical reactions // *J. Comput. Phys.* 1976. V. 22. P. 403–434.

**РАЗРАБОТКА ИНТЕГРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ
ЭЛЕКТРОНТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
РЕДУЦИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ ФОТОСИСТЕМ 1 И 2
И ЦИТОХРОМНОГО b_6/f КОМПЛЕКСА**

**Хрущев С. С., Плюснина Т. Ю., Ризниченко Г. Ю., Рубин А. Б.,
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Россия**

Ключевые слова: математическое моделирование, фотосинтез, идентификация параметров, дифференциальные уравнения, фотосинтетический электронный транспорт.

Трансформация энергии солнечного света в энергию химических связей органических соединений является ключевым процессом, обеспечивающим существование жизни на Земле. Такая трансформация становится возможным за счёт сопряжения сотен различных физических процессов и химических реакций, происходящих в растительных клетках. В ходе эволюции возникла сложная пространственная организация фотосинтетического аппарата (ФСА), которая позволяет растениям с высокой эффективностью использовать энергию поглощаемых квантов света. К настоящему времени подробно изучено строение и функционирование ФСА, что позволяют создавать чрезвычайно сложные математические модели, детально воспроизводящие наблюдаемые в экспериментах явления. Однако создание интегральной математической модели, воспроизводящей функционирование ФСА в целом, и включающей в себя все элементарные реакции, едва ли целесообразно, так как чрезвычайная сложность такой модели сделала бы исследование её свойств ещё более трудоёмким, чем исследование самой живой системы. В связи с этим представляется целесообразным разбить модель на отдельные функциональные блоки, и на основе детального описания каждого блока создать такое их упрощённое описание, которое бы сохраняло все наблюдаемые «снаружи» параметры этих блоков.

При моделировании первичных процессов фотосинтеза, происходящих в тилакоидной мембране хлоропласта, в качестве таких функциональных блоков естественным образом можно выделить трансмембранные белковые комплексы, объединяющие светособирающие пигменты и редокс-кофакторы в единую молекулярную машину. Эти комплексы взаимодействуют между собой за счёт мобильных переносчиков электрона, и участвуют в создании трансмембранных градиентов ионов. Элементарные процессы, обеспечивающие функционирование такого комплекса, имеют характерные времена от фемтосекунд до микросекунд, в то время как характерные времена изменения редокс-состояния пулов мобильных переносчиков электронов и градиентов химических и электрохимических потенциалов значительно больше — от миллисекунд и больше. Такое разделение времён позволяет при рассмотрении процессов, происходящих внутри комплекса, не учитывать изменения, происходящие в его окружении. Это приводит к тому, что все эти процессы могут быть описаны как химические реакции первого (или квази-первого) порядка, и для вероятности нахождения

комплекса в каждом из возможных состояний может быть записано автономное управляющее уравнение (master equation), линейное относительно этих вероятностей (1):

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{p}, \quad (1)$$

где \mathbf{p} — вектор, составленный из вероятности нахождения комплекса в каждом из состояний, \mathbf{A} — матрица скоростей перехода между состояниями. Недиагональными элементами матрицы \mathbf{A} являются либо непосредственно константы скорости соответствующих элементарных процессов, либо их произведения на концентрации окисленных и восстановленных форм мобильных переносчиков, ионов водорода и т. п.; диагональными — взятые с обратным знаком суммы недиагональных элементов каждого столбца. Принимая, что в состоянии равновесия $\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{0}$, можно найти стационарное состояние $\bar{\mathbf{p}}$ как функцию от параметров элементарных реакций и размеров и степени восстановленности пулов мобильных переносчиков электрона. Зная $\bar{\mathbf{p}}$, мы можем определить скорость транспорта электронов через комплекс как разность скоростей прямых и обратных реакций, участвующих в этом транспорте. В векторном виде это может быть записано как скалярное произведение (2):

$$v = \mathbf{c} \cdot \bar{\mathbf{p}}, \quad (2)$$

где вектор \mathbf{c} составляется из констант скорости элементарных реакций. Зависимость v от степени восстановленности пулов мобильных переносчиков электрона и других внешних условий может рассматриваться как функция отклика (response function) для соответствующего комплекса. Для сравнительно простых случаев вид функции отклика может быть определён аналитически, однако для таких комплексов, как фотосистема 1 и 2 и цитохромный b_6f комплекс, число состояний в детальной модели которых исчисляется многими сотнями и даже тысячами, вывод аналитической записи функции отклика не представляется возможным, поэтому для её анализа целесообразно использовать численные методы.

Каждая из фотосистем 1 и 2 характеризуется однонаправленным транспортом электронов, поэтому при использовании предложенного подхода для описания потока электронов как на донорной, так и на акцепторной стороне используется одна и та же функция отклика. Цитохромный b_6f комплекс выступает в роли хаба, способного к переключению между линейным транспортом электронов от фотосистемы 2 к фотосистеме 1 и циклическим транспортом вокруг фотосистемы 1, поэтому для его описания необходимо использовать три функции отклика для окисления/восстановления каждого из переносчиков — пластохинона, пластоцианина и ферредоксина. Таким образом, использование функций отклика позволяет на несколько порядков (с нескольких тысяч уравнений до нескольких уравнений) уменьшить число дифференциальных уравнений, необходимых для описания динамики редокс-состояния пулов мобильных переносчиков электрона.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 22-11-00009.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРАТАЦИИ ПРОТОННЫХ ПОЛУКАНАЛОВ F₀F₁-АТФ СИНТАЗЫ

Ивонцин Л. А.¹, Машковцева Е. В.^{1,2}, Нарциссов Я. Р.^{1,3}

¹НИИ цитохимии и молекулярной фармакологии, Россия

²ФГАОУ ВО «Российский Национальный Исследовательский Медицинский
Университет им. Н. И. Пирогова» МЗ РФ, Россия

³Группа биомедицинских исследований, БиДиФарма ГмбХ, Зик, Германия

Ключевые слова: F₀F₁-АТФсинтаза; протонный транспорт; молекулы воды; кардиолипин; молекулярная динамика.

Важную роль в обмене веществ и энергии в живых организмах играет аденозинтрифосфат (АТФ), макроэргическое соединение, которое является универсальным источником энергии для многих биохимических процессов. Один из основных путей образования АТФ в клетке осуществляется мембранным белковым комплексом F₀F₁-АТФсинтазой с использованием электрохимического градиента ионов водорода [1]. Данный механизм является ключевым для поддержания жизни организмов и является объектом множества исследований в области биоэнергетики, молекулярной и структурной биологии.

Одним из важнейших процессов в каталитическом цикле фермента является перенос протонов через мембранный фактор F₀ по двум несоосным полуканалам. Существенное влияние на транспорт протонов могут оказывать молекулы воды, расположенные внутри фермента [2]. К сожалению, в настоящий момент большинство структур АТФсинтаз представлены без явного указания положений молекул воды, хотя их присутствие высоковероятно [3]. Тем не менее, использование методов классической молекулярной динамики позволит получить детальное атомное описание взаимодействий белка с молекулами растворителя.

Для исследования гидратации протонных полуканалов было проведено молекулярно-динамическое моделирование мембранной части F₀F₁-АТФсинтазы из *E. Coli* [PDB ID: 6VWK] [4], встроенной в три типа мембран с различным липидным составом, в частности, разным уровнем содержания кардиолипинов (CL), которые играют существенную роль в процессах передачи энергии, поддерживая структуру и функциональную активность дыхательных комплексов. Были рассмотрены модельная мембрана, состоящая только из фосфатидилхолина (POPC), *in vivo* мембрана, содержащая 25 % CL, и липидный бислой с 75 % CL, что соответствует условиям бактериального стресса.

Во входном полуканале были обнаружены две водные полости, через которые протон может проникать внутрь фермента, и по высококонсервативной цепи переноса протона, включающей существенные полярные аминокислотные остатки, достигать ключевого аминокислотного остатка Asp61 c-субъединицы, который при этом протонируется. Однако, при моделировании в POPC мем-

бране наличие критических расстояний между существенными аминокислотами в сочетании с низкой гидратацией фермента указывает на высокий риск нестабильности протонного транспорта [5].

Наличие CL очевидно увеличивало гидратацию полуканалов. С помощью анализа геометрии взаимного расположения аминокислотных остатков белка и растворителя были установлены консервативные для протонного транспорта области локализации трех структурных кластеров молекул воды (W1-W3), необходимых для существования непрерывной цепи переноса. Кроме того, мы обнаружили формирование длинных цепочек из молекул воды, по которым протон мог достигать ключевого *cAsp61* напрямую из периплазмы [6].

При этом выходной полуканал представлял собой водную полость и содержал большое количество гидрофильных аминокислотных остатков, которые вместе с молекулами воды образовывали большие разветвленные сети водородных связей, по которым протон после депротонирования *cAsp61* мог перемещаться в цитоплазму.

Таким образом, полученные результаты дают представление о влиянии фосфолипидного состава мембраны на гидратацию обоих полуканалов в АТФ-синтазе. Полученная в работе сеть полярных аминокислотных остатков и молекул воды позволит провести моделирование траекторий движения протона через мембранную часть белка, а также оценить параметры протонного транспорта, которые сложно измерить экспериментальными методами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Walker J. E. The ATP synthase: the understood, the uncertain and the unknown. *Biochemical Society Transactions*, 2013. Vol. 41. P. 1–16.
2. Morozenko A., Stuchebrukhov A. Dowser++, a New Method of Hydrating Protein Structures. *Proteins*, 2016. Vol. 84. P. 1347–57.
3. Ernst J., Clubb R., Zhou H., Gronenborn A., Clore G. Demonstration of positionally disordered water within a protein hydrophobic cavity by NMR. *Science*, 1995. Vol. 267. P. 1813–7.
4. Sobti M. et al. Cryo-EM structures provide insight into how E. coli F1Fo ATP synthase accommodates symmetry mismatch. *Nature Communications*, 2020. Vol. 11. P. 2615.
5. Ivontsin L. A., Mashkovtseva E. V., Nartsissov Y. R. Insights on the proton translocation pathways in FoF1-ATP synthase using molecular dynamics simulations. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2022. Vol. 717. P. 109135.
6. Ivontsin L. A., Mashkovtseva E. V., Nartsissov Y. R. Membrane Lipid Composition Influences the Hydration of Proton Half-Channels in FoF1-ATP Synthase. *Life*, 2023. Vol. 13(9). P. 1816.

УДК 51-76

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА ВОДОЕМОВ

Плюснина Т. Ю., Червицов Р. Н., Хрущев С. С., Ризниченко Г. Ю.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия

Ключевые слова: фитопланктон, фотосистема 2, индукционная кривая, кластерный анализ, классификатор «случайный лес».

Разработка современных приборов быстрой регистрации состояния фотосинтетического аппарата фитопланктона дает возможность создавать сети автономных станций, осуществляющих мониторинг водных объектов, и получать большие массивы данных по биоиндикации. Такие массивы данных требуют разработки методов анализа. В данной работе показано, каким образом сочетание методов машинного обучения с традиционными статистическими методами может быть использовано для выявления неявных закономерностей в массиве данных по действию тяжёлых металлов на природный фитопланктон.

Проведён анализ динамики изменения фотосинтетической активности проб фитопланктона из 9 водоёмов Псковской области при долгосрочном воздействии солей кадмия и хрома. Всего было проанализировано 465 индукционных кривых, форма каждой кривой характеризовалась 14-ю параметрами, набор таких параметров и составил массив данных для анализа. С помощью кластерного анализа все водные объекты были разделены на две группы, характеризующиеся более низкой (группа 1) или более высокой (группа 2) фотосинтетической активностью. Характеристики образцов внутри каждой группы сходны между собой и статистически значимо отличаются от характеристик образцов другой группы.

Для того чтобы определить наличие или отсутствие токсиканта в среде обитания, был использован классификатор «Случайный лес». Точность классификатора определялась методом кросс-валидации и составила примерно 83%. Точность классификации зависела от времени инкубации: для контрольных наблюдений точность со временем снижается, а для наблюдений с токсикантами — увеличивается. Показано, что в пробах с изначально низкой активностью фотосинтетического аппарата токсическое действие тяжёлых металлов проявляется на более поздних сроках инкубации по сравнению с более активными пробами.

В перспективе, применение данных методов может быть использовано при создании системы экологического мониторинга для обнаружения токсиканта в среде обитания фитопланктона.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 22-11-00009.

**МЕТОДИКА ПРОГРАММНОГО ОКРАШИВАНИЯ
ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ, ВЫДЕРЖАННЫХ В ВОДНЫХ
РАСТВОРАХ НАНОЧАСТИЦ CdSe/ZnS, НА ОСНОВАНИИ
ИНФОРМАЦИИ О СПЕКТРАХ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ НАНОЧАСТИЦ**

**Копыцкий А. В.¹, Мотевич И. Г.¹, Стрекаль Н. Д.¹, Хильманович В. Н.²,
Шиман О. В.²**

¹Гродненский государственный университет, Республика Беларусь

**²Гродненский государственный медицинский университет,
Республика Беларусь**

Ключевые слова: наночастицы, CdSe/ZnS, спектры люминесценции, программное окрашивание.

В последние десятилетия расширяется область использования наночастиц (квантовых точек) в различных областях человеческого знания: оптике, электронике, медицине, фармакологии и т. д. Одной из возможных областей их применения является гистология, где наночастицы потенциально могут быть использованы как красители, поведение которых зависит от гистологического окружения. Так, в частности, наночастицы CdSe/ZnS меняют спектр люминесценции, находясь при различных рН [1]. Ранее нами уже была разработана методика оценивания распределения рН по гистологическому образцу, в основе которой лежит изменение спектра люминесценции наночастиц вследствие квантово-размерного эффекта Штарка [2]. Данная методика позволяет разбить все точки гистологического образца на 3 класса: с низким («кислотным»), нейтральным, высоким («щелочным») рН. Позднее данная методика была усовершенствована — теперь принадлежность точки к одному из 7 возможных классов определялась по итогам сравнения расстояний между спектром наночастиц в этой точке и 7 эталонными спектрами, зафиксированными в растворах с различными рН: 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10 [3]. Предварительно по имеющимся образцам можно сделать заключение о том, что определение примерного значения рН в точке несёт дополнительную диагностическую информацию: опухолевые гистологические препараты имеют, как правило, заниженное значение рН по сравнению со здоровой тканью, что, может быть полезно в случае неоднозначности постановки гистологического заключения.

Помимо использования полученной спектральной информации для определения распределения рН по гистологическому образцу, её можно применить для программного окрашивания гистологического образца. Для этого есть следующие предпосылки: длины волн спектров люминесценции наночастиц CdSe/ZnS в наших экспериментах находятся в области видимого света (как правило, от 473 до 640 нм); данные спектры можно визуализировать, используя алгоритм, изложенный в документации CIE [4].

Согласно этому алгоритму, при наличии источника света со спектром $S(\lambda)$ в некоторой точке цвет этой точки, воспринимаемый усреднённым чело-

веческим глазом, определяется системой уравнений (1):

$$X = k \sum_{\lambda} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda, Y = k \sum_{\lambda} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda, Z = k \sum_{\lambda} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda, \quad (1)$$

где X, Y, Z — тристимулы (координаты цветового пространства XYZ), k — нормализующая константа, $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ — относительные спектральные световые эффективности монохроматического излучения для стандартного колориметрического наблюдателя, λ — длина световой волны, $\Delta\lambda$ — инкремент длины волны (0,1, 1 или 5 нм).

Нормированные функции $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ определяются по специальным таблицам, учитывающим чувствительность стандартного колориметрического наблюдателя к определённым длинам волн. Значения указанных нормированных функций уже табулированы для различных условий [5]. Полученные хроматические координаты XYZ далее можно преобразовать в цветовое пространство sRGB для отображения на мониторе ПК, также можно применить дополнительные методы улучшения качества изображения (например, гамма-коррекцию). Таким образом, описанная методика позволяет визуализировать цвет свечения гистологического образца при одномоментном возбуждении люминесценции наночастиц CdSe/ZnS по всей его площади.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Флуоресцентные наночастицы CdSe/ZnS как нанозонды локального pH в диагностике онкологических заболеваний / И. Г. Мотевич, Н. Д. Стрекаль, А. В. Шульга, С. А. Маскевич // Оптика и спектроскопия. 2018. Т. 124, № 5. С. 605–611. DOI 10.21883/OS.2018.05.45939.277.
2. Программное окрашивание гистологических срезов тканей по спектрам люминесценции квантовых точек CdSe/ZnS / А. В. Копыцкий [и др.] // Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем. К 100-летию белорусской академической науки: тез. докл. междунар. науч. конф., Пятнадцатого съезда Белорус. обществ. об-ния фотобиологов и биофизиков (Респ. Беларусь, Минск, 15–17 июня 2022 г). / Минск: БГУ, 2022. С. 165.
3. Копыцкий, А. В. Определение распределения pH гистологического среза, выдержанного в водном растворе квантовых точек CdSe/ZnS, по их спектрам люминесценции / А. В. Копыцкий, В. Н. Хильманович // Медицинский университет: современные взгляды и новые подходы: Сборник материалов республиканской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 65-летию Гродненского государственного медицинского университета (Гродненский государственный медицинский университет Гродно, 28–29 сентября 2023 г). / Гродненский государственный медицинский университет. 2023. С. 243-244.
4. Committee Report E-1.4.1” in *CIE Proceedings (Vienna Session, 1963)*, Paris, France: Bureau Central de la CIE, 1964. Pp. 209–220.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ВИРУСНЫМИ ИНФЕКЦИЯМИ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Самаркин А. И.¹, Иванова Н. В.¹, Белов В. С.¹, Ревенко А. Б.²

¹ Псковский государственный университет, Россия

² Управление Росгвардии по Псковской области, Россия

Ключевые слова: имитационное моделирование, COVID-19, эпидемия, прогноз.

Эпидемии вирусных инфекций нуждаются в моделировании и прогнозировании. Вместе с тем, как традиционные модели регрессии, так и нейронные сети предполагают определенный начальный участок, на котором происходит идентификация параметров модели и выбор ее вида.

Для новых инфекций и для прогнозирования различных сценариев развития предпочтительнее выглядят имитационные модели. Так, в эпидемиологии находят применение компартментные модели, такие как SIR, SEIR и аналогичные. Для них характерно представление о населении как о больших группах (компартаментах), между которыми происходит перемещение индивидуумов по определенным правилам. Например, лица без иммунитета (S) переходят в состояние носителей инфекции (E) пропорционально контагиозности вируса и частоте социальных контактов. Это сближает указанные модели с клеточными автоматами или машинами состояний.

Компартментные модели не могут объяснить, например, волновой рост заболеваемости и являются детерминированными. Предполагается также, что численность населения в компартаментах достаточно велика для обеспечения гомогенности происходящих процессов. Таким образом модели SEIR имеют ограниченное применение. Более реалистичные результаты, зачастую, демонстрируют имитационные модели, основанные на методе Монте-Карло, которые позволяют симулировать различные сценарии развития ситуации.

Авторами разработана имитационная модель, включающая:

1. Модель региона, состоящего из областей, соединенных транспортными коридорами.
2. Модель области, в которой происходит движение населения
3. Модель населения (популяции), проживающей в заданной области, которая генерируется в соответствии с демографической структурой региона.
4. Модель индивидуума, который обладает способностью перемещаться в пределах области и обладает индивидуальными характеристиками.
5. Модель вируса, обладающего контагиозностью и рядом других характеристик.
6. Модель территории области, на которой распространяются факторы, способствующие заражению или затрудняющие заражение.

Модель за каждый шаг имитации:

1. Перемещает индивидуумов по территории, модифицирует параметры движения.

2. Определяет количество контактов инфицированных с лицами, не имеющими иммунитета.
3. Моделирует для контакта процесс заражения, а для вновь зараженных устанавливает индивидуально скорректированные параметры заболевания
4. Для лиц в инкубационном периоде – переход в стадию инфицированных, для инфицированных – в стадию выздоровления или смерти.
5. Выздоровевшие получают иммунитет, который ослабляется с течением времени, и через заданный период обеспечивает переход иммунных пациентов в группу подверженных заражению.
6. Перемещает часть лиц из одной области в другую в соответствии с емкостью транспортных коридоров, включая поступление лиц извне моделируемого региона.
7. Модифицирует территориальные факторы.

Шаги с 1 по 7 повторяются до окончания времени моделирования.

Модель позволяет оценить количество лиц в компартментах SEIR на каждом шаге симуляции и интегрально по ее завершении. Допускается учет ограничительных мер, влияния процесса вакцинации (через компартмент вакцинированных индивидуумов), смены доминирующего штамма и т. п.

ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ГЛУТАМАТНОГО СИНАПСА

Загубная О. А.^{1,2}, Нарциссов Я. Р.^{1,2}

¹ НИИ цитохимии и молекулярной фармакологии, Россия

² Группа биомедицинских исследований, БиДиФарма ГмбХ, Зик, Германия

Ключевые слова: глутамат, диффузия нейромедиаторов, синапс, мембранные переносчики.

Основой функционирования центральной нервной системы (ЦНС) наряду с проведением импульса по возбудимой мембране является передача химического сигнала через контакты между нейронами — химическими синапсами. Подобная передача осуществляется через пространственно упорядоченные структуры, включающие пресинаптическую мембрану одного нейрона, из которого происходит выброс нейромедиатора, непосредственно синаптическую щель, в которой происходит диффузия медиатора и постсинаптической мембраны, на которой расположены рецепторы, активирующиеся и передающие сигнал другому нейрону. Активную роль в данном процессе играют так астроциты — клетки, окружающие синапс и обеспечивающие захват выброшенного медиатора. Пространственная структурированная модель изолированного синапса была разработана ранее на примере глицинового синапса [1], а также предложены методы пространственной локализации участков астроцитов, позволяющей учитывать конвекцию и диффузию нейромедиаторов из синаптической щели в интерстициальное пространство [2]. В данной работе разработана пространственная 3D модель глутаматного синапса. На основе экспериментальных данных о форме и размере пресинаптических везикул, содержащих нейромедиатор построена возможная пространственная локализация областей выброса глутамата из пресинаптического окончания нейрона.

Используя полученные результаты исследований особенностей структуры взаимодействия астроцитов с нейронами в области синаптического контакта создана, улучшенная геометрическая форма глутаматэргического синапса, учитывающая биологически значимые особенности распространения нейромедиатора. С использованием модели конвекционной диффузии и поглощения на мембранах клеток получены градиенты глутамата в синаптической щели и окружающей ее интерстициальной жидкости в момент выброса медиатора из везикул и в последующие моменты времени. Показано, что изменение плотности распределения глутаматных переносчиков оказывает значительное влияние на формирование концентрационных градиентов глутамата, что в свою очередь позволяет объяснить возможные механизмы формирования глутаматной эксайтотоксичности, приводящий к развитию целого ряда нейродегенеративных заболеваний [3, 4].

Предложенная в работе модель может быть использована в качестве универсального методического приема, описывающего пространственно-временные

изменения концентрации нейромедиаторов вблизи области синаптического контакта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nartsissov Y. R. and Ivontsin L. A. Mathematical Modelling of Physiological Effects Caused by a Glycine Receptors Post-Synaptic Density Spatial Polymorphism. *Mathematics*. Vol. 11. No. 11. doi: 10.3390/math11112499.

2. Nartsissov Y. R. and Zagubnaya O. A. A digital 3D reconstruction of a synaptic cleft which can be used for further modeling of neuromediators convectional diffusion in a nervous tissue. *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2872. No. 1. P. 120003, 2023, doi: 10.1063/5.0162989.

3. Nartsissov Y. R. Amino Acids as Neurotransmitters. The Balance between Excitation and Inhibition as a Background for Future Clinical Applications. in *COVID-19. Neuroimmunology and Neural Function* D. T. H. a. D. R. Weissert Ed.: IntechOpen, 2022.

4. Selivanov V. A., Zagubnaya O. A., Nartsissov Y. R. and Cascante M. Unveiling a key role of oxaloacetate-glutamate interaction in regulation of respiration and ROS generation in non-synaptic brain mitochondria using a kinetic model. *PLoS ONE*, Article. Vol. 16. No. 8. p. e0255164. 2021. Art no. e0255164, doi: 10.1371/journal.pone.0255164

**МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТИЛЕНОВОГО СИНЕГО
С ОБОЛОЧКОЙ КОРОНАВИРУСА SARS-COV-2
МЕТОДОМ БРОУНОВСКОЙ ДИНАМИКИ**

**Васюченко Е. П.¹, Коваленко И. Б.^{1,2}, Холина Е. Г.¹, Федоров В. А.¹,
Хрущев С. С.¹, Страховская М. Г.¹**

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия

**²Научно-образовательный математический центр «Северо-Западный
центр математических исследований имени Софьи Ковалевской»,
Псковский государственный университет, Россия**

Ключевые слова: SARS-CoV-2, метиленовый синий, броуновская динамика, электростатическое взаимодействие.

В 2019 году SARS-CoV-2 стал причиной мировой пандемии COVID-19. Несмотря на то, что после начала пандемии прошло более 3 лет, изучение различных противомикробных веществ, действующих на коронавирусы, не теряет своей актуальности. На данный момент число заболевших новыми штаммами коронавируса продолжает расти. В настоящей работе изучено взаимодействие метиленового синего (МС) с оболочкой коронавируса SARS-CoV-2.

МС является широко распространенным в медицинской практике веществом, с известными антибактериальными и противовирусными свойствами. Показано, что он может ингибировать различные стадии жизненного цикла вируса в фотодинамических, а также в фотонезависимых процессах, однако, точные механизмы действия МС на структуры коронавируса не до конца изучены.

Для изучения мест связывания МС на поверхности коронавируса мы использовали крупнозернистую модель внешней оболочки SARS-CoV-2, созданную в работе Pezeshkian W. et al., 2023 [1]. Для МС нами была создана крупнозернистая модель в силовом поле Martini [2], общий заряд молекулы принимался равным +1. В работе был применен метод броуновской динамики для моделирования диффузии и электростатического взаимодействия МС с оболочкой коронавируса, расчеты производились в программном пакете ProKSim [3]. Считалось, что МС образует комплекс с оболочкой вируса, если энергия электростатического притяжения составляет более 2 кТ. Мы получили 30 000 таких комплексов для анализа мест связывания МС с оболочкой коронавируса.

Расчет электростатического потенциального поля вирусной оболочки показал наличие на ней обширных отрицательно заряженных областей, которые являются предпочтительными местами связывания МС. Такие области в основном формируются за счет отрицательно заряженных липидов оболочки и областей S белков, соединяющими их «голову» и «ногу», что соответствует ранее полученным нами данным по взаимодействию полноатомной структуры S белка с МС [4]. В настоящей работе нами были выявлены основные структурные компоненты оболочки, с которыми взаимодействует МС. Основными мишенями для связывания МС оказались S белки, E белки и отрицательно заряженные

липиды. Более половины молекул МС связывалось с S белком, такое взаимодействие может оказывать влияние на способность вируса связываться с рецепторами ACE2 на мембране клетки-хозяина и согласуется с экспериментальными данными о потере S белков при фотодинамической инактивации вирусных частиц за счет образования синглетного кислорода. Также МС хорошо связывается с отрицательно заряженными липидами, что, в свою очередь, может ингибировать процесс слияния мембран вириона и клетки-хозяина. E белок, который представляет собой ионный канал, часто рассматривается в качестве мишени для противовирусных препаратов. Мы показали, что МС способен связываться с E белком и, предположительно, может воздействовать на вирусную частицу не только до стадии слияния с клеткой-хозяином, но и после инфицирования, на стадии образования новых вирусных частиц внутри клетки. Эти данные могут помочь в понимании предполагаемых механизмов действия МС на стадии жизненного цикла коронавируса.

Работа И. Б. Коваленко проведена в рамках реализации проекта «Научно-образовательный математический центр “Северо-Западный центр математических исследований имени Софьи Ковалевской”» (соглашение № 075-02-2023-937 от 16 февраля 2023 г).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pezeshkian W., Grünewald F., Narykov O., Lu S., Arkhipova V., Solodovnikov A., Wasenaar T. A., Marrink S. J. and Korkin D. Molecular architecture and dynamics of SARS-CoV-2 envelope by integrative modeling. *Structure*. Vol. 31. No. 4. Pp. 492–503. 2023.
2. Marrink S. J., Risselada H. J., Yefimov S., Tieleman D. P. and De Vries A. H. The MARTINI force field: coarse grained model for biomolecular simulations. *The journal of physical chemistry B*. Vol. 111. No. 27. Pp. 7812–7824. 2007.
3. Хрущев С. С. и др. Моделирование белок-белковых взаимодействий с применением программного комплекса многочастичной броуновской динамики ProKSim // Компьютерные исследования и моделирование. 2013. Т. 5. № 1. С. 47–64.
4. Fedorov V., Kholina E., Khruschev S., Kovalenko I., Rubin A. and Strakhovskaya M. What binds cationic photosensitizers better: Brownian dynamics reveals key interaction sites on spike proteins of SARS-CoV, MERS-CoV, and SARS-CoV-2. *Viruses*. Vol. 13. No. 8. P. 1615. 2021.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ АНАЛИЗЕ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ COVID-19

Ревенко А. Б.^{1,2}, Лялина Л. В.¹, Самаркин А. И.³

¹ФБУН НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера, Россия

²Управление Росгвардии по Псковской области, Россия

³Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: скрытые марковские модели, заболеваемость, COVID-19.

Прогнозирование заболеваемости различными вирусными инфекциями, наряду с моделированием указанных процессов, является важной задачей, особенно в условиях пандемии и эпидемий. Обоснованный прогноз позволяет оптимально использовать наличные ресурсы и спланировать ограничительные меры таким образом, чтобы минимизировать негативные последствия для экономики и здоровья населения региона. Объектом исследования является временной ряд, отражающий заболеваемость COVID-19 в регионе, содержащий даты, количество заболевших (накопленным итогом), и посуточная заболеваемость [1].

Скрытые марковские модели (hidden Markov model — НММ) позволяют оценить состояние системы, скрытое от наблюдателя, по другой, уже наблюдаемой переменной. Результатом анализа являются матрица переходов и, для временных рядов — периоды, в которых система находится в одном из состояний. Число состояний должно быть задано априорно. Обучение НММ включает в себя оценку параметров модели на основе наблюдаемых данных. Марковские модели позволяют рассчитать соответствующие состояниям значения наблюдаемой величины, причем это может быть как константа (например, средний уровень заболеваемости для выбранного режима, так и аппроксимация прямой линией).

В настоящей работе изучена возможность использования скрытых марковских моделей для оценки заболеваемости COVID-19 по данным одного из регионов Северо-Западного федерального округа России. При применении указанного метода не исследуется влияние способа сбора данных и другие особенности статистического учета (например, недельная периодичность подачи сведений в систему учета) на результат.

Выявлена статистически значимая линейная регрессия между общим количеством заболевших и временем $\text{Infections} = -29331.7 + 140.4 \text{ Date}$, таким образом среднее количество заболевших в день за период эпидемии составляет 140,4 чел/сутки. Коэффициент детерминации модели при этом составляет $R_{\text{adj}}^2 = 96.5\%$.

Для анализа используем библиотеку Statsmodels (<https://www.statsmodels.org/stable/tsa.html>) языка Python (существуют и другие модули, например, HMMLearn, которые используются в работе для проверки результатов).

Алгоритм применения модуля (при условии, что необходимые данные загружены) включает следующие этапы:

- Выбор количества состояний модели.
- Обучение модели на имеющихся данных.
- Формирование матрицы переходов.
- Сопоставление наблюдаемой переменной найденным состояниям.

В исследовании были рассчитаны модели для общей заболеваемости с константными трендами и трендами, аппроксимированными линейными функциями. Количество режимов варьировало от 2 до 12.

Выводы:

В результате проведенного исследования установлена возможность использования скрытых марковских моделей для оценки заболеваемости COVID-19. Отмечается, что для описания заболеваемости накопленным итогом достаточно модели с 4 состояниями, а для посуточной заболеваемости — 6.

Номер режима может использоваться как эндогенный фактор (независимая переменная в расчетах, связанных с регрессионным анализом).

Данные, код на языке Python и рисунки к статье доступны в виде публичного репозитория по адресу: Alex-Samarkin/TSRevenko (github.com).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zelenkov Y. Analysis of the COVID-19 pandemic using a compartmental model with time-varying parameters fitted by a genetic algorithm / Y. Zelenkov, I. Reshetsov // Expert systems with applications. 2023. Vol. 224. P. 120034.

**ОЦЕНКА КОНСТАНТЫ СКОРОСТИ СВЯЗЫВАНИЯ БЕЛКОВ
В МОДЕЛИ БРОУНОВСКОЙ ДИНАМИКИ ОБРАЗОВАНИЯ
КОМПЛЕКСА ЦИТОХРОМА С И ЦИТОХРОМА С₁ КОМПЛЕКСА
III ДЫХАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ МИТОХОНДРИЙ**

Абатурова А. М., Ризниченко Г. Ю.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия

Ключевые слова: цитохром С, цитохром С₁, III дыхательный комплекс, митохондрии, броуновская динамика.

Белок-белковое связывание важно во многих биохимических и биологических процессах. Экспериментальные исследования не дают полную картину процесса связывания белков в геометрически сложном пространстве, наблюдаемом в клетке. Для более подробного исследования этого процесса применяют методы компьютерного моделирования, в частности, метод броуновской динамики.

Водорастворимый небольшой белок (12кДа) цитохром С (цитС) при окислительном фосфорилировании в митохондриях переносит электроны в межмембранном пространстве и кристах. Расширение люмена крист митохондрий нарушает работу цепи электронного транспорта на участке от III к IV дыхательному комплексу, где незаменимым переносчиком электрона является цитохром С.

В данной работе была построена модель диффузии цитС (pdb ID 3O1Y) и связывания с цитохром с₁ (цитС₁) или димером III дыхательного комплекса (III₂, 1BGY) с помощью программы броуновской динамики ProKSim [1]. Для оценки значений параметров связывания белков использовались экспериментальные значения константы скорости связывания белков в растворе [2]. Для расчета электростатического потенциала вокруг белковых молекул использовали формализм Пуассона-Больцмана. Заряды на атомах белка были распределены в соответствии с силовым полем CHARMM27, дополненным параметрами для гема и железо-серного кластера, рН был 7.

По результатам численных экспериментов были оценены значения константы связывания белков при энергии электростатического взаимодействия по модулю больше 3,2–3,7 кТ и расстоянии между атомами Fe цитохромов меньше 33–37 Å при ионной силе 130–350 мМ. Численный эксперимент повторяли 7000 раз. Константа связывания белков при ионной силе 130 мМ, энергии электростатического взаимодействия белков –3,7кТ и расстоянии между атомами Fe цитС-цитС₁ менее 35 Å была оценена по формуле [3] через вероятность образования комплекса молекулами цитС, изначально отстоявшими от цитС₁ на 74 Å, и по кинетической кривой через среднее время ассоциации молекул [4]. Значения константы скорости, оцененные обоими методами, совпали, но погрешность в методе [3] была выше. Поэтому для остальных оценок константа рассчитывалась через среднее время ассоциации молекул [4]. Самое лучшее совпа-

дение модельной и экспериментальной зависимости константы скорости реакции для от ионной силы для связывания цитС и III₂ наблюдалась при энергии электростатического взаимодействия белков $-3,7kT$ и расстоянии между атомами Fe цитС-цитС₁ менее 35 Å. Для реакции цитС и III₂ при ионной силе 130 мМ константа связывания была на 16 %, при ионной силе 350 мМ на 6 % меньше экспериментальных значений. Для связывания цитС-цитС₁ при этих значениях параметров отличие от экспериментальной зависимости [2] было до 40 %.

Для реакции цитС с цитС₁ в модели наблюдалась более сильная зависимость константы связывания от ионной силы, чем для реакции цитС с III₂. Поверхность III₂ значительно больше поверхности изолированного белка цитС₁, и распределение поверхностного потенциала на цитС₁(III₂) в меньшей степени испытывает влияние противоионов раствора, чем это имеет место для изолированного белка С₁. Таким образом за счет большей площади поверхности III₂ по сравнению с цитС₁ наблюдается стабилизация молекул цитС у поверхности III₂ и устойчивость системы к изменению внешних условий.

Оцененные в работе значения параметров модели для реакции в растворе необходимы при построении модели реакции в лимене кристы митохондрии.

Исследование выполнено в рамках научного проекта государственного задания МГУ № 121032500060-0.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрущев С. С. Моделирование белок-белковых взаимодействий с применением программного комплекса многочастичной броуновской динамики ProKSim / С. С. Хрущёв, А. М. Абатурова, А. Н. Дьяконова, Д. М. Устинин, Д. В. Зленко, В. А. Федоров, И. Б. Коваленко, Г. Ю. Ризниченко, А. Б. Рубин // Компьютерные исследования и моделирование / М., 2013. Вып. 5. № 1. С. 47–64. DOI: 10.20537/2076-7633-2013-5-1-47-64.
2. Engstrom G., Rajagukguk R., Saunders A. J. et al. Design of a ruthenium-labeled cytochrome c derivative to study electron transfer with the cytochrome bc1 complex. *Biochemistry*. Vol. 42(10). Pp. 2816–2824. Marth 2003. DOI: 10.1021/bi027213g.
3. Northrup Scott H., Allison Stuart A., Andrew J., McCammon. Brownian dynamics simulation of diffusion-influenced bimolecular reactions. *J. Chem. Phys.* Vol. 80. Pp. 1517–1524. Febr 1984. <https://doi.org/10.1063/1.446884>
4. Хрущев С. С. Моделирование взаимодействий белков фотосинтетической электрон-транспортной цепи фотосинтеза методом броуновской динамики / С.С. Хрущев, А. М. Абатурова, А. Н. Дьяконова, В. А. Федоров, Д. М. Устинин, И. Б. Коваленко, Г. Ю. Ризниченко, А. Б. Рубин // Биофизика. 2015. Т. 60. № 2. С. 270–292.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ БИОНИЧЕСКИХ ПРОТЕЗОВ
КОНЕЧНОСТЕЙ ДОМАШНЕЙ КОШКИ**

Попов М. А.¹, Попова А. М.², Попова В. М.²,
¹ПушГЕНИ — Филиал РОСБИОТЕХ, Россия
²ГБОУ «ОЦ «Протон», Россия

Ключевые слова: бионический протез, кошка, процессор, нейроинтерфейс.

Протезирование применяется в реабилитации на протяжении уже нескольких столетий (первые известные протезы относятся к периоду 950–710 гг. до н. э. [1]). Наиболее совершенные протезы конечностей человека являются высокотехнологичными изделиями, могут иметь нейроинтерфейс [2]. Этого нельзя сказать о протезах для животных, реабилитация которых в силу как технических, так и очевидных психофизиологических причин, затруднена [3].

Известно, что кошки, утратившие одну или даже две конечности, могут в определенной степени адаптироваться самостоятельно. Так, в случае утраты передней лапы, кошка все еще способна обеспечивать свои потребности даже при жизни на улице. В случае проживания животного с человеком можно утверждать, что оно находится в практически равных условиях со здоровым.

Бездомная кошка, утратившая две конечности, без помощи человека быстро погибнет. И, даже находясь под постоянным присмотром, такие животные испытывают очевидные трудности (рис. 1а).

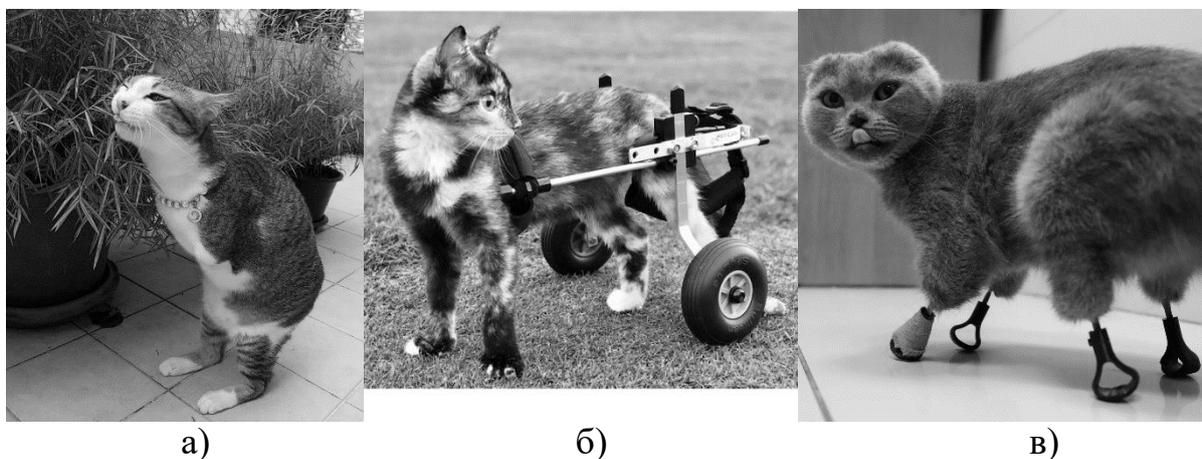


Рис. 1. Примеры реабилитации кошек

При отсутствии задних лап (зачастую утрачиваются не сами конечности, а их подвижность, как правило — вследствие травмы позвоночника) животное нуждается в постоянном уходе. Для реабилитации таких кошек производятся серийные устройства, которые представляют собой различные варианты колесных тележек (рис. 1б) [4, 5]. Если конечности частично сохранены и не парализованы, может применяться протезирование с помощью культей (рис. 1в) [6]. Авторы ставят перед собой задачу разработки активного протеза конечности для кошек, способного в наибольшей степени повысить качество жизни живот-

ного. Примеры возможных технических решений для реабилитации кошки с утраченными передними лапами представлены на рис. 2. Протез представляет собой эластичный корсет, плотно облегающий грудную клетку животного. На нем, в простейшем случае, закреплены выдвижные опоры с колесами (рис. 2а), а в более сложном — элементы экзоскелета с несколькими степенями свободы (рис. 2б). В верхней части корсета находятся аккумуляторы.

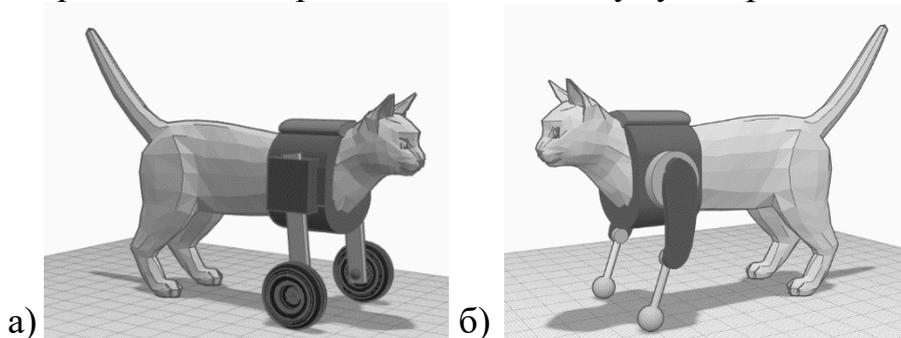


Рис. 2. Примеры усовершенствованных протезов для кошек

Микропроцессорная система с датчиками положения тела и, возможно, с нейроинтерфейсом, позволяет управлять протезами согласованно с движениями животного и автоматически переводить их в неактивное положение для отдыха.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Москвитин С. К. Протезирование верхних конечностей тела / С. К. Москвитин, М. В. Тюхтихов, А. А. Алексеев, Л. Е. Корнев // *Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XVIII Международной научно-практической конференции*. Пенза: Наука и Просвещение, 2018. С. 121–124.
2. Агеева У. О. Бионическое интеллектуальное протезирование конечностей и логические нейронные сети / У. О. Агеева, В. Г. Агеева, А. Б. Барский // *Информационные технологии*. 2016. Т. 22. № 5. С. 379–386.
3. From bionic cat to superdog: ethical challenges of advanced prosthetic technology in veterinary medicine / M. Magalhaes-Sant'Ana. DOI: 10.1079/9781786390547.0159 // *CABI Digital Library*. 2018.
4. Assistive Devices, Orthotics, and Prosthetics. / C. Adamson, M. Kaufmann, D. Levine, D. L. Millis, D. J. Marcellin-Little. DOI:10.1016/j.cvsm.2005.08.009 // *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*. 2005. Vol. 35. № 6. P. 1441–1451.
5. Walkin'pets. We move pets!: сайт. Амхерст, 2023 [Электронный ресурс]: URL: <https://www.handicappedpets.com/walkin-wheels-cat-wheelchair> (дата обращения 18.09.2023)
6. Горшков С. С. Первый в мире опыт чрескожного остеointегрируемого протезирования грудных и тазовых конечностей у кошки после перенесенной частичной ампутации. Клинический случай / С. С. Горшков, Н. В. Уланова, В. В. Мануйлова, В. П. Игнатов, Е. А. Солдатова, С. И. Твердохлебов // *VetPharma*. 2019. Т. 1. № 1. С. 42–49.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КРОВΟΣНАБЖЕНИЯ
И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ
МЕТАБОЛИТОВ В ПЕЧЁНОЧНОЙ ДОЛЬКЕ**

Этезова Ф. М.^{1,2}, Нарциссов Я. Р.^{1,3}, Машковцева Е. В.^{1,2},

¹НИИ цитохимии и молекулярной фармакологии, Россия

**²ФГАОУ ВО «Российский Национальный Исследовательский Медицинский
Университет им. Н. И. Пирогова» МЗ РФ, Россия**

³Группа биомедицинских исследований, БиДиФарма ГмбХ, Зик, Германия

Ключевые слова: печеночная доляка, уравнение Навье-Стокса, реакция-диффузия, конвекция, нестационарные распределения концентраций.

Печень — важный орган и крупная железа организма, выполняющая множество функций, необходимых для поддержания жизнедеятельности. Метаболическая функция является одной из самых важных функций органа. Печень участвует в обмене белков, липидов, углеводов, пигментов, гормонов, витаминов, микроэлементов, лекарственных средств и токсинов [1].

В последние годы интерес к вопросу моделирования печени как органа в целом, так и её функциональных единиц — печёночных долек, а также протекающих в ней физиологических процессов, значительно вырос. Исследователи применяют различные подходы, методы и материалы. Компьютерное моделирование является перспективным подходом к комплексному изучению распределения метаболитов в печени, поскольку позволит избежать проведения длительных и дорогостоящих экспериментов и инвазивных процедур.

Сосудистая сеть печёночной долики — уникальная и сложная система взаимосвязанных разнокалиберных сосудов [2], [3]. К сожалению, все её особенности не учтены ни в одной из существующих моделей [4], [5], [6], [7], что, безусловно, связано как со сложностью самой архитектуры, так и с большими вычислительными ресурсами, необходимыми для расчёта.

В данной работе моделирование проводилось в цифровом 3D фантоме, по геометрическим формам и размеру представляющем собой классическую долюку Кирнана [3], [8] — шестиугольную симметричную пористую структуру, имитирующую паренхиму печени. Пространственные структуры фантома включают в себя также все типы протекающих в долике кровеносных сосудов: печеночную артерию, печеночную портальную вену, центральную вену печени, а также вокругдольковые и внутридольковые вены и артерии, синусоидные капилляры. Моделирование кровотока осуществлялось на основе решения нестационарного уравнения Навье-Стокса для течения несжимаемой неньютоновской жидкости с динамической вязкостью, соответствующей модели Карро [9]. Конвекционные токи в паренхиме печени оценивались в соответствии с законом Дарси. Для корректной аппроксимации транспорта метаболитов через стенки сосудов была разработана вспомогательная модель, учитывающая плотность переносчиков на эндотелиальной мембране и позволяющая уменьшить

число рассматриваемых внутренних поверхностей в фантоме. Пространственное распределение метаболитов в паренхиме печени моделировалось с использованием краевых задач для уравнения реакции-диффузии с конвекцией. Таким образом, полученная высоко детализированная 3D модель может быть использована для изучения тока крови, распределения кислорода, глюкозы, липидов и других метаболитов в норме и патологии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Trefts E., Gannon M., and Wasserman D. H. The liver. *Curr Biol.* Vol. 27. No. 21. Pp. R1147-R1151. Nov 6 2017.
2. Vollmar B. and Menger M. D. The hepatic microcirculation: mechanistic contributions and therapeutic targets in liver injury and repair. *Physiol Rev.* Vol. 89. No. 4. Pp. 1269–339. Oct 2009.
3. Lorente S., Hautefeuille M. and Sanchez-Cedillo A. The liver, a functionalized vascular structure. *Sci Rep.* Vol. 10. No. 1. P. 16194. Oct 1 2020.
4. Rohan E., Camprova Turjanicova J., and Liska V. Geometrical model of lobular structure and its importance for the liver perfusion analysis. *PLoS One.* Vol. 16. No. 12. P. e0260068. 2021.
5. Ding W., Liu S., Li S., Ge D., Li F., and Gao D. Simulation of blood and oxygen distributions in a hepatic lobule with sinusoids obstructed by cancer cells. *J Theor Biol.* Vol. 446. Pp. 229–237. Jun 7 2018.
6. Debbaut C., Vierendeels J., Siggers J. H., Repetto R., Monbaliu D., and Segers P. A 3D porous media liver lobule model: the importance of vascular septa and anisotropic permeability for homogeneous perfusion. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* Vol. 17. No. 12. Pp. 1295–310. 2014.
7. Ziemys A., Simic V., Milosevic M., Kojic M., Liu Y. T., and Yokoi K. Attenuated Microcirculation in Small Metastatic Tumors in Murine Liver. *Pharmaceutics.* Vol. 13. No. 5. May 12 2021.
8. Kruepunga N., Hakvoort T. B. M., Hikspoors J., Kohler S. E., and Lamers W. H. Anatomy of rodent and human livers: What are the differences? *Biochim Biophys Acta Mol Basis Dis.* Vol. 1865. No. 5. Pp. 869–878. May 1 2019.
9. Nartsissov Y. R. Application of a multicomponent model of convective reaction-diffusion to description of glucose gradients in a neurovascular unit. *Frontiers in Physiology.* 2022.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА НОРМАЛЬНЫХ МОД И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ ТЕТРАМЕРОВ ТУБУЛИНА С РЕГУЛЯТОРНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Шубина А. И.¹, Холина Е. Г.¹, Федоров В. А.¹, Коваленко И. Б.^{1,2}

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия

²Научно-образовательный математический центр «Северо-Западный центр математических исследований им. Софьи Ковалевской», Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: микротрубочки, сегрегация хромосом, ингибиторы, конвекция, нестационарные распределения концентраций.

Микротрубочки состоят из гетеродимеров альфа и бета тубулина и растут от centrosомы в сторону периферии клетки путем присоединения свободных гетеродимеров тубулина на их плюс-конце. Именно микротрубочки отвечают за определение полярности клетки, за регуляцию митоза и мейоза, а также за внутриклеточный транспорт. Важной особенностью микротрубочек является динамическая нестабильность — способность спонтанно переключаться между состояниями полимеризации и деполимеризации, благодаря которой они осуществляют свои функции, например, сегрегацию хромосом при делении клетки [1].

Известно, что регуляторные соединения и белки воздействуют на рост микротрубочек, но конкретные молекулярные механизмы такого влияния до сих пор не установлены. Целью работы является изучение действия ингибиторов (таксола, статмина, кинезина 13 и TOG-домена) на динамику микротрубочек. Таксол (паклитаксел) стабилизирует решетку микротрубочек через усиление боковых контактов между отдельными тубулинами. Кинезин 13 *in vitro* катализирует диссоциацию тубулиновых димеров, стабилизированных таксолом и GMPCPP. Статмин связывается с димерными структурами, образованными альфа и бета тубулином, образуя T2S-комплекс, неспособный к дальнейшей полимеризации.

Установление механизмов взаимодействия ингибитора с микротрубочкой на молекулярном уровне — сложная с точки зрения экспериментальных подходов задача. Однако, такую задачу возможно решить методами молекулярного моделирования. В нашей работе [2] методы анализа нормальных мод и молекулярной динамики были успешно использованы для изучения изгибной жесткости протофиламентов тубулина. В настоящей работе также использовались эти методы для изучения влияния ингибиторов на жесткость отдельных димеров и тетрамеров тубулина.

Для изучения динамики тетрамеров тубулина, связанных с ингибиторами и регуляторными белками, проводилось моделирование конформационной подвижности методом анализа нормальных мод для эластической сети (ANM) с помощью Python-пакета ProDy. Полученные методом нормальных мод траекто-

рии сравнивались с контрольными вычислительными экспериментами со свободными тубулинами. Основным параметром сравнения являлась константа жесткости тетрамера тубулина. Полученные константы жесткости принципиально не различались, что свидетельствует о недостаточной чувствительности этого метода для исследования подобной молекулярной системы. Для выявления различия в динамике свободных тетрамеров тубулина и тетрамеров, связанных с регуляторными белками, в дальнейшем планируется использовать метод полноатомной молекулярной динамики, позволяющий оценивать конформационные изменения с течением времени.

Работа И. Б. Коваленко проведена в рамках реализации проекта «Научно-образовательный математический центр “Северо-Западный центр математических исследований имени Софьи Ковалевской”» (соглашение № 075-02-2023-937 от 16 февраля 2023 г).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gudimchuk N. B. and McIntosh R. J. Regulation of microtubule dynamics, mechanics and function through the growing tip. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. Vol. 22. Pp. 777–795. 2021.
2. Fedorov V. A., Orekhov P. S., Kholina E. G., Zhmurov A. A., Ataulakhanov F. I., Kovalenko I. B. and Gudimchuk N. B. Mechanical properties of tubulin intra- and inter-dimer interfaces and their implications for microtubule dynamic instability. *PLoS Computational Biology*. Vol. 15. No. 8. Pp. e1007327. 2019.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.9

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ НАУЧНЫХ ШКОЛ ФАКУЛЬТЕТА МАТЕМАТИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ГГУ Ф. СКОРИНЫ

Жогаль С. П., Марченко Л. Н.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь

Ключевые слова: формации, сложные системы, компьютерная, мультипликативные сети массового обслуживания, теория операторов, теории аппроксимаций, отражающая функция.

В докладе освещается деятельность научных школ факультета математики и технологий программирования Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины.

Гомельская алгебраическая школа «Формации алгебраических систем с условиями конечности» основана доктором физико-математических наук, профессором Л. А. Шеметковым в 1969 г. В настоящее время школой руководят доктор физико-математических наук, профессор А. Н. Скиба и доктор физико-математических наук, профессор В.С. Монахов. Школа осуществляет исследование подсистем алгебраических систем, симметрии (автоморфизмов), нахождение связей между структурными свойствами систем и классами систем. Поле исследований школы включает изучение операций на классах алгебраических систем, установление свойств классов систем с другими разделами математики, изучение конечных групп. В результате исследований школы: построена теория подгрупповых функторов для исследования классов групп и других систем, получила существенное развитие теория И. Шура о дополнениях, решены проблемы С. А. Чунихина (1938) и О. Кегеля (1965) о конечных группах, факторизуемых тремя собственными подгруппами с попарно взаимно простыми индексами, доказана непростота таких групп. Разработана методика конструирования классов групп с помощью групповых функций и установлена связь между групповыми функциями различных типов. Найдены новые свойства локальных операторов. Установлены признаки разрешимости конечных групп с условием перестановочности некоторых силовских подгрупп и подгрупп Шмидта. Получены свойства формаций, замкнутых относительно оператора частичной локальности, новые признаки принадлежности конечной группы произведениям классических формаций, зависящие от расположения опорных подгрупп, построена общая теория максимальных цепей и найдено применение такой теории к общей проблеме классификации конечных групп.

Научная школа «Математическое моделирование сложных систем» под руководством доктора технических наук, профессора В. В. Можаровского занимается проведением фундаментальных, поисковых и прикладных исследований в области применения математических методов в механике деформируемо-

го твердого тела; созданием алгоритмов и программ, применяемых при расчетах напряженного состояния элементов деталей машин из современных конструкционных материалов; моделированием объектов производственной (предприятия, транспорт), экономической (банковская система, фондовый рынок), биологической (человек, экология) и других сфер человеческой деятельности, представляющих из себя сложные системы. Учеными созданы различные программные комплексы, предназначенные для решения конкретных задач.

Научная школа «Компьютометрия и имитационное моделирование сложных систем» основана в 1976 г. заслуженным деятелем науки Республики Беларусь, доктором технических наук, профессором И. В. Максимеем. В настоящее время школой руководит его ученик, доктор технических наук, профессор В. С. Смородин. К основным направлениям научных исследований школы относятся: анализ функционирования и синтез оптимальной структуры сложных систем с изменяющейся топологией, логиковероятностное моделирование сложных технических систем на основе средств формализации графовых структур, разработка средств автоматизации обработки статистики для прикладных научных исследований, имитационное моделирование обработки информации в вычислительных системах и локальных сетях, численные методы и компьютерное моделирование сложных технических систем и сооружений.

Основоположником и научным руководителем Гомельской научной школы по мультипликативным сетям массового обслуживания является доктор физико-математических наук, профессор Ю. В. Малинковский. Основные направления научных исследований школы: нахождение условий эргодичности многомерных марковских процессов, инвариантной вероятностной меры многомерных марковских процессов и конструирование алгоритмов их нахождения; установление условий, при которых стационарное распределение сетевых марковских процессов инвариантно по отношению к распределениям работ по обслуживанию заявок и (или) переключению режимов обслуживания в узлах сети массового обслуживания; исследование инвариантной меры многомерных марковских процессов, в которых инфинитезимальный оператор зависит от состояний этих процессов произвольным образом.

Научные интересы Гомельской школы функционального анализа (доктор физико-математических наук, профессор А. Р. Миротин) и теории функций (доктор физико-математических наук, профессор А. П. Старовойтов) лежат в области теории операторов, абстрактного гармонического анализа, теории функций и функционального анализа, теории аппроксимаций. Исследования профессора В. И. Мироненко посвящены изучению свойств решений систем дифференциальных уравнений, обладающих временными и пространственными симметриями. Он ввел в теорию обыкновенных дифференциальных уравнений понятие отражающей функции и понятие вложимой системы. С помощью метода отражающей функции решаются вопросы существования и устойчивости периодических, а также других решений и специальных интегральных многообразий дифференциальных систем.

Результаты фундаментальных и прикладных исследований представителей школ обобщены в монографиях, более чем 200 докторских и кандидатских диссертациях.

THE MODELING POWER OF PATTERNS IN LINEAR ASSIGNMENT PROBLEMS APPLIED IN ECONOMICS, INDUSTRIAL ENGINEERING AND QUANTITATIVE LOGISTICS

Goldengorin B.^{1,2}

¹**Moscow Institute of Physics and Technology, Russia**

²**The Scientific and Educational Mathematical Center “Sofia Kovalevskaya Northwestern Center for Mathematical Research” in Pskov State University, Russia**

Key words: Modeling by Patterns, Linear Assignment Problem, Combinatorial Optimization

In this talk we define a *pattern* within the Linear Assignment Problem (LAP) [1] as a specific collection of cells in the given square input matrix reflecting the structure of an optimal solution to many Combinatorial Optimization Problems (COPs) in Economics (e.g., the Input-Output problem and its many variations [2]), Industrial Engineering [3], Production Scheduling problems taking into account a wide collection of additive objective functions [4, 5] and Computational Mathematics (e.g., solving a system of polynomial equations [6]). Square matrices are a very common means of representing input data for combinatorial optimization problems (COPs). Indeed, many COPs, ranging from clustering to allocation and scheduling can be defined in terms of square matrices. From this point of view their objective is to find a subset of matrix elements that maximizes or minimizes some function (often the sum of elements predefined and included in the specific pattern) while constraints reduce the choice of elements. For the sake of clarity in this talk we restrict ourselves to COPs with a linear objective function – a sum of predefined matrix elements reflecting an informal interpretation of the objective function which is still a very broad class of problems [7].

Based on the pattern notion, any of the mentioned problems can be formulated as follows. Find a feasible pattern that minimizes the sum of the corresponding input matrix elements depending on the order of permuted *either* independently rows and columns (in general, different permutations for rows and columns) of the given matrix *or* permuted by the same permutation for rows and columns as in the Traveling Salesman Problem [8].

We claim that by applying suitable permutations to rows and columns, one can reduce the set of feasible patterns enough to make its description trivial and useful in practice. This claim will be supported by examples in our talk.

We summarize our talk by emphasizing the simplicity, flexibility and power of the introduced patterns within the LAP leading to an essential extension in *modelling and solving* a wide range of COPs based on pattern properties.

On the one hand, this common framework facilitates the generalization and classification of the problems based on the properties of their corresponding patterns. This, in turn, inspires the design of new general approaches (meta-approaches) to

solving COPs. On the other hand, by means of examples we have shown that the pattern-based approach leads to intuitive heuristics for certain applied problems [7]. According to the computational experiments, these heuristics are competitive with other published solution methods.

REFERENCES

1. Rainer E. Burkard, Mauro Dell'Amico, Silvano Martello. *Assignment Problems*. SIAM, 2009.
2. Reinelt G. *The Linear Ordering Problem*. Heldermann Verlag, Berlin, 1985.
3. Goldengorin B., Krushinsky D., Pardalos P. *Cell Formation in Industrial Engineering*. Springer, New York, 2013.
4. Fomin A., Goldengorin B. An exact algorithm for the preemptive single machine scheduling of equal-length jobs to minimize the total weighted completion time. *Computers & Operations Research*. Vol. 142, June 2022.
5. Batsyn M., Goldengorin B., Pardalos P. M., Sukhov P. Online heuristic for the preemptive single machine scheduling problem of minimizing the total weighted completion time. *Optimization Methods and Software*, Vol. 29, No. 5, 955–963, 2014.
6. Bekker H., Braad E. P., Goldengorin B. Using bipartite and multidimensional matching to select the roots of a system of polynomial equations. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3483:397–406, 2003.
7. Goldengorin B., Krushinsky D. Linear Assignment Problems in Combinatorial Optimization. *Optimization Methods and Applications*, S. Butenko, P. M. Pardalos, V. Shylo, Eds. *Springer Optimization and Its Applications*, vol. 130, 2017. Pp. 183–216.
8. Richter D., Goldengorin B., Jager G., and Molitor P. Improving the Efficiency of Helsgaun's Lin-Kernighan Heuristic for the Symmetric TSP. In Proc. CAAN 2007 International Conference on Combinatorial and Algorithmic Aspects of Networking, *Lecture Notes in Computer Science* vol. 4852. 2007. Pp. 99–111.

ВИРТУАЛЬНАЯ СРЕДА ЭВОЛЮЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Антонов И. В.², Бруттан Ю. В.^{1,2}

¹ Научно-образовательный математический центр «Северо-Западный центр математических исследований имени Софьи Ковалевской»

Псковского государственного университета, Россия

² Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: эволюционное моделирование, генетические алгоритмы, автоматизация программирования, синтез алгоритмов.

Эволюционное моделирование ставит своей задачей использование закономерностей биологической эволюции в качестве прототипа для создания компьютерных моделей, которые должны обеспечить воспроизведение основных свойств эволюционного процесса и их использование для задач оптимизации систем и синтеза новых решений [1]. Одной из задач, рассматриваемых в рамках этого направления, является автоматизация синтеза эволюционирующих сложных систем, включая генерацию функционального программного кода, решающего прикладные задачи. К характерным примерам программных средств этого направления можно отнести программы EV [2] и Avida [3]. В программе EV эволюция генома и появление там новой информации моделируется через эволюцию популяции цифровых организмов. Итогом эволюции является успешный синтез кодовой последовательности с нужными свойствами. В программе Avida эволюция популяции цифровых организмов обеспечивает синтез логической функции, реализуемой пятью логическими элементами NAND.

Представляет интерес создание более универсальных инструментов, обеспечивающих эволюционный синтез программных решений различных задач. Практически используемые программистами среды и языки программирования не соответствуют данной задаче, поскольку для них случайная генерация кода почти всегда порождает результаты, вызывающие ошибки при компиляции или при выполнении кода. Возможное решение заключается в создании виртуальных сред моделирования эволюции программного кода, реализующих адаптированные к решаемым задачам версии языков программирования и встроенные средства контроля выполнения произвольного программного кода.

Авторами разработана более универсальная, чем приложения EV и Avida, среда для моделирования эволюционного синтеза программного кода — «Генератор алгоритмов», приложение alggen. Исходный код проекта выложен на платформе github.com и доступен по ссылке <https://github.com/igorant63/alggen>.

В качестве теоретической модели эволюционного процесса в проекте использованы известные принципы эволюционного моделирования, подразумевающие комбинирование случайных изменений клонируемых экземпляров программных объектов с отбором, позволяющим зафиксировать удачные изменения и обеспечить эволюцию популяции программ.

Выполненные в виртуальной среде эксперименты продемонстрировали воспроизводимую закономерность, заключающуюся в том, что успешный синтез алгоритма решения задачи на основе эволюционного моделирования в используемой виртуальной среде возможен в тех случаях, когда удастся сформировать фитнес-функцию, поэтапно отслеживающую успешность отдельных шагов к решению.

Разработанная среда эволюционного моделирования синтеза программного кода позволяет синтезировать программное решение несложных задач при условии, что фитнес-функция будет способна отслеживать поэтапное приближение к решению задачи. Это обстоятельство ограничивает универсальность и масштабируемость данного способа создания функционального кода. Решение задач, связанных со сложной организацией программного кода, как и ранее, остается задачей, требующей интеллектуального анализа задачи и возможных путей ее решения.

В настоящее время в качестве ассистентов при создании программного кода иногда используются приложения искусственного интеллекта ChatGPT и Copilot, однако и они не обеспечивают автоматизацию синтеза новых программных решений сложных задач, так как генерируют код на основе кода, ранее созданного программистами, дублируя, в том числе, их ошибки и недоработки [4].

Работа проведена в рамках реализации проекта «Научно-образовательный математический центр “Северо-Западный центр математических исследований имени Софьи Ковалевской”» (соглашение № 075-02-2023-937 от 16 февраля 2023 г).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
2. Schneider Thomas D. Evolution of biological information. // *Nucleic Acids Research*, Volume 28, Issue 14, 15 July 2000, P. 2794–2799.
3. Ofria C., Bryson D. M., Wilke C. O. Avida: A Software Platform for Research in Computational Evolutionary Biology. // In M. Komosinski & A. Adamatzky (Eds.), *Artificial Life Models in Software*. London: Springer, 2009. P. 3–35.
4. Pearce H., Ahmad B., Tan B., Dolan-Gavitt B., & Karri R. (2022). Asleep at the Keyboard? Assessing the Security of GitHub Copilot's Code Contributions. In *Proceedings — 43rd IEEE Symposium on Security and Privacy, SP 2022* (Pp. 754–768). (Proceedings — IEEE Symposium on Security and Privacy; Vol. 2022-May). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

НЕВМЕШАТЕЛЬСТВО КАК СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ВЫБОР

Мельник В. Н.^{1,2}, Медведева И. Н.^{1,2}, Веселова А. Ф.^{1,2}¹ Научно-образовательный математический центр «Северо-Западный центр математических исследований им. Софьи Ковалевской»

Псковского государственного университета, Россия

² Псковский государственный университет, Россия*Ключевые слова: тарифы, квоты, субсидии, равновесие Нэша.*

В выборе оптимальной стратегической торговой политики, правительства традиционно выбирают между такими инструментами как квоты, тарифы, явные или неявные субсидии и т. п. [1, 2]. Тот факт, что правительства используют широкий спектр инструментов торговой политики в любой момент времени, позволяет предположить, что они рассматривают различные инструменты торговой политики как несовершенные заменители. Однако есть работы, в которых показано, что тарифы и квоты эквивалентны при дуополии Курно и полной информации [3]. Кроме того, в качестве торговых инструментов может использоваться комбинация квот и тарифов — двухчастная торговая политика [4].

Мы рассматриваем игровую модель с двумя странами — домашней и иностранной. Имеется по одной фирме в каждой стране, которые производят однородный товар и продают его только на домашнем рынке. Обратная функция спроса имеет следующий вид $p(x_1, x_2) = a - x_1 - x_2$, где $a > 0$, p — рыночная цена товара и x_i — выпуск i -ой фирмы, ($i = 1, 2$); c_i — затраты i -ой фирмы, ($i = 1, 2$) на производство единицы товара.

На первом шаге правительства стран одновременно выбирают инструмент политики: домашняя страна выбирает между тарифом и свободной торговлей, в то время как иностранная страна выбирает между экспортным тарифом (субсидией) и свободной торговлей. На втором шаге игры, правительства стран одновременно выбирают уровень выбранного инструмента политики. На третьем шаге обе фирмы наблюдают установленную торговую политику и выбирают одновременно свои уровни выпуска x_i ($i = 1, 2$) так, чтобы максимизировать собственную прибыль:

$$\pi_1(x_1, x_2) = (a - x_1 - x_2 - c) \cdot x_1, \quad (1)$$

$$\pi_2(x_1, x_2) = (a - x_1 - x_2 - c) \cdot x_2 - t \cdot x_2 - t^* \cdot x_2 \quad (2)$$

где t^* — тариф(субсидия) на иностранную фирму от домашнего правительства; t — тариф(субсидия) на иностранную фирму от иностранного правительства.

Домашнее правительство использует стратегическую торговую политику для максимизации своей целевой функции G , которая является взвешенной (по экзогенно заданному параметру θ_i , ($i = 1, 2$)) суммой прибыли домашней фирмы (π_i), излишка потребителя (CS) и правительственный налоговый доход (TR):

$$G \equiv \theta_1 \cdot [\pi_1 + CS] + \theta_2 \cdot TR \quad (3)$$

Если $\theta_1 = 0$ и $\theta_2 = 1$, тогда G — доход правительства.

Если $\theta_1 = 1$ и $\theta_2 = 1$, тогда $G = W$ — национальное благосостояние.

Иностранное правительство использует торговую политику для максимизации своей целевой функции G^* , которая является взвешенной (по экзогенно заданному параметру γ_i , ($i = 1, 2$)) суммой прибыли домашней фирмы (π_2) и расхода (дохода) от субсидии (тарифа) (NS):

$$G^* \equiv \gamma_1 \cdot \pi_2 + \gamma_2 \cdot NS \quad (4)$$

Если $\gamma_1 = 0$ и $\gamma_2 = 1$, тогда G^* — расход (доход) от субсидии (тарифа) правительства.

Если $\gamma_1 = 1$ и $\gamma_2 = 1$, тогда G^* — национальное благосостояние.

На первом и втором шаге правительства выбирают стратегию, как описано выше. На третьем шаге обе фирмы, наблюдая торговую политику, выбирают одновременно уровни выпуска x_i ($i = 1, 2$) так, чтобы максимизировать собственную прибыль (1), (2).

Существенная особенность этой трёхуровневой игры состоит в том, что высшие чиновники в обеих странах имеют возможность выбрать свободную торговую политику.

Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что в представленной модели трёхшаговой игры любое правительство имеет возможность выбрать в качестве оптимальной торговую политику невмешательства.

Работа проведена в рамках реализации проекта «Научно-образовательный математический центр “Северо-Западный центр математических исследований имени Софьи Ковалевской”» (соглашение № 075-02-2023-937 от 16 февраля 2023 г).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Miller Nolan H. Pazgal Amit, Strategic trade and delegated competition. *Journal of International Economics*, Elsevier, vol. 66(1), 2005.
2. McCalman P., Stähler F., Willmann G. Contingent trade policy and economic efficiency. *Review of World Economics*, Weltwirtschaftliches Archiv, Vol. 155 (2), 2019.
3. Hwang H., Mai C. C. 1988. On the equivalence of tariffs and quotas under duopoly: a conjectural variation approach. *Journal of International Economics*, 24, 1988.
4. Melnik V. N. Two-part trade policy in the reciprocal market model. *SHS Web of Conferences*, 164(3), 2023.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Суворков П. Э.¹, Бруттан Ю. В.²

¹МЛ Цифровой трансформации в государственном управлении, НИУ
Высшая школа экономики (НИУ ВШЭ), Россия

²Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: цифровизация, цифровизованность населения, цифровая трансформация.

Цифровизация как процесс, который можно представить с позиции «до-цифрового наблюдателя», явление искусственное (явление, возникающее в результате деятельности человека). Планирование же «цифрового пространства», как зачастую представляется, опирается на структуру естественных (психофизиологических и психосоциальных) детерминант социального поведения. Однако, в связи с реализацией «цифровых пространств», понимание того, какие детерминанты социального поведения считать естественными, изменяется.

Основная цель проекта: изучить, как разные группы населения (локальные сообщества) различаются по характеру их вовлеченности в процесс цифровизации общества. Предполагаем, что барьерами цифровизации являются технологические, расселенческие, экономические и компетентностные факторы. Различия в цифровой трансформации на примере изолированных или полуизолированных сообществ в России ранее не исследовались.

Объектом исследования в реализуемом проекте, поддержанном НИУ ВШЭ и Псковским университетом, являются различные группы населения по характеру их вовлеченности в т. н. «процесс цифровизации» общества.

Предмет исследования — эволюция и факторы изменения структуры населения по характеру цифровизации на территории современной Псковской области, причины дивергенции (расхождения) в фиксируемых показателях процесса цифровизации.

Используемые методы — социологическое исследование, математическое моделирование, автоматическая обработка текстов (транскрибированных интервью и бесед).

Научная новизна исследования заключается в том, что методику, расчеты и показатели предлагаем использовать в комплексе, что обеспечивает возможность с определенной степенью приближения построить условные модели цифровизованности населения конкретной территории в определенном интервале календарного времени, в т. ч., дифференцированного по полу, возрасту, характеристикам пространственной организации; оценивать интенсивность (напряженность) как выходов в сеть Интернет, так и использования отдельных классов цифровых инструментов; прогнозировать вероятную эффективность внедрения тех или иных цифровых технологий для населения рассматриваемой территории.

Источник данных — интервью и беседы с представителями разных групп населения Псковской области. В населении отобранных для исследования районов широко представлены слабо цифровизованные демографические группы. Исследование будет проводиться как в городах, так и в сельской местности Псковской области.

В исследуемой абстрактной совокупности населения происходят события различного рода (использование индивидом тех или иных цифровых инструментов, невозможность или отказ от такового), и каждое такое событие изменяет показатели напряженности (интенсивности) протекания условного процесса цифровизации. При обращении к конкретному населению уместно говорить об оценке цифровизованности на определенном интервале календарного времени. Для такой оценки авторам представляется возможным использовать следующие инструменты [1–3]:

- общие коэффициенты;
- специальные коэффициенты;
- возрастные коэффициенты;
- суммарные коэффициенты;
- стандартизованные коэффициенты;
- волновые функции;
- средний возраст использования технологий;
- коэффициенты паритета;
- меры межиндивидуальных различий.
- модели кластеризации по расселенческому, половому, возрастному или иным признакам, по рассчитанным значениям соответствующих показателей;
- модели классификации алгоритмами CHAID, QUEST, CRT (CART);
- логистические регрессии, ансамблированные с деревьями классификации.

Отметим, что в конкретных совокупностях населения значение имеет не только интенсивность процесса, но и численность и состав совокупности, к которой применима рассчитанная интенсивность.

В проекте также предусматривается использование методов автоматической обработки естественного языка. Предложения по методикам автоматической обработки текстов для решения исследовательских вопросов проекта, например, семантический поиск барьеров цифровизации по транскрибированным интервью и беседам с помощью контекстуализированных векторных представлений слов, полученных из языковых моделей на основе нейронных сетей.

Возможные причины различных состояний, которые фиксируются системой показателей:

- территориальное неравенство в цифровизации, обусловленное, в т. ч., технологическими и финансовыми барьерами;
- неравномерность и асинхронность темпов цифровизации, обусловленные диффузией норм и практик, в том числе, инструментальных практик;
- проблемы обеспечения безопасности при использовании цифровых продуктов;
- дефицит технических компетенций и навыков в разрезе социально-

экономических групп и демографических контингентов (предикторы возраста, пола, инвалидности, материнства, состояния в браке, самоопределения по состоянию здоровья, возможности вести активную жизнь, дохода домохозяйства и так далее);

- нежелание населения участвовать в цифровой трансформации, проблемы в обеспечении безопасности использования цифрового следа;
- иные человекоцентричные барьеры цифровизации и цифровой трансформации (к примеру, этническая группа, языковая общность и т. п.);
- цифровой оптимизм и пессимизм, акценты этики использования реализованных ГЦП и т. п.
- особенности формирования взаимовлияющих мотиваций выхода в Сеть (т. е., частота посещений социальных сетей влияет на частоту покупок в интернет-маркетах, как и наоборот).

Ожидаемая польза для общества: проект предполагает разработку комплекса мер, облегчающих диалог между органами государственного управления и местным населением по вопросам цифрового развития.

Авторы выражают благодарность М. В. Фёдоровой за неоценимую помощь в разработке материала.

Обзор подготовлен в ходе проведения исследования в рамках проекта «Зеркальные лаборатории НИУ ВШЭ».

The review was prepared within the framework of the project “Mirror Laboratories” HSE University, RF.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Венецкий И. Г. Вероятностные методы в демографии. М.: Финансы и статистика, 1981. 223 с.
2. Венецкий И. Г. Математические методы в демографии. М.: Статистика, 1971. 296 с.
3. Денисенко М. Б. Лекции по демографическому анализу. МП Демография. НИУ ВШЭ, 2020. [материал не опубликован].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ЛЕДОВЫХ АРЕН

Денисихина Д. М.

**Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет, Россия**

Ключевые слова: CFD-моделирование, турбулентные течения, ледовые арены, воздух распределение.

Основной сложностью при расчете воздухообмена и воздухораспределения для залов ледовых арен является необходимость поддержания существенно разных значений параметров микроклимата в зоне ледового поля, которые определяются технологическими требованиями к состоянию поверхности льда [1], и в зоне зрительских трибун [2].

Движение воздушных потоков в зале ледовой арены формируется как интенсивными свободно-конвективными потоками теплого воздуха от зрителей на трибунах, так и вынужденной конвекцией приточных струй. Отделить зоны влияния данных потоков, спрогнозировать их поведение и взаимодействие на основе традиционных подходов расчета воздухораспределения оказывается затруднительным.

Кроме того, необходимость учета радиационной составляющей на поверхностях, участвующих в теплообмене (поверхности льда, стен, кровли) еще больше осложняет использование инженерных методик [3].

В связи с этим использование численных методов (CFD-моделирование) [4] для расчета и проектирования систем вентиляции и кондиционирования залов ледовых арен со зрителями дает существенно другие результаты, чем традиционные подходы, их использование повышает качество проектных работ.

Численное исследование было проведено для 12-ти различных схем воздухораспределения в ледовой арене на 12 000 зрителей (рис. 1). Схемы воздухораспределения отличались способом подачи приточного воздуха в зону зрителей (перемешивающей или вытесняющей схемой вентиляции), способом подачи воздуха в зону ледовой площадки (подача «холодными» струями, направленными на борта поля, подача «теплыми» струями, направленными к центру ледового поля, отсутствие подачи воздуха в зону ледового поля). Для всех рассмотренных схем соблюдены одинаковые балансы по температуре, влаге, CO₂ (значения данных параметров на вытяжке идентичны для всех схем).

В Таблице 1 и на рис. 1 представлены значения коэффициентов воздухообмена и температуры, полученные при различных схемах воздухораспределения.

Таблица 1

Значение параметров на расстоянии 1,5 м над поверхностью ледового поля при различных схемах воздухораспределения.

	№1.1	№1.2	№1.3	№2.1	№2.2	№2.3	№3.1	№3.2	№3.3	№4.1	№4.2	№4.3
T, °C	14,4	12,5	12,5	13,9	11,3	11,6	14,3	11,3	11,4	14,4	14,1	14,1
d, г/кг	5,4	5,3	5,5	5,3	5,2	5,2	5,4	5,3	5,2	5,5	5,5	5,6
CO ₂ , ppm	911	787	877	876	718	757	864	784	753	886	892	897

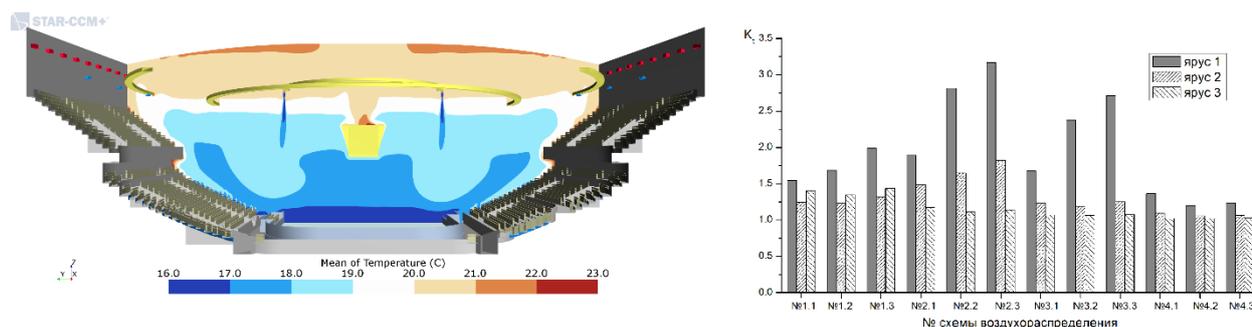


Рис. 1. Поле температуры для схемы № 4 (слева) и значения коэффициентов воздухообмена по температуре для трех ярусов зрительных трибун для 12-ти схем воздухораспределения (справа)

Полученная высокая чувствительность параметров микроклимата в зале ледовой арены, в частности над ледовым полем, к особенностям распространения приточных струй, их взаимодействием с общим циркуляционным течением, создаваемым свободно-конвективными потоками от массива зрителей, существенного радиационного теплообмена между ледовой поверхностью и ограждающими конструкциями, приводит к необходимости использовать численные методы для анализа эффективности схем воздухораспределения каждого уникального зала ледовой арены со зрителями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ASHRAE Handbook. Refrigeration. Chapter 44. Ice Rinks. 2014. ASHRAE.
2. Панкратов В.В., Шилкин Н.В. Особенности климатизации ледовых арен // АВОК. 2009. № 8. С. 24–36.
3. Русаков С. В. К расчету тепловых и влажностных нагрузок ледовых катков. Нагрузка от радиационного переноса теплоты // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». 2014. №1. [Электронный ресурс]: <http://refrigeration.ihbt.ifmo.ru/ru/article/8640/>.
4. Nielsen P. V., Allard F., Awbi H. B., Davidson L. and Schälin A. Computational fluid dynamics in ventilation design. 2007. REHVA Guide Book 10. RHEVA.

OPEN MARKOV QUEUEING NETWORKS WITH NEGATIVE CUSTOMERS AND CONTROL QUEUES

Marchanka Larysa N., Yakubovich Aksana V.

Francisk Skorina Gomel State University, Republic of Belarus

Keywords: Queueing theory, open queueing network, positive and negative customers, control queue in the node, stationary distribution of the network states probabilities.

Queueing theory provides a powerful mathematical model of real objects having a network structure [1]. Recently the rapid development of the information technologies makes it necessary to study many interesting models that allow to take into account the requirements of modern times [2, 3]. The models of networks with the antivirus software are very important for information security.

The open queueing network with two independent Poisson input flows is investigated. The first arrival flow customers is positive. Positive customers need service in nodes. The second flow is negative. Negative customers do not need service in nodes. They reduce the length of the non-empty queue in the node by one, or have no effect if the node is empty [2]. Each of N nodes has two queues: control queue of customers and a queue for service. Every positive customer after arriving at one of the N nodes joins control queue, in which it is checked for compliance with safety standards of the network. The times of checking positive customers have exponential distribution. After the end of control in the node i the properties of customer are determined and accordingly that every customer is recognized as standard or non-standard. Non-standard customer is sent to the queue of node $(N+1)$ with probability p_i . Standard customer is directed to the queue of standard positive customers in the node i with probability $1 - p_i$. Standard positive customers are served in the each of N nodes, service times are independent random values and have exponential distribution. After service at the node i every positive customer is sent immediately to the node j as positive with probability p_{ij}^+ or as negative with probability p_{ij}^- and it leaves the network with probability $p_{i0} = 1 - p_{ij}^+ - p_{ij}^-$, $i = \overline{1, N}$. The node $(N + 1)$ is quarantine where the recovery of qualities of non-standard customers is carried out. The times of recovering have exponential distribution. After end of service at the node $(N + 1)$ every customer is sent immediately to the node j as positive customer with probability p_{N+1j} and it leaves the network with probability $p_{N+10} = 1 - p_{N+1j}$.

The state of considered network at the moment t is characterized by a vector process $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_{N+1}(t))$, where $x_i(t) = (m_i(t), n_i(t))$ is the state of the node i , $m_i(t)$ is the number of the customers in the control queue of node i , $n_i(t)$ is the number of the customers in the queue of positive customers waiting for service in the node i , $i = \overline{1, N}$, $x_{N+1}(t) = n_{N+1}(t)$ is the number of the customers in the queue in the quarantine node $(N+1)$. The stochastic process $x(t)$ is homogeneous Markov process with states space $X = X_1 \times \dots \times X_{N+1}$, where $X_i = \{ x_i = (m_i, n_i): m_i, n_i \geq 0, i = \overline{1, N} \}$, $X_{N+1} = \{ n_{N+1}: n_{N+1} \geq 0 \}$.

Traffic equations

$$\varepsilon_i^+ = \lambda^+ p_{0i}^+ + \sum_{j=1}^N \frac{\varepsilon_j^+}{\mu_j + \varepsilon_j^-} (1 - p_j) p_{ji}^+ + \varepsilon_{N+1} p_{N+1i}, \quad i = \overline{1, N},$$

$$\varepsilon_i^- = \lambda^- p_{0i}^- + \sum_{j=1}^N \frac{\varepsilon_j^-}{\mu_j + \varepsilon_j^+} (1 - p_j) p_{ji}^- + \varepsilon_{N+1} p_{N+1i},$$

$$\varepsilon_{N+1} = \sum_{j=1}^N \frac{\varepsilon_j^+}{\mu_j + \varepsilon_j^-} p_j.$$

If $\frac{\varepsilon_i^+}{v_i} < 1$, $\frac{\varepsilon_i^+(1-p_i)}{\mu_i + \varepsilon_i^-} < 1$, $\frac{\varepsilon_{N+1}}{\mu_{N+1}} < 1$ are carried out, then Markov process $x(t)$ is

ergodic and stationary distribution of the networkstates probabilities has the following form $p(x) = p_1(x_1) p_2(x_2) \dots p_{N+1}(x_{N+1})$, $x \in X$,

$$p_i(x_i) = \left(\frac{\varepsilon_i^+}{v_i} \right)^{m_i} \left(\frac{\varepsilon_i^+(1-p_i)}{\mu_i + \varepsilon_i^-} \right)^{n_i} \left(1 - \frac{\varepsilon_i^+}{v_i} \right) \left(1 - \frac{\varepsilon_i^+(1-p_i)}{\mu_i + \varepsilon_i^-} \right), \quad i = \overline{1, N},$$

$$p_{N+1}(x_{N+1}) = \left(\frac{\varepsilon_{N+1}}{\mu_{N+1}} \right)^{n_{N+1}} \left(1 - \frac{\varepsilon_{N+1}}{\mu_{N+1}} \right),$$

where m_i is the number of the customers in the control queue of node i , n_i is the number of the customers in the queue of positive customers waiting for service in the node i ($i = \overline{1, N}$), n_{N+1} is the number of the customers in the queue in the quarantine node ($N+1$); λ^+ , λ^- is the rates of Poisson input flows positive and negative customers; p_{0i}^+ , p_{0i}^- is the probabilities of direction the customer of input flow to the node i ; v_i is the parameter of exponential distribution of checking time in the node i ; μ_i is the parameter of exponential distribution of service time in the node i ; p_j is the probability of sending non-standard customer to the queue of node $N+1$; p_{ij}^+ , p_{ij}^- is the probabilities of direction the customer to the queue of node j as positive or negative; ε_i^+ , ε_i^- – the solution of traffic equations.

REFERENCES

1. Jackson J. R. Jobshop-like Queueing Systems // *Manag. Sci.* 1963. Vol. 10. № 1. P. 131–142.
2. Gelenbe, E. Product-form networks with negative and positive customers/ E. Gelenbe // *J. Appl. Prob.* 1991. Vol. 28. P. 656–663.
3. Yakubovich O. V., Letunovich Y. E., Evdokimovich V. E. Open Queueing Network With Quarantine // *J. Problems Of Physics, Mathematics And Technics.* № 2 (31) 2017. P.75-77.

**ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ С ПЕРЕМЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ,
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА
ПРОГРЕССИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Самаркин А. И.¹, Самаркина Е. И.², Дмитриев С. И.², Евгеньева Е. А.²

**¹Научно-образовательный математический центр «Северо-Западный
центр математических исследований им.и Софьи Ковалевской»**

Псковский государственный университет, Россия

²Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: режущий инструмент, смазочно-охлаждающая жидкость, трехмерная печать, регулярная решетчатая структура материала.

При обработке металлов резанием стойкость режущего инструмента значительно увеличивается при подаче соответствующей смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону резания.

Однако известные традиционные способы подачи СОЖ (например, свободно падающей струей, распылением и др.) как правило недостаточно эффективны из-за невозможности прямого попадания СОЖ в саму зону резания [1].

При абразивной обработке подобную задачу пытались решить путем подачи СОЖ через поры шлифовального круга за счет центробежной силы, однако данное решение столкнулось с проблемой нарушения балансировки круга [2].

При применении цельнометаллического режущего инструмента наиболее эффективным оказалась подача СОЖ через каналы, выполненные в теле инструмента или его державки.

Подобные каналы в свое время пытались встраивать в конструкцию инструмента (в основном в токарные резцы), но они применялись в основном в качестве тепловых трубок для отвода тепла из зоны резания [3]. Такое решение сдерживалось значительным усложнением конструкции инструмента, а часто и просто отсутствием технологий их выполнения. Ведь подобные каналы часто требуется выполнить криволинейными. Очевидно также, что указанные каналы, в свою очередь, снижают жесткость и прочность инструмента.

Противоречие может быть разрешено при использовании материалов с переменными свойствами, в данном случае — с пористостью. Традиционные методы получения материалов с внутренними пустотами ведут к получению хаотичной внутренней структуры, что нежелательно.

Использование материалов, получаемых методом трехмерной печати, позволяет сформировать регулярную решетчатую внутреннюю структуру материала, которая, с одной стороны, обеспечивает прокачку СОЖ в нужном направлении и заданном объеме, а с другой стороны — достаточную прочность и жесткость инструмента или его державки.

Напряжения, возникающие в инструменте в процессе резания, неравномерно распределены по объему державки, что также позволяет облегчить ее конструкцию за счет решетчатой внутренней структуры.

Таким образом, имеется возможность выполнить комплексный мультифизический расчёт конструкции режущего инструмента с учетом силовых и температурных факторов, и реализовать оптимальную облегченную конструкцию за счет внедрения решетчатой внутренней структуры, соответствующей обоим факторам.

В качестве расчетных методов предлагается использовать метод конечных элементов, а мультифизические расчеты выполнить в расчетном комплексе Comsol.

Работа проведена частично (Самаркиным А. И.) в рамках реализации проекта «Научно-образовательный математический центр “Северо-Западный центр математических исследований имени Софьи Ковалевской”» (соглашение № 075-02-2023-937 от 16 февраля 2023 г).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов Д. В. Основные виды смазочно-охлаждающих технологических средств, применяемых при резании металлов: учебное пособие / Д. В. Виноградов. М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2018. 96 с. ISBN 978-5-7038-4894-4.
2. Ящерицын П. И., Караим И. П. Шлифование с подачей СОЖ через поры круга / П. И. Ящерицын, И. П. Караим. Минск: Наука и техника, 1974. 255 с.
3. Тепло- и массообмен: учеб. пособие. в 2 ч. Ч. 1 / Б. М. Хрусталеv [и др.]; под общ. ред. А. П. Несеичука. Минск: БНТУ, 2007. 606 с. ISBN 978-985-479-645-1.

ОТ ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ЛЕСЛИ К УРАВНЕНИЮ АБЕЛЯ

Флегонтов А. В.

Российский государственный педагогический университет

им. А. И. Герцена, Россия

Ключевые слова: модель внутривидовой конкуренции, уравнение Абеля.

Рассматриваются две модификации системы Лотки-Вольтерра в виде обобщенной модели Лесли, а также простой двумерной модели внутривидовой конкуренции. Показывается приводимость рассматриваемых систем к уравнениям, содержащим полиномиальные функции, а иногда и к уравнению Абеля. Приводятся параметрические формы частных решений рассматриваемых систем, полученные на основе синтеза моделей из полиномиального подмножества в параметрическом виде, согласованного с исходной структурой приведенных уравнений.

При моделировании взаимодействующих процессов в популяционной динамике применяются, как правило, обыкновенные дифференциальные уравнения в виде системы Лотки-Вольтерра (см., например, [1, 2]).

Модель внутривидовой конкуренции, в данном случае, будет отражать динамическое взаимодействие между отечественными и зарубежными компаниями (как и в работах [3–5]) без учета роста ВВП.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свирежев Ю. М., Логофет Д. О. Устойчивость биологических сообществ. М.: Наука, 1978.
2. Пых Ю. А. Обобщенные системы Лотки-Вольтерра: теория и приложения: монография. СПб.: СПбГИПСР, 2017. 229 с.
3. Yang H., Shao C., Khashanah K. Multi-scale Economic Dynamics: The Micro-Macro Wealth Dynamics and the Two-Level Imbalances of the Euro Crisis // *Comput Econ* (2019) 53:587-616.
4. Флегонтов А. В., Буре В. М. Аттракторы равновесия некоторой трехмерной обобщенной системы Лотки-Вольтерра // *Современные проблемы математики и математического образования*. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2022. С. 245–248.
5. Флегонтов А. В., Буре В. М. От Лотки-Вольтерра к Абелю // *Современные проблемы математики и математического образования*. Санкт-Петербург: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2023. С. 322–325.

О РОЛИ ФОРМАЛЬНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ БАЗОВЫХ ПОНЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ ИНЖЕНЕРА

Герасименко П. В.¹, Воронов М. В.²

¹Петербургский государственный университет путей сообщения, Россия

²Московский государственный психолого-педагогический университет,
Россия

Ключевые слова: формальное определение, понятие, знания, фундаментальная подготовка, цифровизация.

Несмотря на стремительный прогресс в развитии современного общества приоритет в процессах подготовки инженера должен базироваться на решении задач по приобретению студентами качественного фундаментального и профессионально ориентированного образования. Однако следование этому императиву наталкивается на многочисленные препятствия. Среди их серьезную озабоченность вызывает зачастую непродуманные нововведения, связанные с тотальной цифровизацией учебного процесса. Как следствие, формируется убеждение, что цифровые технологии якобы позволяют решать все инженерные вопросы, что уводит обучаемых от стремления получить прочные базовые знания. На практике повсеместно вымываются процедуры, обеспечивающие фундаментальную инженерную подготовку. Как следствие, резкое снижение качество подготовки выпускников, признаком чего является непонимание, в том числе, сути используемых базовых понятий.

Одна из причин этому заключается в облегченном отношении к лексическому аспекту введения новых квантов знаний в ходе учебного процесса и при наполнении интернет-пространства.

В докладе в качестве примера проводится сравнительный анализ двух понятий, таких как «надежность» и «риск», имеющих огромное значение в инженерной практике, однако их часто неверно трактуют, что зачастую приводит к весьма негативным последствиям [1].

Действительно эти понятия связаны со случайностью, но при более глубоко системном рассмотрении их один из них, а именно надежность является свойством объекта системы, а второй, которым является риск – свойством субъекта системы. В частных случаях оба могут измеряться одним показателем – вероятностью. При вычислениях последней оба термина используют один логический алгоритм исследования, в котором огромную роль играет моделирование, но, несмотря на ряд совпадений, они имеют разную природу, что важно знать для их адекватного применения.

При введении новых понятий необходимо, чтобы было раскрыто содержание понятий «надежность» и «риск» таким образом, чтобы видны были их предметы предназначения. В докладе на примере двух этих понятий конкретизировано их содержание и уточнена их сущность.

Если ограничиться рассмотрением надёжности в узком смысле, то она определена как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех его параметров. Если рассматривается более широкую трактовку надёжности, то ее необходимо оценивать комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать в себя отдельные свойства, такие как безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость и др., а также определённое сочетание этих свойств. За показатель надёжности обычно принимают вероятность того, что объект в целом будет соответствовать установленным требованиям, например, это вероятность безотказной работы при заданных условиях на определённом периоде времени.

Риск определяется, как поступок (действие) субъекта принять решение на функционирование объекта, направленного на достижение планируемого показателя цели в условиях неопределенности [3]. Риск невозможно рассматривать вне некоторой инженерной системы, которая, как минимум, должна содержать субъект, который заинтересован в функционировании объекта, внешнюю среду, в которой функционирует объект и предмет, по которому оценивается достигаемая цель функционирования объекта.

Под показателем риска понимается объясненная субъектом характеристика меры возможного отклонения смоделированного результата реализации принятого субъектом решения на функционирование объекта от запланированного. Отсюда логически следует: рисковать означает принимать решение на функционирование объекта при наличии возможного недостижения цели; рискуют субъекты, поскольку именно они при конкретных условиях и обстоятельствах принимают решение на функционирование объекта, а также несут ответственность за его последствия; риск существует тогда и только тогда, когда фактический исход субъекту неизвестен, когда при функционировании объекта возможно не единственное развитие событий и каждое из них может привести к разному уровню ущерба или иному негативному последствию, затрагивая интересы субъекта; риск без принадлежности не существует [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Принятие решений при управлении организационными системами: монография / Вертешев С. М., Воронов М. В., и др. Псков, 2019.
2. Герасименко П. В. Метод моделирования риска при повышении стоимости услуг // Известия Международной академии наук высшей школы. 2011. № 2 (56). С. 64–70.
3. Герасименко П. В, Титов Г. Б. Оценивание рисков необеспечения своевременной доставки груза железнодорожным транспортом / В сборнике: Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте: материалы VIII Международной научно-практической конференции. 2013. С. 293–295.

ОБРАБОТКА ТРАНЗАКЦИЙ В МОНОЛИТНОЙ И МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРАХ СОВРЕМЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Вертешев А. С., Вертешев С. М.

Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: монолитная и распределенная архитектура приложений, обеспечение acid свойств транзакций, проблемы проведения транзакций и способы их решения.

В настоящее время проектировщики и разработчики часто сталкиваются с проблемой, на использовании какой архитектуры должно быть основано их приложение или система. В данной статье мы рассмотрим обе архитектуры и для сравнения сделаем упор на то, как осуществляется проведение транзакций в рамках данных архитектур.

Монолитное приложение будет использовать трехуровневую архитектуру, включающую: пользовательский интерфейс; серверную часть, отвечающую за бизнес-логику приложения и доступ к данным; базу данных.

При использовании микросервисной архитектуры, каждый из сервисов отвечает за конкретную бизнес-задачу, имеет собственную базу данных и общается с другими сервисами через простые API-интерфейсы для решения более сложных задач.

Монолитное приложение работает с одной базой данных, у каждой транзакции есть начало и конец. Мы можем быть уверены, что данные любого многоступенчатого процесса в такой архитектуре будут согласованы.

Каждый микросервис работает сам по себе, записывает свои данные в собственную базу, да и базы эти могут быть принципиально разными. Операции носят асинхронный характер, и четко проконтролировать их работу в рамках многоступенчатого процесса практически невозможно [1].

Транзакцию можно рассматривать как группу операций, имеющими следующие acid свойства атомарность — выполняются либо все операции, либо ни одна из них; согласованность — каждая транзакция переводит систему из одного согласованного состояния в другое; изоляция — для повышения производительности системы несколько транзакций могут выполняться одновременно, не влияя друг на друга. Эффекты такого одновременного выполнения эквивалентны последствиям их последовательного выполнения; долговечность — после того, как транзакция зафиксирована, ее последствия являются устойчивыми, т. е. не подвержены сбоям.

Существует ряд проблем, возникающих при проведении транзакций: проблема потерянного обновления, «грязного чтения», неповторяемого чтения, чтения фантомов. Способы их решения, направленные на обеспечение acid свойств это явные и неявные блокировки транзакций, а также уровни изоляции, которые можно задать совместно с блокировками: уровень незавершенное чтение (read uncommitted), завершенное чтение (read committed), воспроизводимое чтение (repeatable read), сериализуемость (serializable) [2].

Реализовать все эти понятия в распределенной среде не так-то просто. С внедрением микросервисной архитектуры базы данных утрачивают свою acid природу. В силу возможного распространения транзакций между множеством микросервисов и, следовательно, баз данных, приходится иметь дело со следующими ключевыми проблемами: поддержание атомарности, изоляция транзакций. Две вышеупомянутые проблемы весьма критичны в контексте проектирования и создания приложений на основе микросервисов. Для их решения применяется два способа: двухфазная фиксация и согласованность в конечном счете и компенсация / SAGA [3].

Первый способ гарантирует атомарность транзакции. Транзакция завершится либо в том случае, когда оба микросервиса сработают успешно, либо в случае, когда микросервисы не внесут никаких изменений. Также данный подход позволяет изолировать чтение от записи, так как изменения в объектах не видны до тех пор, пока координатор транзакций не зафиксирует эти изменения.

Второй способ заключается в том, что каждый микросервис сосредотачивается лишь на собственной атомарной транзакции. Работа микросервисов не блокируется, если на работу другого сервиса требуется сравнительно много времени. Это также означает, что не требуется блокировать и базу данных. При помощи такого подхода можно обеспечить хорошую масштабируемость системы при работе под высокой нагрузкой, поскольку предлагаемое решение асинхронное и основано на работе с событиями. Основной недостаток этого подхода заключается в том, что здесь не обеспечивается изоляция при чтении [4].

В заключении следует отметить, что при создании приложений лучше использовать гибридную архитектуру, т.е. начинать с использования монолитной архитектуры, ядро приложения будет монолитом, а более новые модули, будут присоединяться как отдельные микросервисы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закатаева Н. Микросервисы и микросервисная архитектура. [Электронный ресурс]: URL: <https://telegra.ph/Mikroservisy-i-mikroservisnaya-arhitektura-06-19> (дата обращения 08.09.2023).
2. Нестеров С. А. Базы данных: учебник и практикум для академического бакалавриата / С. А. Нестеров. М.: Юрайт, 2018. 230 с. (Бакалавр. Академический курс). ISBN 978-5-534-00874-6. Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. [Электронный ресурс]: URL: <https://urait.ru/bcode/413545> (дата обращения: 07.09.2023).
3. Анна Вичугова Целостность и качество данных: ACID и транзакции в мире Big Data. [Электронный ресурс]: URL: <https://bigdataschool.ru/blog/data-integrity-quality-and-acid-distributed-transactions-in-big-data.html> (дата обращения: 07.09.2023).
4. Кейанг Сян Паттерны распределенных транзакций в архитектуре микросервисов. [Электронный ресурс]: URL: <https://developers.redhat.com/blog/2018/10/01/patterns-for-distributed-transactions-within-a-microservices-architecture> (дата обращения 07.08.2023).

ЗАМКНУТАЯ СЕТЬ ГОРДОНА — НЬЮЭЛЛА С ОДНОЛИНЕЙНЫМИ ПОЛЮСАМИ И ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНО ОГРАНИЧЕННЫМ ВРЕМЕНЕМ ОЖИДАНИЯ ЗАПРОСОВ

Немиловитая В. А.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь

Ключевые слова: сеть массового обслуживания, ограниченное время ожидания, матрица маршрутизации, эргодичность, стационарное распределение.

Сеть массового обслуживания состоит из N однолинейных полюсов (систем) с бесконечным числом мест для ожидания. Время обслуживания запроса единственным прибором i -го полюса имеет экспоненциальное распределение с параметром μ_i ($i = \overline{1, N}$). Время ожидания начала обслуживания запроса в очереди i -го полюса является случайной величиной, условное распределение которой (если в i -м полюсе находится n_i запросов) экспоненциальное с параметром $\frac{\nu_i}{n_i - 1}$ ($i = \overline{1, N}$).

Иначе говоря, условная вероятность того, что длительность ожидания начала обслуживания каждого запроса в i -м полюсе закончится в промежутке времени $[t, t+h)$, если в момент t в полюсе находилось n_i запросов, равна $\frac{\nu_i}{n_i - 1} h + o(h)$ при $h \rightarrow 0$, а условная вероятность завершения процесса ожидания хотя бы одного из этих запросов равна $\nu_i h + o(h)$.

Если запрос поступает в полюс, свободный от запросов, она сразу начинает обслуживаться. Запросы обслуживаются в порядке поступления в полюсы (дисциплина FCFS). Предполагается, что промежутки времени между моментами поступления запросов, времена обслуживания запросов и времена ожидания запросов в узлах - независимые случайные величины. Запрос, обслуженный в i -м полюсе, мгновенно и независимо от других запросов с вероятностью p_{ij} мгновенно переходит в j -й полюс ($i, j = \overline{1, N}, \sum_{j=1}^N p_{ij} = 1$). Запрос, время ожидания которого в i -м полюсе закончилось, мгновенно и независимо от других запросов с вероятностью r_{ij} направляется в j -й полюс ($i, j = \overline{1, N}, \sum_{j=1}^N r_{ij} = 1$).

Стохастические квадратные матрицы $P = (p_{ij})$ и $R = (r_{ij})$ порядка N ($i, j = \overline{1, N}$) - матрицы маршрутизации соответственно обслуженных и не дождавшихся обслуживания запросов. Тогда матрица $S(\tilde{n}) = (s_{ij}(n_i), i, j = \overline{1, N})$, где $s_{ij}(n_i) = \frac{\mu_i p_{ij} + \nu_i r_{ij} I_{\{n_i \neq 1\}}}{\mu_i + \nu_i I_{\{n_i \neq 1\}}}$, I_A - индикатор события A , равный 1, если A происходит, и

0 в противном случае, элементы i -й строки которой зависят от числа n_i запросов в i -м полюсе, также является стохастической матрицей и управляет движением запросов между полюсами $1, 2, \dots, K, N$ без учета того, за счет чего (окончания обслуживания или ожидания) запрос покидает полюс.

Уравнение трафика

$$\varepsilon_j(n_j - 1) = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i(n_i) s_{ij}(n_i - 1), \quad j = \overline{1, N}. \quad (1)$$

при фиксированных $\mu_i, \nu_i, n_1, n_2, \dots, n_N, i = \overline{1, N}$ имеет единственное с точностью до постоянного множителя положительное решение. Здесь $\varepsilon_i(n_i)$ условную интенсивность потока запросов, выходящего из i -го полюса, находящегося в состоянии n_i ($i = \overline{1, N}$).

Доказана теорема, обобщающая теорему Гордона-Ньюэлла. Если матрица маршрутизации неприводима, то цепь Маркова $n(t)$ эргодична, а ее единственное стационарное распределение имеет форму произведения

$$p(n) = [C(N, K)]^{-1} p_1(n_1) p_2(n_2) \dots p_N(n_N), \quad (2)$$

$$p_i(n_i) = p_i(0) \frac{1}{\mu_i (\mu_i + \nu_i)^{n_i - 1}} \prod_{l=0}^{n_i - 1} \varepsilon_i(l), \quad p_i(0) = \left(1 + \frac{\mu_i + \nu_i}{\mu_i} \sum_{n_i=1}^{\infty} \prod_{l=0}^{n_i - 1} \frac{\varepsilon_i(l)}{\mu_i + \nu_i} \right)^{-1},$$

где $\{\varepsilon_i(n_i), i = \overline{1, N}\}$ - решение уравнения трафика (1), а

$$C(N, K) = \sum_{n \in Z_+^N: n_1 + n_2 + \dots + n_N = K} p_1(n_1) p_2(n_2) \dots p_N(n_N) - \text{нормирующая постоянная.}$$

В силу однородности при использовании теоремы можно считать, что $p_i(0) = 1$. Таким образом, как и в обычной сети Гордона-Ньюэлла в стационарном режиме в каждый фиксированный момент времени t состояния полюсов $n_1(t), n_2(t), \dots, n_N(t)$ зависимы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малинковский Ю. В. Стационарное распределение вероятностей состояний G-сетей с ограниченным временем пребывания / Ю. В. Малинковский // АВТ. 2017. № 10. С. 155–167.
2. Малинковский Ю. В. Стационарное распределение сетей Джексона с экспоненциальным ограничением на время пребывания заявок / Ю. В. Малинковский, В. А. Немилостивая // Проблемы физики, математики и техники. 2020. № 3 (44). С. 73–77.

К ВОПРОСУ О ПОДХОДАХ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ШЛИФОВАНИЯ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ С ФАСОННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

**Алексеев А. А., Дмитриев С. И., Евгеньева Е. А.
Псковский государственный университет, Россия**

Ключевые слова: шлифование, шлифовальные станки, ленточно-шлифовальные станки.

Наружное шлифование деталей, имеющих форму тел вращения со сложным профилем в осевом сечении представляет собой достаточно сложную задачу, особенно при малых допусках размеров, формы и взаимного положения поверхностей. Применяемые методы обработки таких деталей зависят от объема выпуска и требуемой точности.

Наиболее распространенным способом обработки деталей со сложным профилем является обработка на оптико-шлифовальных станках. Способ обеспечивает высокую точность, не требует специального инструмента и оснастки, но предъявляет высокие требования к квалификации рабочего и не является производительным. Однако при изготовлении больших партий деталей на таких станках остро встает вопрос производительности [1].

Данный тип станков плохо поддается внедрению числового программно-управления из-за сложностей с предсказанием износа шлифовального круга, и, как следствие, предсказания формы и размеров детали. Кроме обеспечения жесткости, положения инструмента на оптико-шлифовальных станках с ЧПУ существуют попытки определения координаты инструмента путем анализа с помощью программно-аппаратного комплекса, производящего анализ изображения места контакта шлифовального круга с заготовкой, либо выводящего изображение на экран для контроля процесса обработки оператором станка

Другим способом обработки деталей, имеющих форму тел вращения является шлифование на универсальных круглошлифовальных станках фасонным кругом [2]. Способ является достаточно производительным, однако требует дополнительной оснастки. При таком способе обработки деталь шлифуется фасонным кругом, имеющим профиль, обратный профилю детали. Шлифовальный круг заправляется под необходимый профиль непосредственно на станке с помощью специального приспособления. Обрабатывается при таком способе весь профиль или его часть только радиальной подачей круга.

Наибольшую сложность при обработке сложных профилей на универсальных круглошлифовальных станках представляет проектирование и изготовление приспособления для заправки круга, из-за требований к его габаритам, точности, жесткости, требований к точности изготовления направляющих, требований к простоте установки на станок и снятию.

Из-за износа шлифовального круга необходима частая его правка, что снижает производительность и увеличивает износ круга. Данный способ обработки сложен для автоматизации.

Менее распространенным способом шлифования сложных профилей является шлифование на ленточно-шлифовальных станках [3]. Существует несколько разновидностей шлифования деталей на таких станках:

– шлифование на свободной ленте. В случае деталей сложной формы таким способом возможно обеспечить только требуемую шероховатость поверхности, но не точность размеров и формы;

– шлифование на копиере. Абразивная лента движется по копиру, имеющему профиль, обратный профилю детали. От шлифования фасонным кругом способ отличается направлением движения инструмента: при шлифовании фасонным кругом оси шлифовального круга и обрабатываемой детали параллельны в подавляющем большинстве случаев, при обработке шлифовальной лентой на копиере всегда перпендикулярны из-за необходимости натяжения ленты при обхвате. Метод не имеет недостатков шлифования фасонным кругом, но имеет ограничения по форме обрабатываемого профиля. К преимуществам способа можно отнести также возможность охлаждения копира для отвода тепла от зоны резания;

– шлифование на ролике. Данный способ для обработки деталей сложного профиля применим только на станках с ЧПУ, и лишен недостатков станков с ЧПУ, использующих в качестве инструмента шлифовальный круг.

К нерешенным проблемам шлифования деталей на ленточно-шлифовальных станках относятся обеспечение постоянного натяжения ленты, независимо от удлинения ее в процессе работы станка, устойчивости ленты на копиере и ролике, определение режимов резания.

Авторы ставят задачу провести компьютерное моделирование шлифования поверхностей на ленточно-шлифовальных станках с целью выявления сдерживающих факторов и нахождения путей оптимизации протекающих при этом процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лоскутов В. В. Шлифовальные станки. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1988. 176 с.
2. Справочник молодого шлифовщика / М. С. Наерман, Я. М. Наерман, А. Э. Исаков. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1991. 206, с.: ISBN 5-06-001883-0.
3. Эксплуатация и обслуживание технологических машин: металлообрабатывающее оборудование / В. Б. Богущкий, Д. Е. Сидоров, Л. Б. Шрон, Э. С. Гордеева. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 120 с. ISBN 978-5-507-45285-9. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]: URL: <https://e.lanbook.com/book/302612> (дата обращения: 11.10.2023). Режим доступа: для авториз. пользователей.

О ПОДХОДАХ К ПОСТРОЕНИЮ МОДЕЛЕЙ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Горелов М. А.², Бруттан Ю. В.^{1,2}

¹ Научно-образовательный математический центр «Северо-Западный центр математических исследований имени Софьи Ковалевской»

Псковского государственного университета, Россия

² Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: рекомендательные системы, коллаборативная фильтрация, контентная фильтрация, нейронные сети.

Рекомендательные системы стали неотъемлемой частью онлайн-ритейла, стриминговых сервисов и прочих онлайн-платформ, которые предоставляют пользователям персонализированные рекомендации на основе их предпочтений и поведения. Рекомендательные системы работают на основе алгоритмов и моделей, которые анализируют данные о поведении пользователей, их предпочтениях и действиях, чтобы предсказывать, какие элементы (фильмы, товары, статьи, музыка и другие) могут заинтересовать каждого конкретного пользователя. Эти системы обеспечивают не только удовлетворенность потребностей пользователей, но и способствуют увеличению уровня вовлеченности и коммерческому успеху онлайн-платформ. [1]

Методы предоставления неперсонализированных рекомендаций не учитывают индивидуальные предпочтения и характеристики пользователей. Вместо этого, они стремятся предоставить общие рекомендации, основанные на популярности, трендах или актуальности. Такие методы достаточно простые в реализации, подходят для новых пользователей без истории взаимодействия, а также могут быть полезны в ситуациях, где данные о пользователях ограничены.

В методе коллаборативной фильтрации используются данные о взаимодействиях между пользователями и элементами (оценки фильмов, покупки товаров и т. д.) для предсказания рекомендаций. Данный метод считается относительно простым в реализации. Он хорошо работает с большими объемами данных, но имеет проблему «холодного старта», а также не учитывает контентные характеристики элементов [2].

Метод контентная фильтрации основан на анализе характеристик элементов и профилей пользователей для создания рекомендаций учитывает контентные особенности, хорошо работает с новыми элементами. Однако при его использовании можно столкнуться с ограниченной релевантностью рекомендаций.

Гибридные методы совмещают коллаборативную и контентную фильтрацию для улучшения качества рекомендаций. Они комбинируют сильные стороны обоих методов, нивелируя их недостатки, но в то же время требуют больше вычислительных ресурсов и имеют более высокую сложность в реализации.

Модели матричной факторизации используют линейные и нелинейные методы для анализа матрицы взаимодействий пользователей и элементов эф-

фактивно сжимают информацию, обладают высокой точностью, но могут требовать больших объемов вычислений и данных.

Нейронные сети используются для извлечения сложных зависимостей между пользователями и элементами. Они способны обрабатывать неструктурированные данные, с их помощью можно получить достаточно высокие результаты. Но в то же время нейронные сети требуют больших объемов данных и вычислительных ресурсов.

Выбор подхода к построению моделей рекомендательных систем зависит от конкретных задач, доступных данных и ресурсов. Гибридные методы и глубокое обучение в настоящее время считаются одними из наиболее перспективных направлений в этой области, но и классические методы, такие как, коллаборативная и контентная фильтрация, остаются востребованными в ряде сценариев.

Работа проведена в рамках реализации проекта «Научно-образовательный математический центр “Северо-Западный центр математических исследований имени Софьи Ковалевской”» (соглашение № 075-02-2023-937 от 16 февраля 2023 г).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yadav N., Kumar R., Singh A., Pal S. Diversity in Recommendation System: Cluster Based Approach. Hybrid Intelligent Systems. 2020. P. 113–122.
2. Liaoliang Jiang, Yuting Cheng, Li Yang, Jing Li, Hongyang Yan, Xiaoqin Wang A trust-based collaborative filtering algorithm for E-commerce recommendation system Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. <https://doi.org/10.1007/s12652-018-0928-7>.

АРХИТЕКТУРА И ТРЕБОВАНИЯ К АВТОМАТИЧЕСКИМ ТОРГОВЫМ СИСТЕМАМ НА ФИНАНСОВЫХ РЫНКАХ

**Миронов Т. С., Мотайленко Л. В., Андреев Д. А., Хришкевич Г. А.
Псковский государственный университет, Россия**

Ключевые слова: торговая система, большие данные, микросервисная архитектура.

С развитием финансовых рынков стало очевидным, что эффективное управление активами требует более сложных и автоматизированных решений. Автоматические торговые системы, основанные на алгоритмах и программных агентах, стали неотъемлемой частью современной финансовой индустрии. Эти системы позволяют трейдерам и инвесторам оперировать на рынках с высокой скоростью, выполняя торговые алгоритмы в реальном времени. Однако, чтобы эффективно оперировать в условиях современных финансовых рынков, автоматические торговые системы должны соответствовать определенным требованиям, чтобы обеспечивать должный уровень производительности и безопасности. Учет этих аспектов является критическим для успешной разработки и эксплуатации алгоритмических торговых систем.

В данной работе подробно рассматриваются требования к автоматическим торговым системам [1], а также обсуждается их влияние на проектирование и разработку. Также предлагается общая структура архитектуры [2; 3], которая поможет обеспечить соответствие торговой системы высоким стандартам производительности, надежности и безопасности на современных финансовых рынках [4; 5].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cliff D. and Northrop L. The Global Financial Markets: An Ultra-Large-Scale Systems Perspective. Large-Scale Complex IT Systems. Development, Operation and Management, 2012. Pp. 29–70.
2. Simitsis P. Vassiliadis, and Sellis T. K. Optimizing ETL processes in data warehouses. In Proc. 21st Int. Conf. on Data Engineering, 2005. Pp. 564–575.
3. Tawsif K., Hossen J., Emerson J. Raja, Jesmeen M. Z. H., and Arif E. M. H. A Review on Complex Event Processing Systems for Big Data. 2018 Fourth International Conference on Information Retrieval and Knowledge Management (CAMP), 2018. P. 2–7.
4. Mordinyi R., Kuehn E., and Schatten A. Space-Based Architectures as Abstraction Layer for Distributed Business Applications. The Fourth International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems. 2010. Pp. 47–53.
5. Penalva J., Jaimungal S., and Cartea A. Algorithmic and High-Frequency Trading. Cambridge University Press, 2015.

УДК 004.8

ПОСТРОЕНИЕ, АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННОГО РЯДА МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Грызунова И. В., Николаев В. В.

Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: машинное обучение, временной ряд, тренд, методы экспоненциального сглаживания, прогнозирование.

В настоящее время методы машинного обучения широко применяются в различных областях экономики, финансов, биржевой торговли, метеорологии и т. п. Вместе с тем подобные исследования проводятся также и при оценке деятельности образовательных организаций высшей школы на основе совокупности некоторых показателей [1]. В контексте высшего образования машинное обучение можно использовать, например, для прогнозирования успеваемости студентов, оценки эффективности преподавательской деятельности и т. п.

Представленная в докладе работа посвящена анализу выполнения одного из пунктов индивидуального учебного плана работы преподавателя — «Подготовка к учебным (аудиторным) занятиям» из раздела «Учебно-методическая работа» автоматизированной системы «Учебная нагрузка», используемой в ПсковГУ. Все необходимые исходные данные для построения временного ряда взяты из Рабочего учебного плана по конкретному направлению подготовки и Инструкции [2].

Работа выполнена в интерактивной облачной среде Google Colaboratory (Google Colab), предоставляющей возможность работать с кодом на языке Python в браузере, не устанавливая на свой компьютер дополнительных программ [3].

Был разработан датасет для нахождения закономерности данных и построения на их основе гипотез. Для формирования временного ряда была взята работа некоторого обезличенного преподавателя университета в течение учебного года.

При анализе временного ряда проведена оценка всех его основных компонентов — тренда, сезонности, случайных колебаний и т. д., а также рассмотрены методы экспоненциального сглаживания, учёта синтетической нагрузки и возможность прогнозирования, предполагая, что прогнозируемый тренд будет недолговременным. Пример построения графика временного ряда приведён на рис. 1.

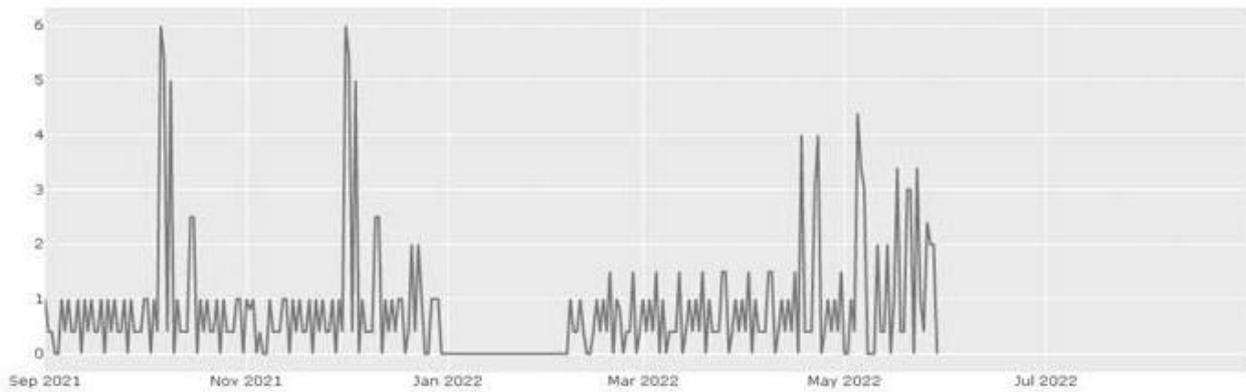


Рис. 1. Временной ряд

Программный код разработки на языке Python и графики полученных результатов представлены в [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение методов машинного обучения при оценке деятельности образовательной организации высшей школы [Электронный ресурс]: URL: <https://www.kbncran.ru/wp-content/uploads/2023/07/Boz-1.pdf> (дата обращения: 08.10.2023).
2. Инструкция о рекомендуемых нормах времени и порядке расчета объемов учебной работы, выполняемой научно-педагогическими работниками по образовательным программам высшего образования, утвержденная приказом ректора ПсковГУ от 28.04.2022 г. № 0428-1.
3. Что такое Google Colab и кому он нужен [Электронный ресурс]: URL: <https://blog.skillfactory.ru/cto-takoe-google-colaboratory-i-komu-on-nuzhen/> (дата обращения: 08.10.2023).
4. Построение и анализ временного ряда [Электронный ресурс]: URL: <https://colab.research.google.com/drive/1uonSsnNO7Op3EWIomiRhT82lt5aCA60v?usp=sharing> (дата обращения: 08.10.2023).

РАЗРАБОТКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ШИН

Лопушко М. А.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь

Ключевые слова: нейронная сеть, Python, физический эксперимент, свойства шин.

Для прогнозирования свойств шин можно использовать нейронное моделирование. Разработано на языке программирования Python с использованием библиотек Openpyxl и Numpy.

Обучение нейронной сети осуществлялось по статистическим данным свойств отечественных и зарубежных производителей шин, которые были представлены в виде таблиц MS Excel. Свойства шин характеризовались следующими параметрами: твердость по шору А; статический модуль упругости; динамический модуль упругости; тангенс угла механических потерь; время релаксации; параметр А ядра релаксации; параметр Б ядра релаксации; энергия деформирования; энергия упругого деформирования; энергия вязкого деформирования. Входными параметрами были: радиус шины; сезонность шины (летняя, зимняя, всесезонная); температура; производитель (белорусский или иностранный).

Для работы с данными была использована библиотека Openpyxl, которая дала возможность импортировать данные из MS Excel в Python [1]. Библиотека Numpy использовалась для работы с большими массивами данных и высокоуровневых математических функций. В программе были использованы следующие функции Python: np.random.normal(); openpyxl.open(); np.applyalongaxis(); np.array; sheet.book [2].

При запуске приложения, пользователю необходимо ввести входные параметры нейронной сети (рисунок 1).

```
predict[0] = 0
predict[1] = 1
predict[2] = 0
predict[3] = 0.16
predict[4] = 0.30
```

Рис. 1. Ввод входных значений

Затем нейросеть обучается на основе статистических данных, и после прогнозирует свойства шины, и выдает их пользователю (рис. 2).

```
Твердость по Шору А
76.23765419
Статический модуль упругости
7083093.54161565
Динамический модуль упругости
63099145.37713568
Тангенс угла механических потерь
0.33790999
Время релаксации
0.00132708
Параметр А ядра релаксации
99916.73696136
Параметр В ядра релаксации
99944.92191473
Энергия деформирования
0.00215334
Энергия упругого деформирования
0.00237406
Энергия вязкого деформирования
0.00212945
```

Рис. 2. Вывод предсказанных значений

После обучения нейронная сеть предсказывает свойства шин на основе, параметров, введенных пользователем.

Результаты моделирования могут быть использованы производителями шин для того, чтобы определить лучший состав шин или для сравнения свойств шин с другими производителями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Python & Excel. Использование Python и Excel / Хабр [Электронный ресурс]: URL: <https://habr.com/ru/company/otus/blog/331998> (дата доступа: 17.12.2022).

2. Шолле Ф. Глубокое Обучение на Python / Ф. Шолле; [пер. с англ. А. Киселева]. Питер, 2019. 397 с.

СТАЦИОНАРНОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СЕТИ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ И СИГНАЛАМИ ВЫЧЁРКИВАНИЯ

Елистратов Д. А., Малинковский Ю. В.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь

Ключевые слова: сеть массового обслуживания, обратная связь, сигналы вычёркивания, стационарное распределение.

В сеть массового обслуживания, состоящую из $N = 3$ однолинейных экспоненциальных узлов (систем) с интенсивностью обслуживания μ_1, μ_2, μ_3 , соответственно, поступают 2 независимых стационарных пуассоновских потоков заявок, причем в 1-ый узел поступает 1 поток – поток положительных (обычных заявок, требующих обслуживания) с интенсивностью λ_1 и во 2-ой узел поступает поток отрицательных заявок с интенсивностью λ_2 . При поступлении в узел, в котором имеется хотя бы одна положительная заявка, отрицательная заявка убивает, удаляет из сети ровно одну положительную заявку и мгновенно покидает сеть, не оказывая на нее дальнейшего влияния. Если отрицательная заявка поступает в узел, в котором нет положительных заявок, то она не оказывает вообще никакого влияния на сеть и мгновенно пропадает. Процессы поступления и обслуживания предполагаются независимыми. Число мест для ожидания заявок в узле бесконечное. Если положительная заявка поступает в узел, свободный от положительных заявок, она сразу начинает обслуживаться. Дисциплина обслуживания FCFS. Положительная заявка, обслуженная в 1-ом узле, мгновенно и независимо от других заявок с вероятностью $p_{12}^+ = 1$ направляется во 2-ой узел сети как положительная заявка. Положительная заявка, обслуженная во 2-ом узле, мгновенно и независимо от других заявок с вероятностью $p_{23}^+ = \frac{1}{2}$ направляется в 3-ий узел сети как положительная заявка, а с вероятностью $p_{20} = \frac{1}{2}$ — покидает сеть. Положительная заявка, обслуженная в 3-м узле, мгновенно и независимо от других заявок с вероятностью $p_{31}^- = \frac{1}{2}$ направляется в 1-ый узел сети как отрицательная заявка, а с вероятностью $p_{31}^+ = \frac{1}{2}$ направляется в 1-ый узел сети как положительная заявка (рисунок 1).

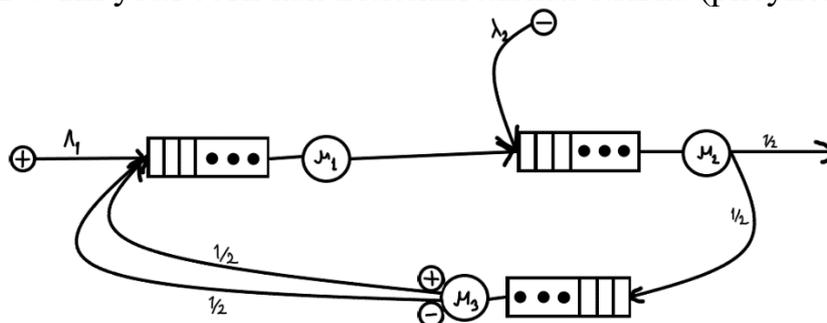


Рис. 1. Исследуемая сеть массового обслуживания

Составлены и решены уравнения трафика [1, 2]. Найдено стационарное распределение вероятностей состояний сети вида:

$$P(n_1, n_2, n_3) = \prod_{i=1}^3 (1 - \rho_i) \cdot \rho_i^{n_i},$$

где $\rho_i = \frac{\lambda_i^+}{\mu_i + \lambda_i^-}$, λ_i^+ , λ_i^- решения уравнения трафика.

Установлено условие существования стационарного распределение

$$\rho_i < 1, (i = 1, 2, 3).$$

Результаты и выводы исследования могут быть использованы при анализе в банковской и производственной сферах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малинковский Ю. В. Теория вероятностей. Минск: РИВШ, 2019. 270 с.
2. Малинковский, Ю. В. Математическая статистика. Случайные процессы. Минск: РИВШ, 2019. 203 с.

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ КУРСОВ ВАЛЮТ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ИНДЕКСОВ

Гаврилькова Е. В.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь

Ключевые слова: курсы валют, промышленные индексы, временные ряды, стационарность, кросс-корреляция, GARCH.

Рассмотрены курсы валют по отношению к USD и промышленные индексы [1]. Проведено исследование динамики курсов валют RUB, CAD, GBP, EUR, CNY по отношению к USD и промышленных индексов за период с 01.01.2020 по 10.04.2023, определены числовые характеристики логарифмических темпов роста, исследована взаимосвязь между исходными данными и темпами роста.

Проведён тест Дикки-Фуллера для анализа временного ряда на наличие стационарности. Значение t -статистики Дикки-Фуллера больше критического значения при различных уровнях значимости, ряды являются нестационарными. Построены графики АКФ и ЧАКФ, нестационарность подтверждена. Осуществлён переход к логарифмическим темпам роста. Стационарность преобразованных рядов подтвердилась тестом Дикки-Фуллера.

Рассмотрена кросс-корреляция динамики логарифмов всех валютных пар к валютной паре Bitcoin, установлена взаимосвязь между логарифмическими темпами роста валют и промышленных индексов. Так же были построены модели ARIMA и GARCH для логарифмических темпов роста. Анализ остатков на белый шум и значения R^2 доказали адекватность построенных моделей.

Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования финансовых активов заинтересованными лицами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цены кросс-курсов по выбранной валюте [Электронный ресурс]: URL: <https://ru.investing.com/currencies/single-currency-crosses> (дата доступа 01.12.2022).

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ ДЕПОЗИТОВ БАНКОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Маюрникова А. В., Якубович О. В.

**Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь**

Ключевые слова: банки Республики Беларусь, банковский вклад, капитализация процентов, сберегательный, накопительный, целевой вклады, простые и сложные проценты.

Открытие вклада в банке — это самый удобный и доступный для всех граждан способ вложения своих денежных средств. Но, не смотря на свою легкость, простоту и доступность, банковские вклады имеют свои нюансы и особенности, о которых должен знать каждый человек, желающий открыть вклад в банке. Банковский вклад хотя и является самым удобным и надежным финансовым инструментом, он также имеет свои преимущества и недостатки.

Были рассмотрены сведения по депозитам физических лиц за 2023 год банков Республики Беларусь: ОАО «АСБ Беларусбанк», ОАО «Белагропромбанк», ОАО «Белинвестбанк», ОАО «Банк Дабрабыт», ОАО «Паритетбанк», ОАО «Сбер Банк», ОАО «Банк БелВЭБ», ОАО «Приорбанк», ЗАО «Альфа-Банк», ЗАО Банк ВТБ, ЗАО «МТБанк», ОАО «Технобанк», ОАО «БНБ-Банк», ОАО «Белгазпромбанк», ЗАО «БСБ Банк», ЗАО «РРБ-Банк», ЗАО «Банк "Решение"», ЗАО «БТА Банк», ОАО «СтатусБанк», ЗАО «ОптиКурс НКФО» [1].

Анализ вкладов проводился исходя из условий и сроков их предоставления.

Первым делом были проанализированы условия вкладов, в основном, в банках Республики Беларусь они являются схожими. Однако, самыми выгодными являются условия депозитов: «Депозитная карта» (ОАО «Белагропромбанк»), «Управляй» (ОАО «Сбер Банк»), «Альфа-Сейф» (ЗАО «Альфа-Банк»), «Мои условия» (ЗАО Банк ВТБ), «Срочный отзывный» (ОАО «БНБ-Банк»).

Для дальнейшего анализа были рассчитаны доходы по депозитам банков Республики Беларусь при помощи простых и сложных процентов [2].

После чего был проведен анализ сроков и процентов всех депозитов до года. Для сравнительного анализа все вклады были разбиты на группы в соответствии со сроком того или иного вклада: один, три, шесть и девять месяцев. Было выявлено, что наиболее выгодными среди вкладов, рассчитанных на один месяц, являются: «Стабильный доход» (ОАО «Паритетбанк»). Среди вкладов со сроком в три месяца самое выгодное предложение делают: «Безотзывный» (ОАО «Банк БелВЭБ»), «ТРИумф» (ОАО «Технобанк»), «Срочный безотзывный» (ОАО «БНБ-Банк»). Самые высокие проценты на срок шесть месяцев предлагают: «Беларусьбанк-онлайн безотзывный» (ОАО «АСБ Беларусбанк»), «Сохраняй безотзывный» (ОАО «Сбер Банк»), «Срочный безотзывный» (ОАО «БНБ-Банк»); «Статус-Удобный» (ОАО «Статус Банк»). Выгодное пред-

ложение со сроком в девять месяцев делают: «Формула успеха», «Почетный» (ЗАО «Банк Решение»); «Статус-Удобный» (ОАО «СтатусБанк»).

Также был проведен анализ сроков и процентов всех депозитов более года, где депозиты аналогичным образом были разбиты на группы: один и два года. Самое выгодное предложение со сроком в один год делают: «Классик безотзывный на 1 год» (ОАО «АСБ Беларусбанк»); «Плюс к стабильности» (ОАО «Белагропромбанк»); «Максимум» (ОАО «Технобанк»). Самое выгодное предложение на срок два года делают: «Безотзывный-выгодный» (ОАО «Белгазпромбанк»); «Формула успеха», «Online-решение» (ЗАО «Банк Решение»); «Новогодний» (ЗАО «БТА Банк»).

Исходя из результата анализа всех депозитов, можно выделить несколько одновременно выгодных по условиям и процентам предложений от банков Республики Беларусь. К ним относятся: «Срочный безотзывный» (ОАО «БНБ-Банк») на три месяца, «Сохраняй безотзывный» (ОАО «СберБанк») и «Срочный безотзывный» (ОАО «БНБ-Банк») со сроком в шесть месяцев.

Разработано приложение для автоматизации расчётов депозитных схем. С его помощью проводился анализ депозитов банков Республики Беларусь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. [Электронный ресурс]: URL: <https://bankibel.by/vklady/vygodnye-v-belorusskih-rublyah>
2. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.sravni.ru/vklady/info/formula-rascheta-procentov-po-vkladam/>

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧЕРНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ГРАФИТА НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Тетерич Н. Ю.

**Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь**

Ключевые слова: эксперимент, изображение, распознавание, Python, анализ.

В результате физического эксперимента по исследованию структуры порошкового материала, содержащего различные марки графита, получены фотографии образцов в оттенках белого, серого и черных цветов. Необходимо разработать приложение, которое позволяло бы распознавать цвета и определять черные включения (графит) на изображениях, а так же выводить их количество и размеры.

При распознавании указанных цветов на цифровом изображении использовалась работа с пикселями. На цветных мониторах каждый пиксель состоит из субпикселей красного, зелёного и синего цветов, расположенных рядом в определённой последовательности. Передача определенного цвета осуществляется через изменение яркости каждого из субпикселей. Значения яркостей субпикселей позволяет определить цвет пикселя. Таким образом, можно найти цвет каждого пикселя на изображении, а также изменить его.

Разработка приложения осуществлялась на языках программирования Python, JavaScript, языке гипертекстовой разметки HTML и формальном языке описания внешнего вида документа CSS.

Приложение позволяет загружать изображение для обработки. Далее на экран выводится исходное изображение и его версия в оттенках серого, а так же информация о нем: разрешение изображения, общее количество пикселей, количество черных, белых и серых пикселей и их процент от общего количества, количество черных включений на изображении и их размеры. Приложение создает аналог исходного изображения, в котором черные пиксели изменены на красные, серые на жёлтые и белые на синие. Список размеров черных включений сохраняется в файл «Spots.txt», который можно экспортировать для дальнейшего анализа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лутц М. Изучаем Python. 3 е изд. Пер. с англ. СПб.: Символ Плюс, 2009. 848 с.
2. OpenCV в Python. Ч. 1 / Хабр [Электронный ресурс]: URL: <https://habr.com/ru/post/519454> (дата обращения: 12.12.2022).
3. OpenCV: OpenCV Tutorials [Электронный ресурс]: URL: https://docs.opencv.org/4.x/d9/df8/tutorial_root.html (дата обращения: 12.12.2022).
4. Tkinter Dialogs — Python 3.11.1 documentation [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.python.org/3/library/dialog.html> (дата обращения: 12.12.2022).

5. Python & EEL. Делаем просто на Python'е и красиво на JS / Хабр [Электронный ресурс]: URL: <https://habr.com/ru/post/550426> (дата обращения: 12.12.2022).

6. Тетерич Н. Ю. Разработка приложения по распознаванию оттенков серого цвета на изображениях // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы XXVI Республиканской научной конференции студентов и аспирантов (Гомель, 20–22 марта 2023 г.). Ч. 1. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2023. С. 156–157.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОГО WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ «КИНОПОИСК API»

Измайлов В. В.¹, Макейчик Е. Г.², Якубович Е. Д.²

¹TechArt, Республика Беларусь

**²Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, Республика Беларусь**

Ключевые слова: Web-приложение, Java, IntelliJ IDEA, разработка, реляционная база данных, MySQL, Кинопоиск API.

Ежедневно мы посещаем разные веб-страницы с разного рода информацией. Интернет-ресурсы, веб-сайты, веб-приложения, стали неотъемлемой частью нашей жизни. Такого рода ресурсы используются при моделировании реальных процессов в разных сферах жизни. Web-приложения не только обеспечивают рабочий процесс, но и облегчают общение, поиск развлечений, способствуют расширению кругозора.

Для удобства поиска информации о фильме по его идентификационному номеру была разработана модель веб-приложения для поиска фильма по его id-номеру, его записи в базу данных, а также вывод полученного от сервера ответа на страницу в веб-браузере.

В разработанной модели приложения пользователь вводит идентификационный номер фильма, далее каждый неповторяющийся ответ от сервера записывается в реляционную базу данных приложения, после чего сервер автоматически выводит основные характеристики фильма, запрашиваемого клиентом. Если запрос клиента повторяется или информация о фильме не изменилась, характеристики фильма выводятся из базы данных приложения, без подключения к серверу. Если же запрос новый или информация о фильме изменялась, приложение делает запрос серверу Кинопоиск API и вновь записывает фильм в БД приложения.

Клиентская часть модели приложения взаимодействует с пользователем и формирует запросы серверу посредством браузера. За хранение и выполнение основной бизнес логики веб-приложения отвечает серверная часть модели приложения. Она же принимает запросы клиента и отвечает на них. Такая структура не зависит от конкретной операционной системы и позволяет сделать веб-приложение межплатформенным.

Серверная часть приложения была разработана с использованием языка программирования Java [1; 2]. Она отвечает за обработку запросов клиента, получение и передачу нужной информации из базы данных. Для разработки и управления базой данных применяется СУБД MySQL[3]. Среди преимуществ этой СУБД следует отметить легкость в применении и гибкость в моделировании, что значительно облегчает процесс разработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилдт Г. Ш57 Java. Полное руководство, 10-е изд.: Пер. с англ. СПб.: ООО «Аль-факнига»; 2018. 1488 с.
2. Эккель Б. Э38 Философия Java. 4-е полное изд. СПб.: Питер, 2015. 1168 с.
3. Куликов С. С. Реляционные базы данных в примерах: практическое пособие для программистов и тестировщиков. Минск: Четыре четверти, 2020. 424 с.

ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВВП СТРАН СНГ

Корниенко А. Г.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь

Ключевые слова: страны СНГ, уровень ВВП, мультиколлинеарность, автокорреляция, гетероскедастичность.

В работе проведён анализ влияния факторов на уровень ВВП стран СНГ за период с 2000 по 2020 год.

Для анализа линейных моделей множественной регрессии были построены парные поля корреляции, линии тренда по странам и выдвинуты предположения о связи Y с каждым из факторов. Для дальнейшего анализа были построены и рассчитаны: корреляционная таблица, модель множественной линейной регрессии, стандартная ошибка регрессии и стандартные ошибки коэффициентов для каждой страны. Проведена проверка значимости коэффициентов модели с использованием t -статистики и p -значений на уровне значимости $\alpha = 0,05$, а также построены доверительные интервалы. Выполнена оценка качества модели с помощью сумм TSS , ESS , RSS . Для полноты картины также была проведена оценка влияния объясняющих переменных на зависимую переменную.

Модель множественной линейной регрессии проверена на наличие мультиколлинеарности между факторами и улучшена с помощью метода пошагового отбора; автокорреляции с использованием метода рядов и статистических тестов Дарбина-Уотсона, Бреуша-Годфри; гетероскедастичности с использованием тестов Парка, Бреуш-Пагана-Годфри, Спирмена, Глейзера и Уайта.

Результаты анализа указывают на государственные расходы как наиболее влияющий фактор на уровень ВВП в странах СНГ.

В Казахстане государственные расходы остаются единственным важным фактором в модели.

В Азербайджане, государственные расходы, а также чистые национальные сбережения, количество прибывших туристов и прямые иностранные инвестиции оказывают значительное влияние.

В Беларуси, помимо государственных расходов, на уровень ВВП влияют прямые иностранные инвестиции и чистые национальные сбережения.

В Молдове, на уровень ВВП влияют государственные расходы, количество прибывших туристов и прямые иностранные инвестиции.

Ключевыми факторами, влияющими на уровень ВВП в России, являются государственные расходы, чистые национальные сбережения, количество прибывших туристов и обслуживание многостороннего долга.

В Украине, помимо государственных расходов, на ВВП влияет безработица.

Полученные модели могут быть использованы для прогнозирования уровня ВВП в странах СНГ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марченко Л. Н. Эконометрика: модель множественной линейной регрессии: практическое руководство / Л. Н. Марченко, Ю. Е. Дудовская, Ю. В. Синюгина. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2016. 47с.
2. Worldbank.org [Электронный ресурс]: URL: https://datacatalog.worldbank.org/search?q=&sort=last_updated_date%20desc (дата обращения: 24.02.2023).
3. Елисеева И. И. Эконометрика / И. И. Елисеева, С. В. Курышева, Т. В. Костеева, И. В. Бабаева, Б. А. Михайлов. М.: Финансы и статистика, 2001. 344 с.

**ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ
IT-СПЕЦИАЛИСТОВ****Минаев И. А., Вертешев С. М.****Псковский государственный университет, Россия**

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, системы дистанционного обучения, нейронные сети.

Искусственный интеллект (ИИ) активно используется в области обучения IT-специалистов. Крупные IT-компании осознали его потенциал и начали разрабатывать специализированные ИИ-решения для обучения и тренингов. Это обусловлено несколькими факторами, включая сложность подготовки инструкторов, желание эффективно передавать узкоспециализированные знания и умения, а также научно-технический прогресс и становление базы знаний. Вместо традиционных методов обучения, таких как лекции и семинары, все больше используются информационные технологии, включая системы дистанционного обучения (LMS) и генераторы программного кода на базе ИИ. Важным стимулирующим фактором, ускорившим развитие онлайн-обучения, стала пандемия COVID-19 и необходимость самоизоляции. Это привело к росту популярности онлайн-наставничества и совместной работы над проектами. Вместо LMS-систем приходят LXP-платформы с автоматизированным обучением, которые поддерживают открытые источники контента, персонализированное обучение и активное взаимодействие пользователей. Платформа LMS (Learning Management System) является основой для реализации обучения с применением ИИ, обеспечивая доступ к материалам, взаимодействие студентов и преподавателей, а также отслеживание прогресса и оценку успеваемости.

LMS LXP (Learning Experience Platform) — это более совершенная платформа, объединяющая функциональность LMS и дополнительные инструменты для улучшения пользовательского опыта, и интеграции с другими системами. Применение ИИ в LMS и LXP позволяет анализировать данные обучения, предлагать рекомендации по улучшению процесса обучения и предсказывать потребности студентов.

Внедрение технологий ИИ и использование LMS LXP в обучении IT-специалистов способствует более глубокому пониманию материала, усвоению новых навыков и повышению эффективности обучения. LXP-платформа с искусственным интеллектом применяется компаниями, такими как Hitachi, Dell, EdCast. Каждая платформа имеет свои особенности. Например, Hitachi использует ИИ для замены IT-инструкторов, предоставляя разработчикам микросхем задачи по поиску неисправностей. Dell и Nvidia разработали LXP-платформу Helix для безопасного обучения специалистов в написании программного кода. EdCast объединил машинное обучение и алгоритмы для облачной базы знаний, упрощая поиск информации для обучения специалистов. Использование искусственного интеллекта в образовательном процессе позволяет оптимизировать затраты компаний на обучение, но требует дополнительных организационно-технических мероприятий.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПУАССОНА ДЛЯ БЕСШОВНОГО НАЛОЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Филимонова А. М.

Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна, Россия

Ключевые слова: блендинг, преобразование Пуассона, бесшовное наложение изображений, обработка изображений.

В мире современной фотографии и компьютерной графики существует постоянная потребность в создании гармоничных композиций, объединяющих несколько изображений так, чтобы они перетекали друг в друга без видимых границ или артефактов. Метод, позволяющий вставить часть одного изображения в другое так, чтобы не было заметно «швов» на границах вставляемого изображения, называют бесшовным наложением изображений или блендингом. Данный метод, подстраивая вставляемую часть под остальное изображение, играет важную роль в различных областях, включая фотоискусство, дизайн, компьютерную графику и видеообработку.

Один из наиболее мощных методов для достижения бесшовного наложения — это использование преобразования Пуассона, которое представляет собой дифференциальное уравнение в частных производных [1].

Постановка задачи проста: на изображение A (основное изображение) требуется наложить изображение B с границей H .

Для выполнения блендинга для цвета накладываемого изображения необходимо взять за основу градиент в области изображения B и характеристики цветов основного изображения в области границы накладываемого, чтобы градиент изображения A в области изображения B равнялся градиенту изображения B . Это означает, что для получения результирующего изображения необходимо восстановить изображение по его градиенту, т.е. решить задачу Пуассона [2].

Уравнение Пуассона составляется для каждого неизвестного пикселя. В конечном итоге мы имеем систему линейных уравнений с M неизвестными, где M — число пикселей вставляемого изображения B . Решение этой системы уравнений позволяет определить интенсивность пикселей на результирующем изображении для «бесшовного» наложения. Для решения полученной системы используются методы вычислительной математики, например, метод Якоби или метод Гаусса-Зейделя.

Алгоритм преобразования Пуассона может быть реализован с использованием различных программных средств, включая программы для обработки изображений и библиотеки для программирования. Пакет MATLAB и язык программирования Python с библиотекой OpenCV больше подходят для автоматизации этого процесса или выполнения анализа больших наборов данных изображений [3], а пакет Adobe Photoshop имеет встроенный инструмент бес-

шовного наложения, который используется для ручной обработки изображений.

Операция бесшовного наложения изображений с использованием преобразования Пуассона имеет множество практических применений и может быть востребована многими специалистами. Например, графические дизайнеры используют операцию бесшовного наложения для ретуши фотографий, фотографии и художники — для объединения нескольких фотографий или элементов искусства в одно цельное изображение. В медицине бесшовное наложение может использоваться для объединения различных снимков (например, снимков МРТ или КТ) для получения более полной информации о пациенте [4].

Основное преимущество бесшовного наложения изображений при помощи преобразования Пуассона заключается в том, что оно позволяет объединить изображения таким образом, чтобы переход между ними был незаметным, что делает результат более естественным для визуального восприятия. Рассмотренный процесс может быть полезен во многих областях, где необходимо создавать единое изображение из нескольких частей или улучшать качество изображений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кононов В. А., Конушин В. С. Применение уравнения Пуассона в задачах обработки изображений. Компьютерная графика и мультимедиа. Выпуск № 7 (1) / 2009. [Электронный ресурс]: URL: <http://cgm.computergraphics.ru/issues/issue17/poissonimaging> (дата обращения 3.10.2023).
2. Perez P., Gangnet M., Blake A. Poisson image editing. ACM Transactions on Graphics (TOG). Vol. 22. No. 3. July 2003.
3. Matías Di Martino J., Facciolo G., Meinhardt-Llopis E. Poisson Image Editing. Image Processing On Line. Vol. 6. 2016. Pp. 300–325.
4. Крашенинников В. Р. Статистические методы обработки изображений. Ульяновск: УлГТУ, 2015. 167 с.

**КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ
КРИТЕРИЕВ СДВИГА НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ JAVA**

Чучваго А. С.

**Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь**

Ключевые слова: непараметрические критерии, критерии сдвига, Java.

Непараметрическая статистика — это направление математической статистики, которое объединяет методы статистической обработки и анализа результатов наблюдений, закон распределения вероятностей, появления которых неизвестен. Ее приемы и методы также известны как методы, свободные от распределения.

Непараметрические критерии сдвига применяются для проверки гипотезы о наличии сдвига в параметрах положения неизвестных распределений. Для проверки гипотезы сдвига разработано большое количество разных критериев.

В данной работе рассмотрены критерии сдвига для двух совокупностей. С помощью языка программирования Java реализованы: критерий Кенуя, ранговый критерий, медианный критерий, критерий Мостеллера и критерий Розенбаума.

Разработанное приложение позволяет автоматизировать процесс проверки гипотез и может быть полезно студентам при выполнении курсовых работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физмалит, 2006. 451 с.

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 621.923

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПРИЖОГОВ НА ШЛИФОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Никифоров И. П., Вологин Н. А.

Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: шлифование, прижог, оптический метод, система цветов RGB.

При проведении научных исследований довольно часто возникают проблемы, связанные с точностью определения выходных параметров (откликов, целевых функций, параметров оптимизации). Одним из примеров таких параметров является площадь прижогов на шлифованных поверхностях, точно определить которую весьма проблематично.

Согласно ГОСТ 23505–79 «Абразивная обработка. Термины и определения»: «шлифовочный прижог — структурно измененный слой или участок на обработанной поверхности, являющийся следствием теплового действия шлифования». Появление прижогов (особенно видимых) является сигналом для оптимизации режимов резания, выбора другого абразивного материала (марки, зернистости, номера структуры, связки и пр.), правки шлифовального круга или изменения условий охлаждения заготовки.

Отдельные прижоги могут занимать площади в несколько десятков и сотен квадратных миллиметров на поверхности заготовки. Их форма, размеры и цветовая палитра весьма разнообразны, что усложняет процесс измерений. При этом рационально использовать оптические методы. Полученные фотографии или сканы (в том числе в режиме on-line) могут быть обработаны при помощи специальных компьютерных программ, например ADF Image Capture, и таким образом определены площади прижогов. Недостатком данной программы является то, что пиксели-шаблоны для поиска задаются пользователем, и это вносит погрешность в результаты измерений. В тоже время пиксели, относящиеся к прижогам, могут иметь широкую гамму комбинаций интенсивности составляющих в формате RGB.

В работе [1] предложен способ определения площадей оксидных плёнок по цветам побежалости. Суть метода состоит в вычислении расстояния в системе RGB между вектором значений пикселя исходного изображения (микрофотоснимка) и векторами значений для заданных цветов (цветов побежалости) некоторого файла-эталона по формуле:

$$A_k = \sqrt{(L_{i j 1} - R_k)^2 + (L_{i j 2} - G_k)^2 + (L_{i j 3} - B_k)^2},$$

где k — номер цвета из файла-эталона; L_{ij1} , L_{ij2} , L_{ij3} — интенсивность (в диапазоне от 0 до 255), соответственно, красной, зелёной и синей составляющих цвета исходного изображения; i , j — координаты пикселя фото или скана, соответственно, по высоте и ширине исходного графического изображения; R_k , G_k , B_k — интенсивности составляющих цветов из файла-эталона.

Значения исходного вектора заменялись значениями того вектора, который в системе RGB расположен наиболее близко к исходному:

$$L_{ij1} = R_k; L_{ij2} = G_k; L_{ij3} = B_k; \text{ критерий замены — } A_k \rightarrow \min.$$

Файлом-эталонном являлся фрагмент одной из микрофотографий шлифованной поверхности с ярко выраженными цветовыми переходами и хорошо различимыми цветами побежалости.

Поскольку прижоги представляют собой, как правило, более затемнённые области, то для определения их площадей предлагается работать не с цветным изображением поверхности заготовки, а с его аналогом — файлом в серых полутонах. Количество серых полутонов k подбирается либо опытным путём, либо рассчитывается, к примеру, по формуле Стёрджесса. Площадь прижогов будет пропорциональна числу пикселей, близких по цвету к наиболее затемнённым полутонам, при этом $R_k = G_k = B_k$.

Для применения подобных оптико-программных методов на практике необходимо, чтобы для разных поверхностей заготовок были выдержаны одинаковыми следующие параметры: освещённость (в том числе направление светового потока), оптическое разрешение, размер фото или скана (в пикселях), число серых полутонов, отнесённых к прижогам, время прошедшее после шлифования (т.к. со временем стальные поверхности окисляются на воздухе и темнеют).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров И. П. Образование и износ оксидных плёнок на шлифованных поверхностях / И. П. Никифоров, В. В. Иванов, И. В. Барсук // Металлообработка. 2015. № 2. С. 10–14.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФРИКЦИОННОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ****Плохов И. В., Козырева О. И.****Псковский государственный университет, Россия**

Ключевые слова: электрофрикционное взаимодействие, микрорельеф, трение, искрение, колебания, износ, токопередача, температурное поле.

Первые попытки математического моделирования физических процессов в скользящем электрическом контакте (электрофрикционного взаимодействия ЭФВ) относятся к первой половине — середине XX века [1–3]. Указанные исследования способствовали развитию современных теоретических моделей электрического скользящего контакта (СК), согласно которым передача тока через СК осуществляется через зоны прямого механического контакта, через продукты износа, а также посредством фриттинга, газового разряда и электролиза.

Математическое моделирование тепловых процессов в СК, которые начал Р.Хольм, были продолжены, в частности, исследованиями [4, 5], в которых изучены граничные задачи электро- и теплопроводности. В 70-е–90-е годы публикуются исследования математических моделей электрофрикционного взаимодействия (ЭФВ) [6, 7]. В этих работах авторы впервые пытаются описать динамику ЭФВ.

Основы современных подходов к моделированию ЭФВ содержат следующие утверждения. Соприкосновение шероховатых поверхностей двух тел происходит через большое количество отдельных контактных пятен. Поэтому при протекании электрических и тепловых потоков через эти малые площадки появляется дополнительное сопротивление, вызванное неоднородностью линий потоков — сопротивлению стягивания. К сопротивлению стягивания добавляется сопротивление поверхностных пленок, которые имеют следующие разновидности: адгезионные (9–30Å), пассивирующие (10–15Å), пленки потускнения (окисные и сульфидные), водяные (до 100Å) [8, 9]. Кроме того, на контактных поверхностях всегда имеются пленки из продуктов износа, которые не реагируют с материалами СК.

Хольм предложил принимать во внимание две компоненты сопротивления стягивания: стягивание к группе контактных пятен и стягивание в границах этой группы.

В публикуемой работе предложены и описаны новые алгоритмы для вычислительной модели электрофрикционного взаимодействия в узлах скользящего токосъема. Использование данных алгоритмов позволит учесть в модели большее количество физических параметров, более точно рассчитывать процессы, происходящие в контактном слое, исследовать их взаимовлияние и влияние на качество работы УСТ в целом. Кроме этого, предлагаемые алгоритмы

расширяют возможные области применения вычислительной модели при разработке, проектировании и эксплуатации электрических машин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нейкирхен И. Угольные щетки и причины непостоянства условий коммутации машин постоянного тока. М.; Л.: ОНТИ, 1937.
2. Мейер Р. К вопросу о работе скользящих контактов. ЦБТИ НИИЭП. № П 3747. 1960.
3. Хольм Р. Электрические контакты. М.: Иностранная литература, 1961.
4. Залесский А. М., Кукеков Г. А. Тепловые расчеты электрических аппаратов. Л.: Энергия, 1967.
5. Омельченко В. Т. Теория процессов на контактах. Харьков: ХГУ, Вища школа, 1979.
6. Ким Е. И., Омельченко В. Т., Харин С. Н. Математические модели тепловых процессов в электрических контактах. Алма-Ата: Наука, 1977.
7. Кончиц В. В., Мешков В. В., Мышкин В. В. Триботехника электрических контактов. Минск: Наука и техника, 1986.
8. Омельченко В. Т. Теория процессов на контактах. Харьков: ХГУ, Вища школа. 1979.
9. Мерл В. Электрический контакт. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962.

**МКЭ-ОЦЕНКА АДДИТИВНО-СУБТРАКТИВНОГО СТАНКА
С ТОКАРНО-ПОРТАЛЬНОЙ КОМПОНОВКОЙ
И БИОНИЧЕСКИМИ КОЛОННАМИ**

Довнар С. С.

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

Ключевые слова: гибридный станок, портал, бионика, колонна, МКЭ, бетон.

Работа касается точной многоэтапной обработки удлиненных деталей, например, разного рода труб и оболочек. Обработку осуществляет крупногабаритный станок токарного типа, который традиционно является субтрактивным (снимающим стружку). Возникает потребность в аддитивно-субтрактивном (гибридном) станке (АСС), включающем и нанесение новых материалов (например, напылением и 3D-печатью). Его компоновку желательнее определять с помощью моделирования и виртуальных испытаний МКЭ.

Станку нужна параллельная работа разных инструментов: субтрактивных, аддитивных и поддерживающих. Важно, чтобы тяжелая и податливая труба обрабатывалась на станке за одну установку.

Полагаем, что для удержания и перемещения возросшего числа инструментов следует применить систему колонн (башен, стоек). Следует обратить внимание на относительно новый в станкостроении материал — фибробетон (класс УНРС, подкласс УНPFRC [3]). Наш подход заключается в том, что колонны (башни, стойки) надо рационально профилировать по высоте из фибробетона. С помощью 3D-моделирования и виртуальных испытаний МКЭ это дает возможность создавать одновременно легкие и жесткие вертикальные структуры, в том числе подвижные.

Предлагается использовать бионические шаблоны. Здесь первоочередным предложением является форма ствола дерева. Проведенный ранее МКЭ-анализ указывает на эффективность бионических колонн станков БКС.

Для МКЭ-моделирования выбрана концепт-модель с двумя бионическими башнями, смыкающимися в портал с помощью поперечины (рис.1). Масса каждой бетонной колонны равна 31,6 т при высоте 4980 мм и перепаде диаметров от $\varnothing 3350$ мм до $\varnothing 1770$ мм. Сквозь портал проходит обрабатываемая труба длиной 20 м и диаметром $\varnothing 2,5$ м. В модели труба является полым цилиндром с толщиной стенки 60 мм. Виртуально испытаны разные материалы — композиты, нержавеющей стали, алюминий и т. д. В случае использования титана масса трубы составляет 42,5 т.

МКЭ-модель АСС нагружалась силами тяжести. Как высокоскоростном фрезеровании, так и при аддитивных воздействиях силы обработки, как правило, невелики. Несущая система деформируется прежде всего собственным весом. Существенной является проблема прогиба трубы.

Собственно бионический портал выглядит вполне жестким объектом (рис. 1). Колонны проседают только на 11,15 мкм. Прогиб траверсы в 38,0 мкм может быть уменьшен усилением этого объекта.

Ведущими модами статической деформации являются (рис. 1, а) общий прогиб трубы (64,4 мкм) и формирование локализованной продольной складки по верху трубы (101,59 мкм). Картина эквивалентных напряжений (рис. 1, б) указывает на концентрацию напряжений в стенках трубы в районах контакта с инструментами. В портале напряжения минимальны.

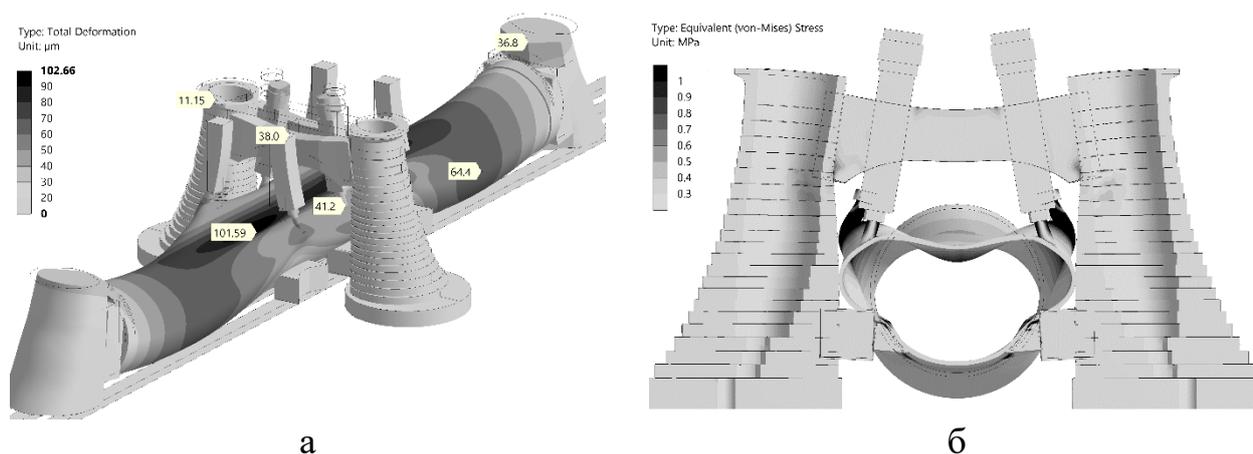


Рис. 1. Картины суммарных перемещений (а; мкм) и эквивалентных напряжений σ_e (б; МПа) станка под действием силы тяжести для титановой трубы; $\times 10000$

Поперечное сечение портала показывает его малую податливость даже на уровне рассмотрения концепт-модели. Далее жесткость портала должна повыситься в ходе оптимизации размеров каждой конкретной модели токарно-портального станка.

Выводы и рекомендации:

Предложена компоновка токарно-портального станка для гибридной (аддитивно-субтрактивной) обработки удлиненных труб и оболочек.

Портал из пары бионических, профилированных колонн обеспечивает жесткость удержания аддитивных и субтрактивных инструментов при умеренных требованиях к материалоемкости колонн.

Рекомендуется применение фибробетона UHPFRC для послойного сложения колонн портала. Это технологичным и робастным решением.

Точечное опирание труб на поддерживающие инструменты не является достаточно жестким. Требуется развитие схем поверхностного опирания труб на инструменты портала.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ АВТОНОМНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Хитров А. А., Хитров А. И.

Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: автономная система электроснабжения, преобразователь постоянного напряжения повышающий, синхронная машина с возбуждением от постоянных магнитов, имитационное моделирование режимов работы.

Проведено исследование возможности применения силовых преобразователей постоянного напряжения (DC-DC) с целью их использования в составе автономных систем электроснабжения (АСЭ) малой мощности (до 15 кВт) с низкоскоростными движителями. Электрическим генератором в составе АСЭ была выбрана синхронная машина с постоянными магнитами (СМПМ) [1].

Моделирование различных структур электрической подсистемы проводилось с использованием пакетов программ MatLab Simulink и SimPowerSystems и было разделено на несколько этапов.

1. Моделирование АСЭ с повышающим трансформатором.
2. Моделирование собственно повышающего преобразователя постоянного напряжения (DC/DC).
3. Моделирование АСЭ с повышающим DC-DC преобразователем.

Полученные осциллограммы напряжений имитационных моделей и экспериментальных исследований подтверждают возможность использования СМПМ типа ДВУ с ферритами стронция в качестве генератора для использования в АСЭ малой мощности. Для этого необходимо использование повышающего трансформатора, трехфазного выпрямителя (AC/DC-преобразователя) и инвертора необходимой мощности.

В основе моделирования СМПМ в среде MatLab Simulink лежат известные уравнения обобщенной электрической машины в dq-системе координат [2]:

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{dt} i_d &= \frac{U_d}{L_s} - \frac{i_d}{T_s} + Z_p \cdot \omega \cdot i_q \\
 \frac{d}{dt} i_q &= \frac{U_q}{L_s} - \frac{i_q}{T_s} + Z_p \cdot \omega \cdot \left(i_d + \frac{\Psi_s}{L_s} \right) \\
 M_{\ominus} &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Psi_s \cdot i_q \\
 \frac{d}{dt} \omega &= \frac{1}{J_{\Sigma}} \cdot (M_{\text{мех}} - M_{\ominus}) \\
 U_A &= U_d \cdot \sin(\omega t) + U_q \cdot \cos(\omega t) \\
 U_B &= U_d \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + U_q \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\
 U_C &= U_d \cdot \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) + U_q \cdot \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)
 \end{aligned} \tag{1}$$

С целью снижения массогабаритных показателей АСЭ были проведены исследования с транзисторным повышающим преобразователем постоянного напряжения (DC-DC) без использования повышающего электромеханического трансформатора и трехфазного выпрямительного моста на имитационной модели и натурные испытания.

Исследования показали, что в совокупности с активным выпрямителем на входе DC-DC преобразователя получить теоретически увеличение амплитуды генерируемого с выхода СМПМ напряжения в 7–8 раз, что позволяет в свою очередь использовать данную структуру в АСЭ с низкоскоростными двигателями.

Имитационные модели АСЭ с СМПМ разработаны в компьютерной среде MatLab Simulink с общепринятыми допущениями и на базе уравнений типовых звеньев и ранее разработанных моделей вентильных преобразователей, особенности же построения модели исходят от особенностей первичного двигателя.

Проведенные исследования позволяют дать рекомендации по проектированию АСЭ на базе низкоскоростных двигателей мощностью до 15 кВт, осуществляя подбор СМПМ, элементов DC/DC преобразователей и алгоритмов управления системой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khitrov A. A., Khitrov A. I. Investigation of permanent magnet synchronous machine with recuperation block. Proceedings of the 10-th International Scientific and Practical Conference «Environment. Technology. Resources». Volume I. Rezekne, Latvia, 2015. P. 53–56.
2. Анучин А. С. Системы управления электроприводов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 373 с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Кулакова М. В.¹, Никифоров И. П.²

¹ООО ГПБ-ИТ1, Россия

²Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: шлифовальный круг, электрическая проводимость, токопроводящий лак.

Из литературных источников известно несколько принципиально различных методов обеспечения электропроводимости, которые как правило направлены на повышение режущей способности шлифовального круга (электроэрозионная обработка, анодно-абразивное шлифование и пр.). Сравнительная характеристика основных методов представлена в таблице 1.

Из таблицы видно, что практически все методы подразумевают использование специального оборудования и технологий. Многие методы трудно или невозможно реализовать в лабораторных условиях, и токопроводящие шлифовальные круги, в большинстве случаев, могут быть изготовлены только на специализированных предприятиях с применением нестандартных технологий.

Таблица 1

Методы обеспечения электрической проводимости шлифовальных кругов

Суть метода, проводник	Источник	Преимущества	Недостатки
Металлическая связка.	[0]	Отличная проводимость. Износостойкость.	Быстрое засаливание, требуется охлаждение. Специальное оборудование.
Химическая металлизация зёрен. Гальваническое осаждение.	[0, 0, 0]	Универсальность.	Для получение требуемой толщины слоя необходима специальная технология.
Стержни с добавлением чугуна и электродов.	[0]	Хорошая проводимость.	Сложность изготовления.
Чешуйчатый графит в связке.	[0]	Хорошая проводимость. Универсальность.	Специальное оборудование и материалы.
Пропитка расплавленным свинцом.	[0]	Хорошая проводимость.	Высокая неуравновешенность. Специальное оборудование.
Стальные или медные диски.	[0]	Хорошая проводимость.	Трение дисков о заготовку при износе круга.
Газофазное насыщение.	[0]	Универсальность.	Длительность технологии изготовления. Специальное оборудование и материалы.
Токопроводящее покрытие.	[0]	Хорошая проводимость, простота.	Требуется использование токосъемного устройства.

Из всех рассмотренных методов обеспечения электрической проводимости наиболее технологически простым является нанесение токопроводящих слоёв на торцовые поверхности шлифовального круга. Такой метод можно использовать для измерения электрического сопротивления на рабочей поверхности круга с целью контроля его степени засаливания.

Для обеспечения электрической проводимости поверхности шлифовального круга можно рекомендовать к применению токопроводящий лак SOLINS GRAPHITE на основе графита (Россия). Минимальное количество последовательно наносимых слоёв (после высыхания каждого) должны быть не менее трёх.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Библиотека инструментальщика. Абразивные инструменты [Электронный ресурс]: URL: http://www.info.instrumentmr.ru/abraz_instrum4.shtml (дата обращения: 27.03.2023).
2. Румянцев Е. М. Технология электрохимической обработки металлов. Учебное пособие для ВТУЗОВ / Е. М. Румянцев, А. Е. Давыдов. М.: Машиностроение, 1984. 159 с.
3. Ильин, В. А. Металлизация диэлектриков. Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние.), 1977. 80 с.
4. Жильцов Е. В. Технология изготовления электрода инструмента для электроабразивного шлифования / Е. В. Жильцов, А. В. Маслов // Новые материалы и технологии в машиностроении. Сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. Вып. 9. Брянск: БГИТА, 2009. С. 31–34.
5. Бутенко В. И., Диденко Д.И. Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет». Шлифовальный круг. Патент № 2319600 Российской Федерации, МПК В24Д 5/14, В23Н 5/06. 2006122697/02; Заявл. 26.06.2006; Оpubл. 20.03.2008, Бюл. № 8.
6. Семиколенных М. Н. Электрохимикомеханическая обработка труднообрабатываемых материалов / М. Н. Семиколенных, Е. В. Пегашкина. Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2013. 179 с.
7. Анодно-механическая обработка [Электронный ресурс]. URL: <http://www.4ne.ru/stati/rezka-metallov/anodno-mexanicheskaya-obrabotka.html> (дата обращения: 27.03. 2023).
8. Семёнов С. С., Гордеев С. К., Харланов А. С., Орданьян С. С. Общество с ограниченной ответственностью «Друза-А». Способ изготовления инструмента для электроабразивного шлифования. Патент № 2328369 Российской Федерации, МПК В24Д 18/00, В23Н 5/10. 2006129212/02; Заявл. 02.08.2006; Оpubл. 10.07.2008, Бюл. № 19.
9. Ушанев О. О. Уральский завод тяжелого машиностроения. Способ правки шлифовальных кругов. МПК В24В 53/04, МПК В24В 51/00. № 98123095/02; Заявл. 22.12.1998; Оpubл. 20.10.2000.

УДК 621.81

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ

Федоров Д. С, Козырева О. И.

Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: вибровозбудитель, тяговое усилие, магнитная система, ускорение, акселерометр.

Во многих областях современной техники (сейсмология, космическая и авиационная индустрия, мощные энергетические установки, строительство высотных объектов, транспорт) широко используются датчики ускорения (акселерометры), работающие в очень низком диапазоне частот (0,01...5 Гц). Для проверки и градуировки таких датчиков требуются вибровозбудители, способные обеспечивать прямолинейные горизонтальные гармонические колебания поверяемого акселерометра в столь низком диапазоне частот.

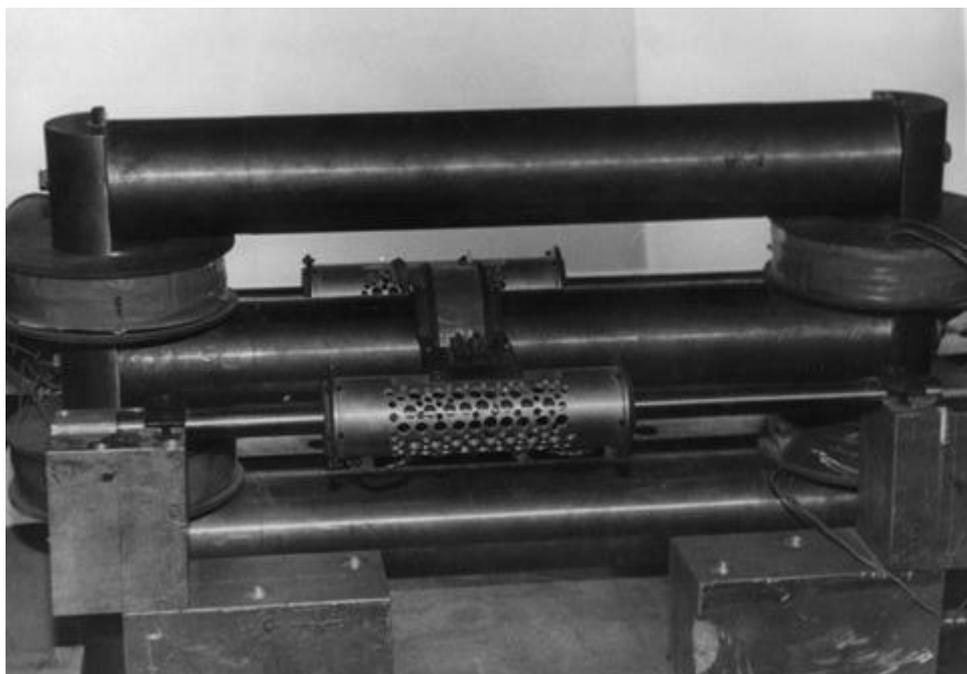


Рис. 1. Электродинамический вибровозбудитель с активным магнитным подвесом подвижной части

Низкие частоты колебаний вызывают необходимость создания больших амплитуд перемещений для обеспечения приемлимых значений амплитуд ускорений. К настоящему времени создан низкочастотный электродинамический вибровозбудитель (рис. 1) с магнитным подвесом подвижной части с диапазоном частот 0,1–5 Гц и амплитудой колебаний 0,5 м, который является составной частью Национального Стандарта вибрационного движения Российской Федерации. Однако, развитие современной техники требует расширения частотного диапазона в область сверхнизких частот до 0,01 Гц [1].

Одним из требований, предъявляемым к вибростенду, работающему в сверхнизком диапазоне частот, является увеличение амплитуды горизонтальных перемещений подвижной части, так как при малых амплитудах скорость и ускорение гармонического закона перемещения, пропорциональные соответственно частоте колебаний и квадрату этой частоты, будут иметь малые амплитудные значения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавлев Ю. Н. Определение тягового усилия низкочастотного электродинамического вибровозбудителя / Ю. Н. Журавлев, Д. С. Федоров // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 1. С. 59–65.

**EXACT SOLUTION OF THE PROBLEM ON FORCED VIBRATIONS
OF A STRING OF VARIABLE LENGTH**

Litvino v V. L^{1,2}, Litvinova K. V.^{1,2}

¹Samara State Technical University, Russia

²Moscow State Technical University, Russia

Ключевые слова: string vibrations, resonant amplitude, moving boundaries.

The differential equation describing forced strings is:

$$Z_{tt}(x,t) - a^2 Z_{xx}(x,t) = \omega_0^2 B \cos W_0(\omega_0 t). \quad (1)$$

Border conditions:

$$Z(0,t) = 0; \quad Z(l_0(t),t) = 0. \quad (2)$$

The initial conditions do not affect the resonant properties of linear systems, so they are not considered in this problem [1].

In (1), (2), the following notation can be used:

$Z(x,t)$ — transverse displacement of the string point with coordinate x at time t ; $a = \sqrt{T/\rho}$ — minimum velocity of wave propagation, T — string tension force, ρ — linear mass density of strings; $l_0(t) = L_0 - v_0 t$ — law of movement of the right border; L_0 — initial beam length; v_0 — border movement speed; $W_0(z)$ — class function C^1 ; B, ω_0 — excess value (in the case of harmonic excitation, ω_0 it is a frequency excitation).

If in furniture (1), (2) we introduce a new function $Z(x,t) = V(x,t) - B \cos W_0(\omega_0 t)$ and dimensionless variables

$$\xi = \frac{\omega_0}{a} x; \quad \tau = \omega_0 t + \frac{\omega_0 L_0 - a}{-v_0},$$

then the original problem will take the form

$$U_{\tau\tau}(\xi, \tau) - U_{\xi\xi}(\xi, \tau) = 0; \quad (3)$$

$$U(0, \tau) = \cos W(\tau); \quad U(l(\varepsilon\tau), \tau) = \cos W(\tau). \quad (4)$$

where $l(\tau) = 1 + \varepsilon\tau$; $\varepsilon = -\frac{v_0}{a}$; $W(\tau) = W_0(\tau - \gamma_0)$; $\gamma_0 = \frac{-\omega_0 L_0 + a}{v_0}$.

Let's solve mixers (3), (4) by the substitution method with functional comparison [2]. We take zero initial conditions.

To solve problems, the d'Alembert method is used. The general solution of equation (3) has the form:

$$U(\xi, \tau) = g(\tau + \xi) + G(\tau - \xi), \quad (5)$$

where $g(z)$ and $G(z)$ — social functions, which must be determined from the

boundary conditions, z – is an independent variable.

Providing solution (5) in boundary conditions (4), it is not difficult to obtain accessories:

$$\begin{cases} g(\tau+1_1(\tau)) + G(\tau-1_1(\tau)) = \cos W(\tau); \\ g(\tau+1_2(\tau)) + G(\tau-1_2(\tau)) = \cos W(\tau). \end{cases} \quad (6)$$

We introduce new functions into system (6)

$$g(z) = r(\varphi(z)); G(z) = R(\psi(z)), \quad (7)$$

where $\varphi(z), \psi(z)$ are partial functions from possible systems of functional properties:

$$\begin{cases} \varphi(\tau+1_1(\tau)) = \psi(\tau-1_1(\tau)); \\ \varphi(\tau+1_2(\tau)) = \psi(\tau-1_2(\tau)) + 1. \end{cases} \quad (8)$$

Let us introduce the notation in the first equation of system (6)

$$\varphi(\tau+1_1(\tau)) = z; \psi(\tau-1_1(\tau)) = z \quad (9)$$

and in the second comparison of this system

$$\varphi(\tau+1_2(\tau)) = z; \psi(\tau-1_2(\tau)) = z - 1. \quad (10)$$

prescription technique described in [3], trial:

$$U(\xi, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} V_n(\xi, \tau),$$

where

$$\begin{aligned} U(\xi, \tau) = & \sum_{n=1}^{\infty} \sin\{\pi n[\varphi(\tau + \xi) - \psi(\tau - \xi)]\} \times \\ & \times (\cos\{\pi n[\varphi(\tau + \xi) + \psi(\tau - \xi)]\} 4 \int_0^{\psi(\tau - \xi)} \theta(\zeta) \sin(2\pi n\zeta) d\zeta - \\ & - \sin\{\pi n[\varphi(\tau + \xi) + \psi(\tau - \xi)]\} 4 \int_0^{\psi(\tau - \xi)} \theta(\zeta) \cos(2\pi n\zeta) d\zeta). \end{aligned} \quad (11)$$

The function $\sin\{\pi n[\varphi(\tau + \xi) - \psi(\tau - \xi)]\}$ — is the n-th dynamic mode of

the system, $\omega(\xi, \tau) = \frac{\partial}{\partial \tau} \{\pi n[\varphi(\tau + \xi) + \psi(\tau - \xi)]\}$ — the throw of the frequency of the n-th sense of self.

Performing transformations of equation (11), similar to transformations [3], we obtain an expression for the total amplitude at the point $\xi = \xi_0(\tau)$, corresponding to the maximum amplitude of oscillations

$$A_n^2(\tau) = \left\{ \left[\int_0^{b(\tau)} F_n(\zeta) \cos \Phi_n(\zeta) d\zeta \right]^2 + \left[\int_0^{b(\tau)} F_n(\zeta) \sin \Phi_n(\zeta) d\zeta \right]^2 \right\}. \quad (12)$$

Thus, an expression for the amplitude of system oscillations in the n th dynamic mode has been obtained using the application of special functional equations.

REFERENCES

1. Litvinov V. L. Variational formulation of the problem of vibrations of a beam with a movable spring support // Journal of Theoretical and Mathematical Physics, Russian Academy of Sciences, 2023. Vol. 215. No. 2. Pp. 289–296.
2. Litvinov V. L., Litvinova K. V. Numerical scheme for solving problems that describe the longitudinal-transverse vibrations of objects with moving boundaries in the developed software package TB-Analysis // International scientific journal "Modern information technologies and IT education". 2022. Vol. 18. No. 3.
3. Litvinov V. L., Litvinova K. V. An Approximate Method for Solving Boundary Value Problems with Moving Boundaries by Reduction to Integro-Differential Equations// Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics, 2022. V. 62. No. 6. Pp. 977–986.

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБЫ ИЗ КОМПОЗИТА НА ГИДРОУДАР

Киргинцева С. В., Можаровский В. В., Кузьменков Д. С.
Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь

Ключевые слова: труба из композита, ортотропия, волокна, матрица, скорость волны, гидравлический удар, метод характеристик, давление.

В настоящей работе приводятся исследования о влиянии физических и геометрических параметров однослойной трубы из композита (длиной L с внутренним и внешним радиусом r_a и r_c соответственно и с протекающей внутри жидкостью плотностью ρ) с армирующими волокнами различной ориентации (перпендикулярно, параллельно) на скорость волны и напор (давление) жидкости при гидроударе. Разработана методика и создана программа в среде Delphi на основе метода характеристик, позволяющая определить параметры гидравлического удара (скорость волны, напор, расход жидкости).

С помощью формул известного российского ученого Н. Е. Жуковского можно определять предельно возможное значение напора при гидравлическом ударе (прямой удар) [1]:

$$\Delta P = \pm \rho \cdot C \cdot V_0 \quad \text{или} \quad \Delta H = \pm C \cdot V_0 / g, \quad (1)$$

где ΔP — ударное повышение давления; ρ — плотность перекачиваемой жидкости; C — скорость ударной волны; $g=9,82$ м/с² — ускорение свободного падения; H — пьезометрический напор; $V_0 = 4Q/(\pi D^2)$ — скорость жидкости в трубе, Q — расход жидкости, D — внутренний диаметр трубы.

Зависимость, определяющая скорость волны в однослойных ортотропных трубах [2], будет

$$C = \sqrt{\frac{K/\rho}{1 + K\Omega}}, \quad (2)$$

где $\Omega = \frac{-2}{1 - (r_c/r_a)^{2k}} \left(\frac{1}{A_{11}k + A_{12}} + \frac{(r_c/r_a)^{2k}}{A_{11}k - A_{12}} \right)$, $k = \sqrt{A_{22}/A_{11}}$, $A_{11} = E_r/(1 - \nu_{r\theta}\nu_{\theta r})$,

$A_{12} = \nu_{r\theta}E_\theta/(1 - \nu_{r\theta}\nu_{\theta r})$, $A_{22} = E_\theta/(1 - \nu_{r\theta}\nu_{\theta r})$, r_c и r_a — внешний и внутренний радиусы трубы соответственно. Модули упругости материала трубы E_θ , E_r и коэффициенты Пуассона $\nu_{\theta r}$, $\nu_{r\theta}$ представлены в случае плоского напряженного состояния в цилиндрической системе координат $\theta r z$ и определяются по правилу «смесей» с объемным содержанием V волокна (индекс f) в матрице (индекс m) волокнистых материалов при различных способах расположения волокон [3]: перпендикулярное (рис. 1а, схема 1)

$$(\nu_{\theta r} = \frac{E_\theta}{E_r} \nu_{r\theta}, E_r = E_m \frac{1 + \eta V}{1 - \eta V}, \eta = \frac{E_f - E_m}{E_f + E_m}, E_\theta = V E_f + (1 - V) E_m, \nu_{r\theta} = V \nu_f + (1 - V) \nu_m)$$

К ВОПРОСУ СИНТЕЗА НАУКОЕМКИХ СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Матвиенко С. А.¹, Михайлов А. Н.², Лукичев А. В.²

¹Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Россия

²Донецкий национальный технический университет, Россия

Ключевые слова: наукоемкость, поверхностный слой, синергия, модифицирование, интегрированные технологии.

Правильный выбор технологии формирования или модификации поверхностного слоя деталей является актуальной задачей машиностроения. Для её решения соответственно нужна база различных высоких технологий, а также разработка методологии подхода к их синтезу и анализу.

Общей чертой всех технологий является поиск, создание и использование синергетического взаимодействия (синергии) между факторами.

Предпосылки возникновения необходимости и возможности разработки инновационных интегрированных технологий представлены на рис. 1.

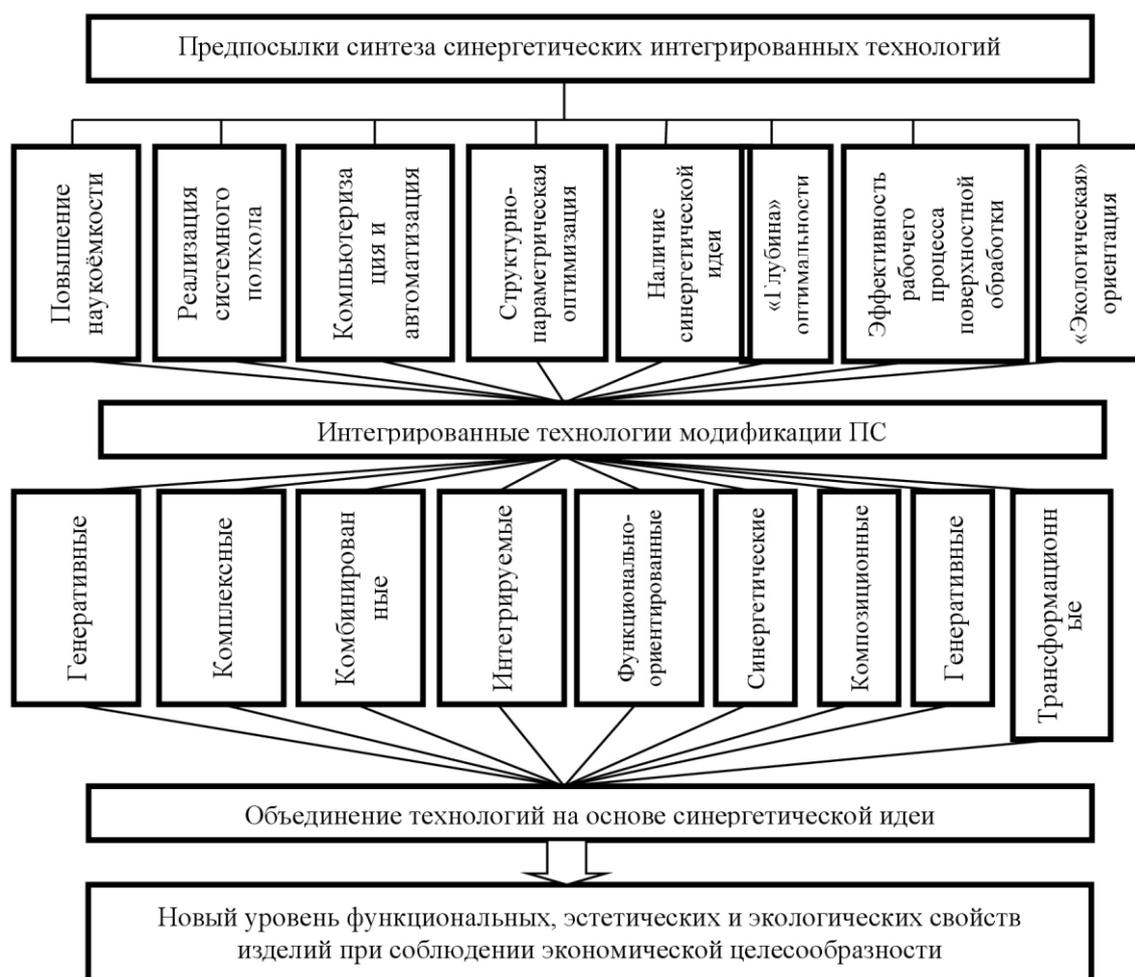


Рис.1. Предпосылки синтеза синергетических интегрированных технологий

Интеграция технологий модификации поверхностного слоя осуществляется по следующим направлениям: оптимизация структуры приповерхностного слоя; топологии поверхности, качества поверхностного слоя и формирования комплекса эксплуатационных свойств в соответствии с требуемой мерой полезности изделия.

Синергетические технологии могут основываться на изменяющейся совокупности различных принципов. В том числе, на принципах послойного синтеза с использованием комбинированных, функционально-ориентированных макро-, микро-, и нанотехнологий.

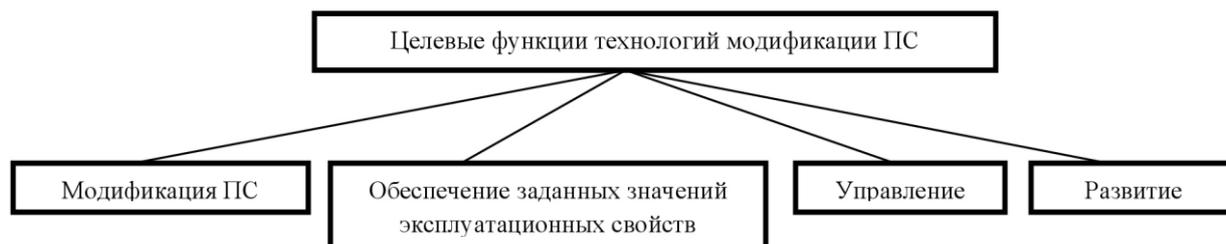


Рис. 2. Структура технологических целевых функций

Применение синергетического подхода позволяет сформировать математическую модель технологического обеспечения заданного эксплуатационного качества поверхностного слоя на стадии производства жизненного цикла изделий. Синергетические интегрированные технологии обеспечивают качественно новую совокупность свойств и меру полезности изделий машиностроения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов А. Н. Основные особенности и принципы создания композиционных технологий машиностроения / А. Н. Михайлов, Д. А. Михайлов, Е. А. Михайлова. Текст непосредственный // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. 2012. № 1 2(43). С. 206–222.
2. Заковоротный В. Л. Синергетический подход к повышению эффективности управления процессами обработки на металлорежущих станках / В. Л. Заковоротный, В. Е. Гвинджилия. Текст непосредственный // Обработка металлов. 2021. Т. 23. № 3. С. 84–99.
3. Беликов А. И. Упрочняющие технологии и покрытия / А. И. Беликов, М. А. Данилов, В. В. Петров, Н. С. Седых. Текст непосредственный // Упрочняющие технологии и покрытия. 2017. № 12. Т. 13. С. 562–567.
4. Чижик С. А. Аддитивные синерготехнологии формирования поверхностного слоя сложнопрофильного изделия / С. А. Чижик, П. А. Витязь, М. Л. Хейфец. Текст непосредственный // Металловедение и термическая обработка металлов. 2020. № 1(775). С. 11–18.
5. Евгеньев Г. Б. Методы программирования комбинированной аддитивно-субтрактивной обработки. Текст непосредственный // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. № 4 (685). С. 47–56.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ В ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ 6–10 КВ

Бандурин И. И.

Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: воздушная линия, коммутационный аппарат, место установки, SAIFI, SAIDI.

В настоящее время для оценки правильности установки коммутационных аппаратов в воздушных линиях (ВЛ) целесообразно использовать показатели SAIFI и SAIDI [1]. Исходя из принципов работы коммутационных аппаратов (КА) для выбора мест установки реклоузера или предохранитель-разъединитель выхлопного типа целесообразно использовать критерий минимума SAIFI, для интеллектуального и обычного разъединителя — минимум SAIDI.

Минимальное значение показателя SAIFI достигается при равномерном распределении реклоузеров по трассе линии [2]. Это означает, что при выборе мест установки реклоузеров необходимо стремиться, чтобы выполнялось примерное равенство:

$$N_i \cdot L_i \approx const, \quad (1)$$

где N_i — количество потребителей, подключенных к i -му участку;
 L_i — суммарная протяжённость линии с отпайками на i -м участке.

Однако, вычисления, выполняемые вручную, с использованием критерия (1) весьма трудоёмки. Поэтому предлагается разработать математические модели для автоматизированного выбора мест установки КА в ВЛ по критерию минимума SAIFI и SAIDI.

Используя формулы для SAIFI и SAIDI, были получены точные критерии для выбора оптимального места установки КА в ВЛ 6–10 кВ. Далее рассмотрены математические модели по выбору оптимального расположения КА в ВЛ 6–10 кВ по критерию минимума SAIFI и SAIDI соответственно.

Переменная: x_i — переменная места установки i -го КА, которая соответствует расстоянию от начала линии до места установки КА.

Целевая функция, при использовании критерия минимум SAIFI выглядит следующим образом

$$\text{ЦФ} = \sum_{i=1}^n (N_{\text{Л}i}(x_i)l_{\text{Л}i}(x_i) + N_{\text{П}i}(x_i)l_{\text{П}i}(x_i)) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где n — количество коммутационных аппаратов;

$N_{\text{Л}i}$ — количество отключаемых потребителей слева от i -го КА;

$N_{\text{П}i}$ — количество отключаемых потребителей справа от i -го КА;

$l_{\text{Л}i}$ — суммарная длина линии с отпайками слева от i -го КА;

$l_{\text{П}i}$ — суммарная длина линии с отпайками справа от i -го КА.

При использовании критерия минимум SAIDI целевая функция выглядит следующим образом:

$$\text{ЦФ} = \sum_{i=1}^n \left(l_{\text{Л.В.}}(x_i) (N_{\text{Л.В.}}(x_i) T_{\text{Л.В.}}(x_i) + l_{\text{Л.П.}}(x_i) T_{\text{Л.П.}}(x_i)) \right. \\ \left. + l_{\text{П.В.}}(x_i) (N_{\text{П.В.}}(x_i) T_{\text{П.В.}}(x_i) + l_{\text{П.П.}}(x_i) T_{\text{П.П.}}(x_i)) \right) \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $N_{\text{Л.В.}i}$ — количество потребителей слева от i -го КА, питание которых может быть оперативно восстановлено;

$N_{\text{Л.П.}i}$ — количество потребителей слева от i -го КА, питание которых не может быть оперативно восстановлено;

$T_{\text{Л.В.}i}$ — время восстановления электроснабжения потребителей слева от i -го КА, питание которых может быть оперативно восстановлено;

$T_{\text{Л.П.}i}$ — время восстановления электроснабжения потребителей слева от i -го КА, питание которых не может быть оперативно восстановлено;

$N_{\text{П.В.}i}$, $N_{\text{П.П.}i}$, $T_{\text{П.В.}i}$, $T_{\text{П.П.}i}$ — тоже, что и переменные выше, но справа от i -го КА.

Ограничения:

1) Переменные мест установки КА должны быть положительными:

$$x_1, x_2, \dots, x_i \geq 0. \quad (4)$$

2) Переменные мест установки КА не должны превышать суммарной длины линии

$$x_1, x_2, \dots, x_j \leq l_{\Sigma}, \quad (5)$$

где l_{Σ} — суммарная длина линии.

В статье рассмотрены вопросы, связанные выбором месторасположения КА в ВЛ 6–10 кВ. Применение разработанных математических моделей по сравнению существующими снижает трудоёмкость и повышает надёжность электроснабжения за счёт большой точности при определении оптимального места установки КА.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Минэнерго России от 29 ноября 2016 года № 1256 «Об утверждении Методических указаний по расчету уровня надежности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг для организации по управлению единой национальной (общероссийской) электрической сетью и территориальных сетевых организаций (с изменениями и дополнениями)».

2. Техническая информация TER_Rec15(25)_All_L5M TER_RecDoc_PG_5. Версия 1.4: сайт. 2023. [Электронный ресурс]: URL: https://www.tavrida.ru/upload/iblock/13b/nhmv9yffjzskaeo9ca4hdd5aj8qoff0o/TER_RecDoc_PG_5.pdf (дата обращения: 02.10.2023).

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ,
ВОЗБУЖДАЕМЫХ В НАНОРАЗМЕРНОМ ДИСКЕ КОБАЛЬТА
СПИН-ПОЛЯРИЗОВАННЫМ ТОКОМ**

Кухарев А. В.

**Витебский государственный университет им. П. М. Машерова,
Республика Беларусь**

Ключевые слова: колебания намагниченности, ферромагнетная наноструктура, микромагнитное моделирование, перенос спина.

Колебания направления намагниченности в многослойных ферромагнитных наноструктурах могут возникать при пропускании через такие структуры электрического тока перпендикулярно слоям за счет явления переноса спиного момента. Данный эффект был впервые предсказан в работах Слончевского и Бержа в 1996 г. [1, 2] и в последующем был подтвержден экспериментально. На основе данного эффекта могут разрабатываться спинтронные nanoосцилляторы, излучающие электромагнитное излучение в микроволновом диапазоне узкой полосы. Важной проблемой является синхронизация частоты массива отдельных nanoосцилляторов для получения достаточной выходной мощности сигнала. Это приводит к необходимости изучения влияния различных параметров структуры на частоту колебаний намагниченности.

Исследуемая структура состоит двух ферромагнитных слоёв в форме дисков, разделенных тонкой медной прослойкой. Намагниченность одного из слоев закреплена антиферромагнетиком. Этот слой служит для поляризации потока электронов, который рассеивается на втором ферромагнитном слое со свободной намагниченностью, передавая ему момент импульса.

Моделирование намагниченности \mathbf{m} свободного слоя проводилось с помощью программы микромагнитного моделирования MuMax3 [3], в котором прецессия вектора намагниченности \mathbf{m} описывается следующим уравнением Ландау-Лифшица с учетом вращающего момента Слончевского-Берже, связанного с передачей спиного момента потока электронов атомам ферромагнетика:

$$\frac{\partial \mathbf{m}}{\partial t} = \frac{\gamma}{1 + \alpha^2} ([\mathbf{m} \times \mathbf{H}] + \alpha [\mathbf{m} \times [\mathbf{m} \times \mathbf{H}]]) + \beta \frac{\epsilon - \alpha \epsilon'}{1 + \alpha^2} [\mathbf{m} \times [\mathbf{s} \times \mathbf{m}]] - \beta \frac{\epsilon' - \alpha}{1 + \alpha^2} [\mathbf{m} \times \mathbf{s}], \quad (1)$$

где α — параметр затухания Гильберта, γ — гиромагнитное отношение, \mathbf{H} — эффективное магнитное поле, которое включает в себя внешнее поле, размагничивающее поле, обменное поле и поле магнитной кристаллографической анизотропии, $\beta = j\hbar/(M_S e d)$, e — заряд электрона. Параметр ϵ нелинейно зависит от скалярного произведения $\mathbf{m} \cdot \mathbf{s}$, а ϵ' — параметр спиного вращающего момента Слончевского, близкий к нулю.

В качестве материала свободного ферромагнитного слоя использовался кобальт со следующими параметрами: намагниченность насыщения $M_S = 1.43 \cdot 10^6$ А/м, обменная константа $A_{ex} = 1.54 \cdot 10^{-11}$ Дж/м, константа магнитокристаллической анизотропии $K_1 = 5.2 \cdot 10^4$ Дж·м³ и степень спиновой поляризации $P = 0,37$. Диаметр диска $D = 20$ нм, его толщина $d = 5$ нм.

На рисунке 1 показана зависимость частоты колебаний намагниченности от плотности тока j , пропускаемого перпендикулярно слоям структуры. При плотностях тока ниже $0,6 \cdot 10^{12}$ А/м² устойчивых колебаний намагниченности не наблюдается. При плотностях тока выше $1,0 \cdot 10^{12}$ А/м² колебания устойчивые периодические, а зависимость частоты от плотности тока близка к линейной. При плотностях тока от $0,6 \cdot 10^{12}$ до $1,0 \cdot 10^{12}$ А/м² колебания намагниченности устойчивые, однако не являются гармоническими, что приводит к более сложной зависимости частоты от плотности тока.

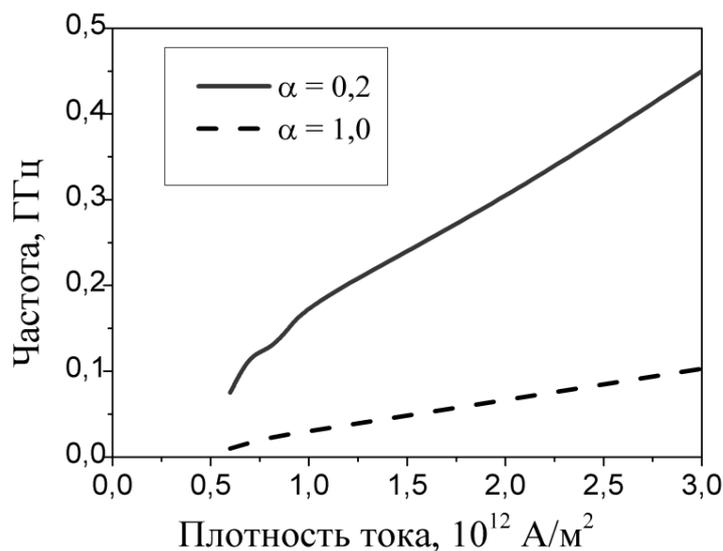


Рис. 1. Зависимость частоты колебаний намагниченности от плотности тока j , пропускаемого перпендикулярно слоям структуры

Таким образом, в результате проведенного моделирования было показано, что в структуре $\text{Co}(5\text{нм})/\text{Cu}(2\text{нм})/\text{Co}(5\text{нм})$ зависимость частоты колебаний намагниченности от плотности пропускаемого тока близка к линейной в диапазоне плотностей тока, при которых эти колебания наблюдаются. При этом частота колебаний намагниченности ниже в материале с большим параметром затухания α .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Slonczewski J. C. Current-driven excitation of magnetic multilayers. *J. Magn. Magn. Mater.* Vol. 159. Pp. L1-L7, 1996.
2. Berger L. Emission of spin waves by a magnetic multilayer traversed by a current. *Phys. Rev. B.*, Vol. 54. No. 13. Pp. 9353–9358, 1996.
3. Vansteenkiste A. The design and verification of MuMax3. *AIP Advances.* Vol 4. Pp. 107133, 2014.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ BLDC СО ВСТРОЕННЫМ КОММУТАТОРОМ

Кривогузова А.

Балтийский Федеральный университет имени Иммануила Канта, Россия

Ключевые слова: двигатель, коллектор, постоянные магниты, контроллер, постоянный ток, вращение двигателя, симуляция.

Целью данного исследования является разработка математической модели и симуляция двигателя BLDC с использованием MATLAB в качестве инструмента. При создании имитационной модели были поставлены задачи: показать эффективность переключения обмоток бесщеточного электродвигателя, определить наиболее эффективный момент переключения, выявить минусы каждого варианта подключения обмоток.

Математическая модель трехфазного двигателя BLDC описывается следующими уравнениями:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L - M & 0 & 0 \\ 0 & L - M & 0 \\ 0 & 0 & L - M \end{bmatrix} \left(\frac{d}{dt} \right) \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

где R — сопротивление (Ом), L — индуктивность обмотки статора (Гн), M — взаимная индуктивность (Гн), а V_a, V_b, V_c и e_a, e_b, e_c и i_a, i_b, i_c — фазное напряжение, напряжение противо-ЭДС и фазный ток каждой фазы. статора соответственно [1].

Модель представляет собой 3-фазный двигатель BLDC, соединенный с понижающим преобразователем и линией питания 3-фазного инвертора. В данную модель была внедрена функция переключения обмоток звезда-треугольник, треугольник-звезда [2].

На рисунке 1 представлена имитационная модель устройства.

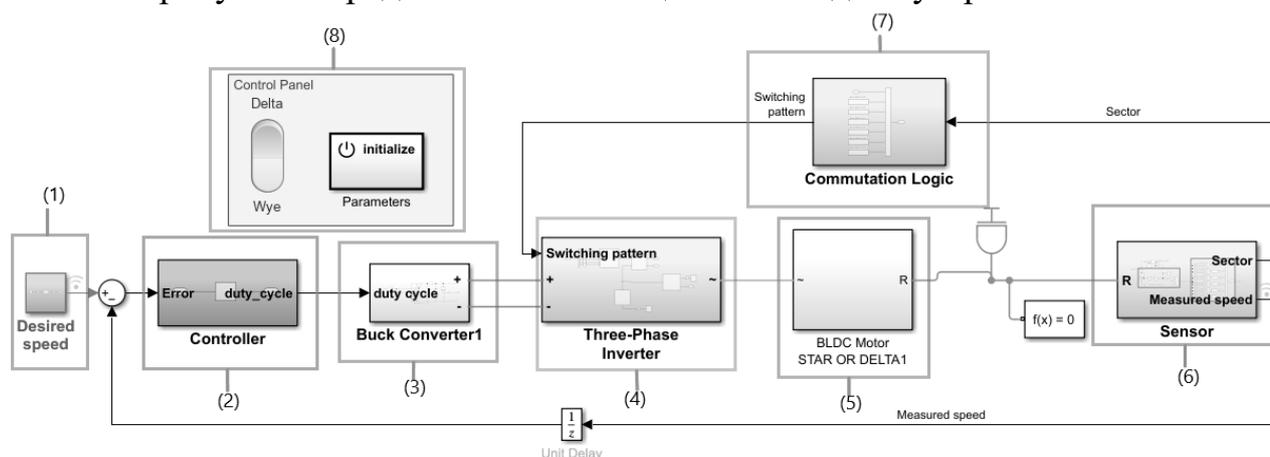


Рис. 1. Имитационная модель устройства с функцией переключения обмоток двигателя

Где (1) — Блок для задачи желаемой скорости, (2) — PID-контроллер, (3) — понижающий преобразователь, (4) — трехфазный инвертор, (5) — блок двигателей с обмотками «звезда» и «треугольник», (6) — блок датчиков, (7) — блок логики коммутаций, (8) — панель переключения обмоток (подключения в цепь двигателя с обмоткой «звезда» или «треугольник») [3].

Исходя из данных графиков, полученных в результате моделирования устройства, был построен график скорости и момента с динамическим переключением обмоток на рисунке 2.

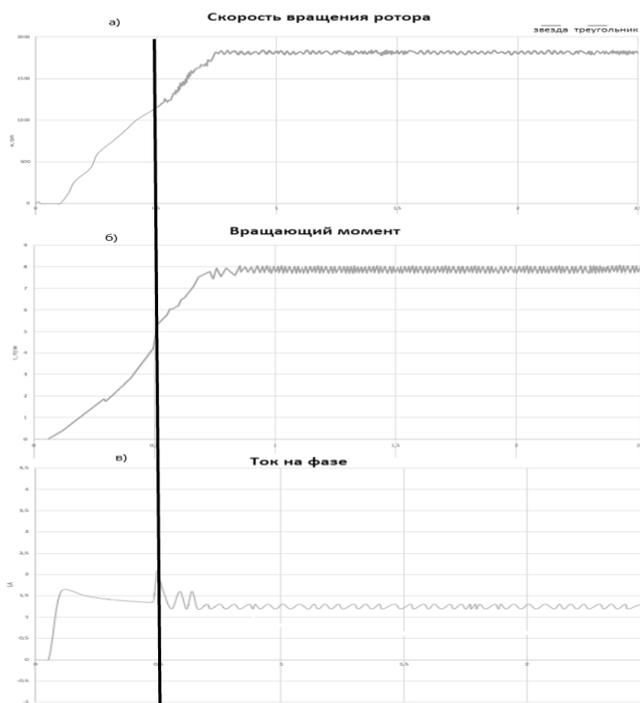


Рис. 2. Результаты моделирования BLDC с динамическим переключением обмотки со «звезды» на «треугольник» в момент времени $t = 0,5$ с., где: а) скорость вращения ротора (об/мин), б) момент вращения ротора (Н*м), в) ток на фазе (А)

В рамках моделирования и натурных испытаний была доказана эффективность работы переключателя и практическая польза для устройств, использующих подобную схему. Был определен момент эффективного переключения со «звезды» на «треугольник», которое позволяет достигать высоких оборотов и крутящего момента, что на примере летательного аппарата делает его быстрым, маневренным и позволяет поднимать тяжелые грузы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев И. Управление вентиляльным электродвигателем, часть 2 / И. Алексеев, А. Глубоков, А. Пашкевич // Электронные компоненты. 2018. № 3. С.117–124.
2. Kim S.-K., Sangam N., Pagidipala S., Salkuti S. R. Design and Analysis of BLDC Motor Driver for Hybrid Electric Vehicles. As part of the Lecture Series in Electrical Engineering (LNEE); Springer: Singapore, 2022. V. 824.
3. Hussain M., Ulasayar A., Zad H., Khattak A., Nisar S., Imran K. Design and analysis of a dual-rotor multiphase brushless DC motor for its application in electric vehicles. English Technol. application scientific Res. 2021, 11, 7846–7852.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ И ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ ОПРАВОК ДЛЯ ГЛУБОКОГО РАСТАЧИВАНИЯ

Васильев Л. С., Никифоров И. П.

Исковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: глубокое растачивание, оправка (борштанга), жесткость, виброустойчивость, предварительное внутреннее напряжение.

При растачивании глубоких отверстий (глубоком растачивании) возникают трудности, связанные с обеспечением жесткости и виброустойчивости инструмента, что сказывается на точности обработки. Глубину отверстий принято оценивать отношением L/D (L — длина отверстия, D — диаметр обрабатываемого отверстия). Если величина $L/D \geq 5 \dots 10$, то отверстие принято считать глубоким.

Виброустойчивость напрямую связана с рассеиванием энергии, которое нелинейно зависит от следующих факторов [1]:

- амплитуды колебаний;
- длительности воздействия циклических напряжений;
- вида напряженного состояния, обусловливаемого видом колебаний (продольные, поперечные, крутильные);
- структуры материала, обусловленной, в частности, термической обработкой (как правило, отжиг повышает, а закалка понижает демпфирующие свойства).

Повышать виброустойчивость (снижать интенсивность колебаний) можно за счёт применения специальных виброгасителей. По принципу действия виброгасители можно разделить на два основных вида (рис. 1):



Рис. 1. Методы повышения жёсткости и виброустойчивости

1) виброгасители, осуществляющие гашение вибраций за счет внешнего трения между сопряженными поверхностями их элементов в процессе их относительного движения;

2) виброгасители, использующие рассеяние энергии колебаний за счет внутреннего трения в материале вибропоглощающего элемента виброгасителя.

Как показал анализ литературных источников, одним из перспективных направлений повышения жесткости и виброустойчивости расточных оправок является создания предварительных внутренних напряжений в корпусе инструмента. Для этого разработаны различные конструкции и применяться различные методы (рис. 1).

Авторами разработана конструкция расточной оправки с предварительным внутренним напряжением на основе клина [2] и расточной оправки, где внутреннее напряжение достигается при помощи конуса [3].

Необходимо изготовить оправки (борштанги), смоделировать процессы виброустойчивости, определить параметры жесткости, и провести экспериментальные исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обработка глубоких отверстий / Н. Ф. Уткин, Ю. И. Кижняев, С. К. Плужников и др.; Под общ. ред. Н. Ф. Уткина. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. 169 с.

2. Никифоров И. П., Мальцев П. Н. Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Псковский государственный университет». Инструментальная оправка с повышенной жесткостью и виброустойчивостью. Патент №2777079 С1 РФ, МПК В23Q 3/14, В23В 29/00. Псковский государственный университет. Заявка № 2021117162; Заявл. 11.06.2021; Оpubл. 01.08.2022.

3. Васильев Л. С. Повышение жесткости и виброустойчивости при глубоком растачивании / Л. С. Васильев, И. П. Никифоров, Е. А. Евгеньева // Металлообработка. 2022. № 4. С. 12–22.

РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА С ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ

Иванов М. И., Краснов Н. С.

Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: роботизированная система, шестиосевой робот, дистанционное управление, подготовка кадров в роботостроении, открытая система управления.

В настоящее время страны Союзного государства сталкиваются с многочисленными задачами по импортозамещению современных технологий, так как долгое время закупали робототехнику у других стран, что привело к низкой-необходимости создания производств таких роботов, что в свою очередь не вызывает необходимости обучения кадров в области роботостроения. В настоящее время в Союзном государстве в большинстве образовательных организаций используются импортные роботы фирм Fanuc, KUKA, ABB и пр. Лишь часть специализированных роботов изготавливается в Республике Беларусь и Российской Федерации: Rozum Robotics, ООО «Завод роботов».

Целью разработки является внедрение обучающей модели робота манипулятора с описанием математической модели в систему высшего образования для подготовки будущих инженеров Союзного государства [1].

Для решения кинематических задач робота-манипулятора используется ПЗК (прямая задача кинематики) и ОЗК (обратная задача кинематики), которые являются инструментами для управления его движением и позиционирования рабочего инструмента в пространстве, а также позволяют решать широкий спектр задач, связанных с автоматизацией производственных процессов.

Решение ПЗК осуществляется с помощью метода Денавита — Хартенберга.

ОЗК, цель которой состоит в том, чтобы управляющая программа робота самостоятельно подбирала углы для заданного положения рабочего инструмента решается методом обратных преобразований [2, 3].

Так как обучающая модель изготавливается из напечатанных на 3D-принтере пластиковые детали, то имеет место неточность позиционирования ввиду относительно малой жесткости конструкции. Для уточнения положения звеньев робота – манипулятора используется дисперсионный анализ [4].

Система включает в себя пульт управления, робот-манипулятор и сменные рабочие инструменты, которые связаны по каналам связи частотой 2,4–2,5 ГГц. Такое решение позволяет обеспечить индивидуальную работу студентов с манипуляторами с личных пультов управления и, при необходимости, удаленно вмешаться в процесс преподавателю с пульта [5].

В итоге обучающиеся получают доступный отечественный продукт, который способствует пониманию теоретических положений. Также открытый доступ к коду позволит создавать или модернизировать математическую модель,

что может благотворно сказаться на квалификации будущих выпускников, а также расширит тематику выпускных квалификационных работ и научных исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства Российской Федерации «О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации "Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности"» от 31 марта 2021 № 505-20 // Официальный интернет-портал правовой информации. 2021. с изм. и допол. в ред. от 31 марта 2021.

2. Борисов О. И., Громов В. С., Пыркин А. А. Методы управления робототехническими приложениями. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 108 с.

3. Fu K. S., Gonzalez R. C., Lee Robotics C. S. G. Control, Sensing, Vision and Intelligence. New York City: McGraw Hill Book Company, 1989. 108 с.

4. Жажигаев Л. С., Кишьян А. А., Романиков Ю. И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента. М.: Атомиздат, 1978. 232 с.

5. Блум Д. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства. 2 изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2020. 529 с.

ГИБРИДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ШЛИФОВАНИЯ С ПЕРИОДИЧЕСКИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ

Жуйков И.М., Никифоров И.П.

Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: шлифование, шлифовочные риски, коэффициент навалов, пластическая деформация, гибридная технология.

Согласно исследованиям таких учёных, как Маслов Е. Н., Оробинский В. М., Филимонов Л. Н., Худобин Л. В. [1–4] и многих других, при шлифовании, по боковым сторонам режущих единичных абразивных зёрен формируются навалы, происходит отеснение обрабатываемого материала без снятия стружки. Особенно это проявляется при обработке пластичных материалов.

Интенсивность выдавливания (отеснения) материала оценивается коэффициентом навалов, который определяется как отношение площади навалов к площади риски (в поперечном сечении).

Коэффициент навалов увеличивается, с увеличением пластичности материала заготовки. Так для пластичных материалов, таких как Сталь 3 и технически чистое железо (армко-железо), коэффициент навалов достигает 0,3...0,7 и более, т. е. площадь навалов составляет 30...70 % от площади риски.

Появившиеся навалы могут быть частично или полностью удалены с поверхности заготовки другими абразивными зёрнами, хаотично расположенными на периферии шлифовального круга, при последующих взаимодействиях. При этом появляются новые навалы, или старые вновь отесняются на сторону. Вполне очевидно, что навалы могут пластически деформироваться внутрь поверхности заготовки и создавать наклёп, однако они могут отесняться и на сторону, при этом прижимаясь к поверхности заготовки, т.е. создавать «закаты» типа «ласточкин хвост», что является очевидным дефектом, если он больше не удаляется с поверхности.

В целом, появление навалов при обработке пластичных материалов является негативным явлением. В работе [5] также показано, что интенсивное отеснение металла с образованием навалов, является одной из причин увеличения сил резания. Так изменение коэффициента навалов от 0 до 0,5, при прочих равных условиях, привело к увеличению радиальной составляющей P_y силы резания на 57 %, а тангенциальной составляющей P_z силы резания на 63 %. Навалы также влияют на параметр шероховатости.

Одним из возможных способов борьбы с этими негативными явлениями является уменьшение значения коэффициента навалов. Например, путём специальной термической обработки поверхности заготовки. Однако этот приём не всегда возможен: во-первых, не все пластичные материалы могут быть термически обработаны; во-вторых, могут быть предъявлены жесткие требования к

физико-механическим и эксплуатационным свойствам поверхности изготавливаемой детали.

Для решения данной проблемы предлагается использовать гибридную, комбинированную технологию обработки пластичных материалов, включающую обычное плоское шлифование и пластическое деформирование (наклёп) поверхности заготовки при каждом двойном рабочем ходе, когда заготовка выходит из зоны контакта с инструментом.

В этом направлении требуется провести дополнительные научные исследования, смоделировать процессы контактного взаимодействия единичных абразивных зёрен с поверхностью заготовки и выбрать оптимальный метод пластического деформирования шероховатой поверхности заготовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов. М.: Машиностроение, 1974. 319 с.
2. Оробинский В. Прогрессивные методы шлифования и их оптимизация. Учебное пособие. Волгоград: ВолгГТУ, 1996. 218 с.
3. Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. 248 с.
4. Худобин Л. В. Минимизация засаливания шлифовальных кругов / Л. В. Худобин, А. Н. Унянин; под ред. Л. В. Худобина. Ульяновск: УлГТУ, 2007. 298 с.
5. Худобин Л. В. Исследование силовой напряженности шлифования заготовок из пластичных материалов / Л. В. Худобин, А. Н. Унянин // Известия ВУЗов. Машиностроения. 2006. № 4. С. 48–58.

SCADA — ТЕХНОЛОГИЧНЫЙ ИНСТРУМЕНТ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПЛАВАТЕЛЬНОГО БАССЕЙНА

Мирный И. А.

Псковский государственный университет, Россия

Ключевые слова: электротехнические комплексы, мульти-платформенные системы, человеко-машинные интерфейсы, оптимальное управление

Модернизация системы управления электротехнического комплекса (ЭТК) с помощью средств SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) дает экономию потребляемой электроэнергии за счет автоматического контроля, оперативного оповещения технического персонала, возможности анализа и планирования максимума нагрузки посредством централизованных цифровых отчетов о состоянии ЭТК. Опыт применения диспетчеризации ЭТК показывает, что заявляемая предприятием мощность и оплата за электроэнергию снижается на 4–6 % [1].

Объектом модернизации является ЭТК плавательного бассейна Псковского государственного университета.

Целями модернизации системы управления ЭТК является:

- 1) повышение надежности и экономичности работы оборудования, за счет оптимизации технологических процессов, сокращения времени обнаружения неисправностей, за счет диагностики и информации об отказах, уменьшения времени простоев оборудования после аварийных остановов и в ремонте;
- 2) улучшение условий и производительности труда эксплуатационного персонала за счет повышения информированности о ходе технологических процессов и работе оборудования, качества формирования и анализа оперативной и архивной документации.
- 3) возможность обработки цифровых отчетов средствами искусственных нейронных сетей (ИНС) для принятия оперативных решений в ситуациях, которые требуют многофакторный анализ.

ЭТК бассейна включает в себя 3 основные технические системы: индивидуальный тепловой пункт, систему вентиляции и систему водоподготовки. Системы имеют автономные контроллеры (рис. 1):

- а) тепловой узел: САУ МП «Овен» (управление насосами) и ТРМ32 «Овен» (управление электромеханическими клапанами);
- б) вентсистема: РС03000АМО «Carel» (вентиляция в зале бассейна);
- в) водоподготовка: ЕТ 200S «Siemens» (главный шкаф управления).

Возможности подключения контроллеров к оригинальным системам SCADA у систем ограничены: контроллер вентсистемы произведен в Италии, водоподготовки — в Германии, хотя обе системы имеют информационную шину для пакетной передачи данных между устройствами для компьютерных и

промышленных сетей Ethernet, в отличие от отечественных контроллеров компании Овен, установленных в тепловом пункте бассейна.

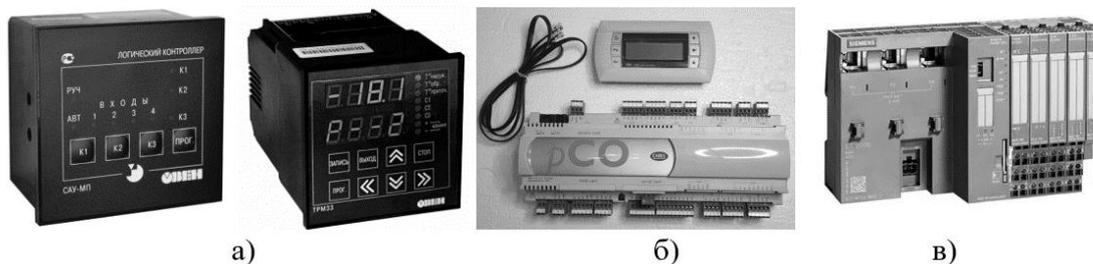


Рис. 1. Контроллеры ЭТК бассейна

С помощью отечественного пакета нативных мульти-платформенных приложений TeslaSCADA (рис. 2) для разработки человеко-машинных интерфейсов для контроля в режиме реального времени промышленных систем и процессов на базе ПЛК, возможно осуществлять визуальный контроль за производством при помощи любых устройств, таких как персональный компьютер, смартфон, планшетный ПК [2].

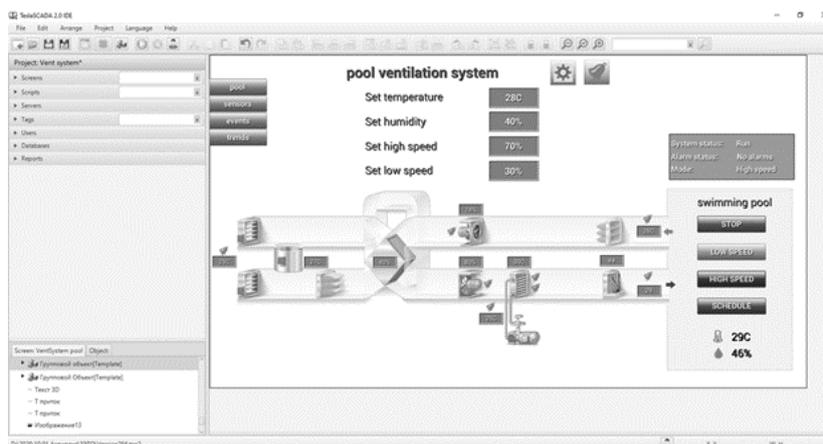


Рис. 2. Окно проекта диспетчеризации вентсистемы в приложении TeslaSCADA

Диспетчеризация ЭТК способствует снижению трудозатрат на обслуживание микропроцессорной техники, а также приводит к снижению количества рабочих часов обслуживающего персонала и экономии фонда заработной платы на 5-10%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные положения по автоматизации объектов энергообеспечения ОАО «Газпром» // Корпоративный журнал «Газавтоматика». 2001. С. 77.
2. Официальный сайт ООО «Тесла» ИНН: 7327057671. [Электронный ресурс]: URL: www.teslascada.com/ru/ (дата обращения: 10.03.2023).

Научное издание

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

Сборник тезисов докладов
II Международной научно-практической конференции
2–3 ноября 2023 г.

Электронное сетевое издание

Технический редактор: Ю. В. Бруттан
Компьютерная верстка: Ю. В. Бруттан, Н. А. Васильева

Подписано в печать 15.12.2023 г. Формат 60×90/8.
Гарнитура Times New Roman. Усл. п. л. 15,25. Заказ № 6199.

Адрес издательства:
Россия, 180000, г. Псков, ул. Л. Толстого, д. 4^а, корп. 3^а.
Псковский государственный университет