Министерство образования и науки РФ
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

XII НАУЧНО- ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

«НАУКА НАСТОЯЩЕГО И БУДУЩЕГО»

ДЛЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Сборник материалов конференции

16 – 18 мая 2024

Том III

Санкт-Петербург
2024

УДК 001.2

XII НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «НАУКА НАСТОЯЩЕГО И БУДУЩЕГО» ДЛЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ. Том 3. Сборник материалов конференции. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2024. 283 с.

Организаторы:
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова, АО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ «ВЕКТОР», ООО «Ультразвуковая техника - ИНЛАБ», дочерние общества и организации ПАО «Газпром».

Тематика конференции включает следующие направления

- *Информационные радиотехнические системы и устройства*
- *Информатика и управление в технических системах и ВТ*
- *Программная инженерия и автономные интеллектуальные системы*
- *Искусственный интеллект в прикладных областях*
- *Алгоритмическая математика*
- *Мехатроника и робототехника*
- *Приборостроение*
- *Лингвистика*
- *Электроника, нанотехнологии, наноматериалы*
- *Системный анализ и информационная безопасность*
- *Искусственный интеллект в прикладных областях*
- *Электропривод, автоматика и электротехнологии*
- *Биотехнические системы и технологии*
- *Техносферная безопасность*
- *Реклама и связи с общественностью*
- *Технологическое предпринимательство: от проектного замысла к рыночному позиционированию*
- *Современные тренды управления и цифровая экономика*
- *Инновационное проектирование: от реальных объектов к цифровым двойникам*

Сборник материалов содержит доклады, представленные на XII Научно-практической конференции с международным участием «Наука настоящего и будущего» для студентов, аспирантов и молодых ученых, состоявшейся 16 – 18 мая 2024 года в Санкт-Петербурге. Основной задачей конференции является развитие творческой активности студентов, привлечение их к решению актуальных задач в области науки и техники. Все доклады проходят рецензирование.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ 9

Галина Г. М., Дегтерева М. М., Левин Е., Ламкин И. А.
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 625-680 НМ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗВИТИЯ MENTHA PIPERITA L. 9

Куренков Р.А., Дегтерева М.М., Левин Е., Ламкин И.А.
СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО БЕЛОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РОСТА РАСТЕНИЙ 13

Лавриненко В.В., Васильева А.В., Парфёнов В.А.
СОЗДАНИЕ МИКРОФЛЮИДНОЙ ТОПОЛОГИИ НА ПОВЕРХНОСТИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПУТЁМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ 16

Неелова А.Д., Лепехина Т.К., Журба Д.В., Парфенов В.А.
ЛАЗЕРНАЯ ОЧИСТКА КОЖИ 20

Оттыч Д.А., Шевелько М.М., Староверова Я., Попкова Е.С.
ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ НА РАБОТУ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА 25

Пархомчук З.П., Титова И.И., Багин И.Д.
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОВИСАНИЯ НИТИ ФИЛАМЕНТА 28

Сайбеков Р. Е., Сорокин В. С., Тупицкая Н.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДОВ ДЛЯ РУДНИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА 32

Алексеев В. В., Орлова Н. В., Саранцева В. А., Нификоров Г. В.
АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БОРТОВОЙ ИИС КОНТРОЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ТРАНСПОРТНОГО ОБЪЕКТА. ОБЗОР, КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ 35

Шарапов А. Г., Томаев В. В., Стоянова Т. В.
РАЗРАБОТКА ПОРТАТИВНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ СЕНСОРОВ 39

Алексеев В.В., Орлова Н.В., Брызгало В.С.
ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ПРОЕКТА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА МАССОВЫХ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ 44

СЕКЦИЯ ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 50

Григорьева К.А. , Ковалевская А.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОНТАКТНОГО ДЕЙСТВИЯ БЕНЗОЛА НА ИНФУЗОРИЙ P.CAUDATUM 50

Манахова П.В., Семенова М.И., Ковалевская А.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВРДОРОДОВ МЕТОДАМИ АППАРАТУРНОГО БИОТЕСТИРОВАНИЯ 53

СЕКЦИЯ БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ 58

Вакаренко К.Г., Марцун Д.А.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСПОЗНАВАНИЯ ПОРОКОВ СЕРДЦА 58

Герасимова М.С.
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОГО МОНИТОРИГА ГЛЮКОЗЫ 62

Гончарова А.В., Карнуп Г.А., Шамин Е.С.
АДАПТИВНЫЙ МЕТОД НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ПРИ СЛУЧАЕ ПАРЕЗА И ПАРАПАРЕЗА, С НЕЙРОСЕТЕВЫМ АЛГОРИТМОМ УПРАВЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ПАТОЛОГИИ ДЛЯ МЫШЦ В ПОСТИНСУЛЬТНЫЙ ПЕРИОД 65

Иванова В.В., Корсаков А.М., Бахшиев А.В.
ФОРМИРОВАНИЕ УСЛОВНОГО РЕФЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕГМЕНТНОЙ СПАЙКОВОЙ МОДЕЛИ НЕЙРОНА НА МОБИЛЬНОМ РОБОТЕ 72

К.А. Бобкович, В.А. Карфидова, К.С. Комаров, М.А. Маклыгин, Д.Ю. Ивкин
РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА НЕИНВАЗИВНОЙ РЕГИСТРАЦИИ УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ У ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ 76

Д. С. Краснокутский
ОСОБЕННОСТИ ТОПОЛОГИИ МИКРОФЛЮИДНЫХ КАНАЛОВ В ГИБРИДНЫХ АКУСТОФЛЮИДНЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ 79

Михайлов В.А., Филатов А.Ю.
АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ СТРЕССА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ С ДАТЧИКА КГР 83

А.В. Могильников
ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С БИОЛОГИЧЕСКИМИ ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ НА БАЗЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА LEGO MINDSTORMS EDUCATION EV3 И БИОСЕНСОРОВ BITRONICS NEUROLAB 87

П.А. Муравьев, А.С. Поляев, В.П. Захаров
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИБОРА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ В МАНЖЕТЕ ЭНДОТРАХЕАЛЬНОЙ ТРУБКИ С АППАРАТОМ ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЁГКИХ 92

Порядин О.Г.
АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МОДЕЛИ ФОТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ПРИБОРА 95

Терещенкова М.С., Буляница А.Л.
ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ СХЕМ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ В КРОВОТОКЕ 99

Д.С. Якименко, Н.В. Ремизов
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИК ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ СОСУДОВ ЧЕЛОВЕКА 102

C. D. Erin, M. A. Rizki, N. R. Molodkina
STUDYING THE UTILIZATION OF PARACOCCUS DENITRIFICANS IN DUAL-CHAMBER MICROBIAL FUEL CELLS 105

СЕКЦИЯ ИННОВАЦИОННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ: ОТ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ К ЦИФРОВЫМ ДВОЙНИКАМ 109

Хорев К.Е.
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИИ АКСЕЛЕРАЦИОННЫХ ПРОГРАММ, КАК ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ 109

V. Miridashtaki, A. R. Denisov
UTILIZING ENTERPRISE ARCHITECTURE MANAGEMENT TECHNOLOGIES FOR RESOLVING CORPORATE GOVERNANCE CHALLENGES 111

Н.С.Акатьева, М.К. Салтыков, И.Г. Фомина
РОБОТИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКЕ 116

Алкаев Д.О.
ИЗУЧЕНИЕ ПОДХОДОВ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ КОНКУРЕНТНЫХ ЦЕН НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ 119

Ананьева В.Я.
ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СОЦИОКИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ 124

Вдовенко В.А. , Левина В.М.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ В IT-ПРОЕКТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SCRUM 128

Веселова Д.Д., Левина В.М.
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАБОТЫ С ЧАТ-БОТОМ ДЛЯ УЧЕТА И КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ 132

Покровская Н.Н., Винюков А.А.
ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРЕССИВНЫХ ИННОВАЦИЙ..... 137

Дагбалдай Э.Г.
АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ..... 140

А.Д. Лавриенко, В.В. Каштанов, Ю.В. Алферов
ВОЗМОЖНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ АВАРИЙНОГО КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ БПЛА НА БАЗЕ ТЕЛЕФОННЫХ КАНАЛОВ КОММЕРЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ 144

А.В. Лёдова, В.М. Левина
МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ОСНОВЕ НАНОКЕРАМИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЫ 148

Лучин Д.А.
ПРОЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОТЕНЦИАЛ ПЕРЕХОДА К ЦИФРОВЫМ ДВОЙНИКАМ В РАМКАХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 151

Маврин Д.И.
ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ БИЗНЕС-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ GPT-БОТА В CRM-СИСТЕМУ КОМПАНИИ ООО "ТКС.РУ" 155

Маштаков М.М.
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИОВСТИ СИСТЕМ 159

А.А. Мунассар
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ 163

Непомнящая В.С., Петров Д.А., Фомина И.Г.
ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ГРУЗОПЕРЕВОЗКАХ РФ 166

Пикалева В.С.
ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ЛИТИЙ-ЖЕЛЕЗОФОСФАТНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ ЯЧЕЙКИ 170

М.С. Попов
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛОГИСТИКЕ ... 174

Проничев Д.А.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ И ИНСТРУМЕНТОВ ОТКРЫТЫХ ИННОВАЦИЙ В ЦЕЛЯХ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ НУЖД ПАО «ГАЗПРОМ» 178

Сухинин В.Д.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПАНИИ 181

Чешуина Е.Ю.
ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБРАЗ ПАЦИЕНТА В КОНТЕКСТЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ 184

Шаталов В.Р.
ПЛАТФОРМА NVIDIA OMNIVERSE – СРЕДА РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ 187

Шевченко А. А.
РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА СТАНКА ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕСУРСОВ 191

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОД, АВТОМАТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ 195

Е.А. Агапитов, Д.Н. Пеленев
РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОГО ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА 195

И.Н. Бондарев, Р.М. Мигранов, Н.А. Доброскок
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ 200

М.Н. Кудряш, Ю.С. Быркин, А.С. Мельников
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ДЕТАЛИ И КОНЦЕНТРАТОРА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ 204

В. Фуминь, З.М. Абдуллаева
МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ 209

С.А. Елисеева, Н.А. Доброскок
СТАБИЛИЗАЦИЯ ГРУЗА ПОДЪЕМНОГО КРАНА 214

В.А. Кириченко
РАЗРАБОТКА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТА 218

М.А. Кузнецов, Ч. Хунянь
ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ 222

А. Курова, К.А. Порохненко
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОТХОДОВ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ 226

Л. Цзэинь, О.А. Малышева
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ..... 228

П.В. Любимов
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ И ФОРМЫ РЕБЕР ТЕРМОЭЛЕКТРОДА МОДУЛЯ ПЕЛЬТЬЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТВОДА ТЕПЛА..... 230

П.И. Симин
ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОЙ АСИММЕТРИИ МАГНИТОПРОВОДОВ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 235

С. Цзинцзин, Н.А. Доброскок
УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ НАПРЯЖЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ 239

Д. Тарасова, А.И. Мамяко, А. Древс
СТАНОК ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКА В ФИЛАМЕНТ 244

А.Д. Фадеев
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ РЕЛЕЙНЫХ ЗАЩИТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО НАСОСА 248

Д.А. Шило, Д.Р. Трегуб
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ В КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ..... 252

Я. Синьюй, О.А. Малышева
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗА НА ОСНОВЕ АНСАМБЛЕВОГО ОБУЧЕНИЯ 256

СЕКЦИЯ МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА..... 259

Д.А. Игнатьев, Е.А. Масленникова, Д.М. Филатов
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА АВТОПАРКОВКИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА..... 259

А.С. Ляховский
РАЗРАБОТКА ШАГАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА В МЕХАТРОННЫХ РОБОТОТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВАХ..... 262

В.Я. Магда
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА АВТОПАРКОВКИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА..... 266

И. Поляков, М.Д. Максименко, К.А. Порохненко
РАЗРАБОТКА МНОГОЗВЕННОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА С ПЕРЕМЕННЫМ УГЛОМ НАКЛОНА МЕЖДУ ЗВЕНЬЯМИ 270

А.В. Суходолов, А.В. Вдовенко, С.О. Юдин, А.В. Сомов, С.М. Каданцев
ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ НАЗЕМНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ 272

Г.Н. Томозов, С.С. Колмогорова
ОСОБЕННОСТИ СТАБИЛИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ 275

Т.Р. Юлдашев, Е.В. Илатовская
РОБОТИЗИРОВАННАЯ ЯЧЕЙКА С ПОВОРОТНЫМ СТОЛОМ 279

СЕКЦИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 625-680 НМ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗВИТИЯ MENTHA PIPERITA L.

Галина Г. М., Дегтерева М. М., Левин Е., Ламкин И. А.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В настоящее время одной из важных задач агробиофотоники является повышение скорости развития растений и улучшение их качества методом фотостимуляции. В результате работы было исследовано влияние фотосинтетически активного излучения 625-680 нм на морфометрические параметры развития *Mentha piperita* L. Эксперимент показал, что при облучении СИД 625 нм наблюдается «синдром избегания тени» с характерным проявлением удлинения стебля (на 40,9% больше других режимов освещения). Обработка излучением 660 нм приводит к увеличению зеленой массы растений (средняя сырая зеленая масса увеличена на 62,2%).

Ключевые слова: фотоника, агробиофотоника, светодиодные фитолампы, фотостимуляция, гидропоника, Mentha piperita L., фитохромы, фотосинтез, хлорофилл, лекарственные растения, фармакопея.

Введение

С внедрением современных технологий и использованием искусственного освещения в сельском хозяйстве растет интерес к улучшению роста и развития растений методом фотостимуляции. Традиционно растения выращивают на открытом грунте, что предусматривает только сезонное выращивание. Помимо условий окружающей среды, географическое положение, сезонные колебания, влажность, температура, солнечное излучение также влияют на морфометрические параметры развития. С помощью светодиодного (СИД) освещения, которое можно использовать в качестве досветки растений или полной замены естественного света, возможна настройка благоприятных параметров освещения, что способствует более быстрому росту и улучшению показателей развития культур. Это представляет большой интерес для сельскохозяйственной области и позволяет увеличить урожайность.

Растения обладают специализированными фоторецепторными системами, которые воспринимают и реагируют на различные длины волн света. На рисунке 1 представлены спектры поглощения основных компонентов растений, на котором видно, что один из пиков поглощения хлорофиллов *a* и *b* приходится на «красную» область спектра. Пик поглощения фитохромов приходится на «красную» и «дальнюю красную» область. Фитохром отвечает за восприятие информации об окружающих условиях. Фитохром существует в двух формах: «красный» (Pr) и «дальний красный» (Pfr) (рис. 1). Красный свет с длиной волны 660 нм может вызвать трансформацию фитохрома из пассивной формы Pr в активную Pfr. Накопленный фитохром Pfr может запустить каскад изменений, которые влияют на цветение [1].

Дефицит или отсутствие синего света приводит к снижению концентрации фотосинтетических пигментов в растениях и фотосинтетической активности. Фотостимуляция красным освещением способствует росту стебля, цветению, а также может влиять на время наступления и длительность фазы цветения. При дальнем красном освещении хуже производится хлорофилл, без которого невозможен фотосинтез. Синтез

каротиноидов, которые участвуют в улавливании световой энергии, также снижается (рис. 1) [2].

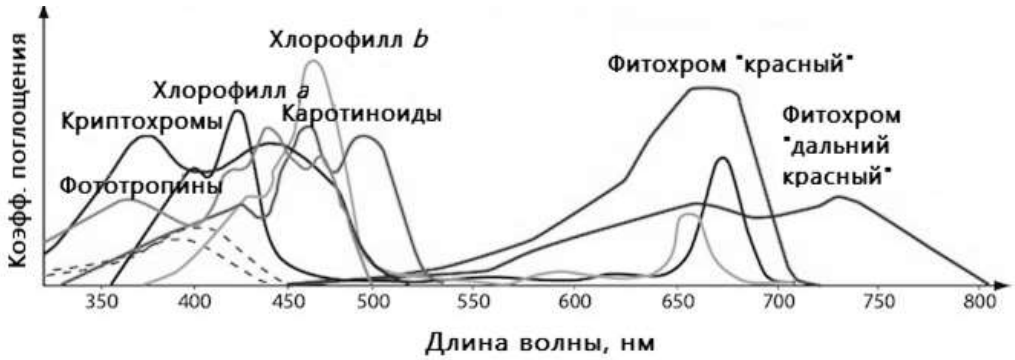


Рис. 1. Спектры поглощения основных компонентов растений

Характеристики источников освещения

Для анализа влияния фотосинтетически активного излучения были использованы следующие источники: светодиоды с длинами волн 625, 660 и 680 нм. Стенд подключен к автоматическому поливу, боксы оснащены перегородками, предназначенными для изоляции растений от постороннего излучения. В каждом боксе было расположено 15 исследуемых образцов, выращиваемых в условиях гидропоники. Выборка производилась из 3 образцов для каждого вида освещения.

Были измерены основные характеристики светодиодов: спектральная характеристика и ватт-амперная характеристика. Максимальная эффективность СИД 625 нм составляет 33,4%, 660 нм – 74,4% и 680 нм – 69,3%.

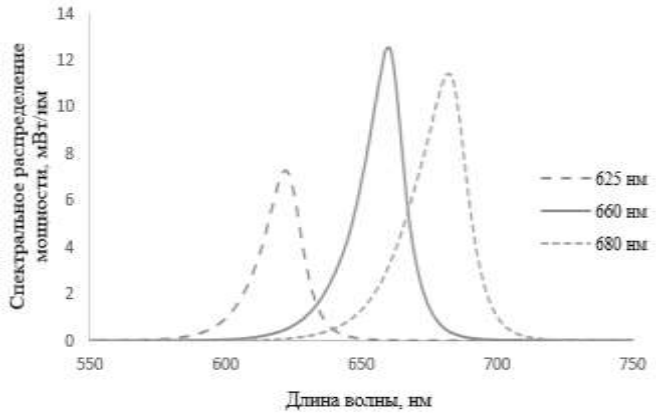


Рис. 2. Спектры светодиодов при рабочем токе 300 мА

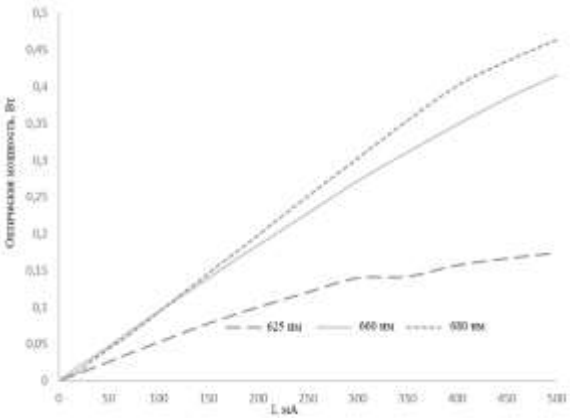


Рис. 3. Ватт-амперная характеристика светодиодов

Проведение экспериментов

Для исследования в качестве модельного растения была выбрана культура *Mentha piperita* L. Данное растение имеет широкое распространение в фармацевтической промышленности [3].

На рисунках 4-7 видно, что у растений, которые выращивались под освещением 625 нм был замечен «синдром избегания тени», который проявляется в чрезмерном удлинении стебля (средняя длина гипокотиля на 40,9% больше, чем при других режимах), при этом стебли у растения очень тонкие, слабые. Также одним из характерных признаков низкой фотосинтетической активности является развитие редких и маленьких листьев (средняя

площадь листьев на 39,17% меньше, чем при остальных режимах освещения), что снижает эффективность фотосинтеза и набор зеленой массы. В дальнейшем это приведет в задержке цветения и снижению урожайности. Однако при использовании других режимов освещения таких признаков не наблюдалось. Полученный эффект связан с низким поглощением света хлорофиллом *a* (662 нм) и хлорофиллом *b* (642 нм) в области 625 нм. При освещении длиной волны 660 нм наблюдается активный синтез хлорофилла, что способствует увеличению площади листьев. Это в свою очередь приводит к увеличению поверхности для поглощения света и увеличению зеленой массы (увеличение сырой массы растения на 62,2% и сухой массы на 52,2% относительно других режимов освещения). Эффективность фотосинтеза увеличивается, следовательно, увеличивается рост растения. Пик поглощения фитохрома Pfr приходится на «дальне-красную область». Действие Pfr наглядно наблюдается для режима освещения 100 % СИД 680 нм. Происходит подавление элонгации стебля, что приводит к более компактному росту, чем при других режимах освещения. Также наблюдалось утолщения стебля, что также является одним из действий фитохрома [4, 5].

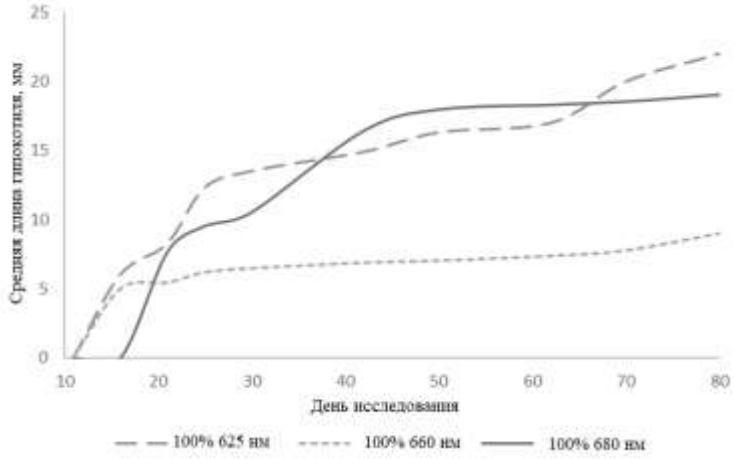


Рис. 4. График средней длины гипокотиля в зависимости от дня исследования

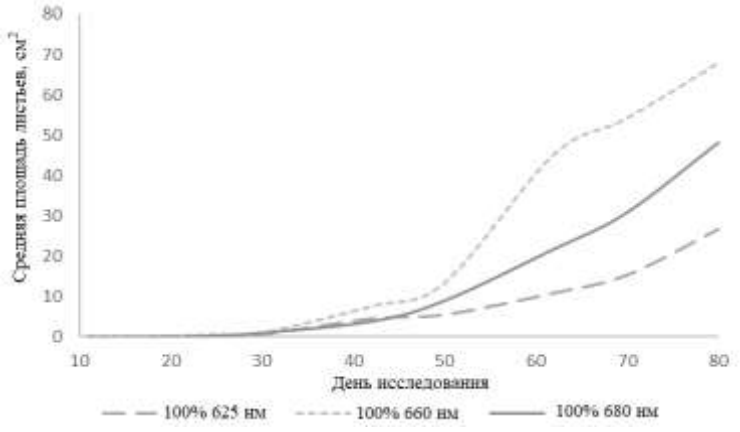


Рис. 5. График средней площади листьев в зависимости от дня исследования

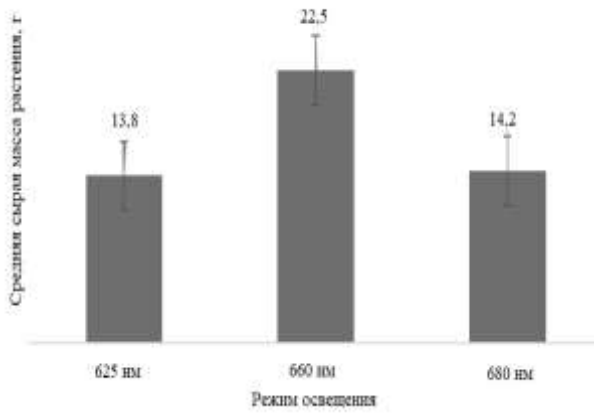


Рис. 6. Средняя сырая масса растения в зависимости от режима освещения

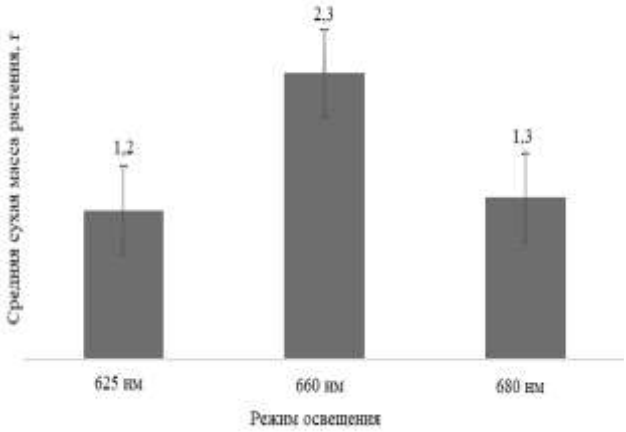


Рис. 7. Средняя сухая масса растения в зависимости от режима освещения

Заключение

Стремительно развивающиеся технологии светодиодного освещения и гидропоники открывают новые возможности для улучшения методов выращивания растений. Исследования и разработки в области агробиофотоники могут иметь важное значение для увеличения производства пищевых продуктов, улучшения качества растений и развития устойчивых и эффективных методов сельского хозяйства. Фотостимуляция светодиодным освещением 625 нм показала удлинение гипокотиля на 40,9% относительно других режимов освещения, что говорит о проявлении «синдрома избегания тени». В ходе проведения экспериментов было выявлено, что наиболее подходящим режимом освещения является облучение СИД 660 нм, так как средняя площадь листьев на 39,17% больше, чем при других режимах. Сырая масса растения после облучения СИД 660 нм увеличена на 62,2%. Также получено увеличение сухой массы растений на 52,2%, относительно других режимов освещения.

Список литературы

1. Войцехвоская О. В. Фитохромы и другие (фото)рецепторы информации у растений // Физиология растений. 2019, Т. 66, № 3, С. 163-177. DOI: 10.1134/S0015330319030151.

2. Довлатов И. М., Юферев Л. Ю. Анализ спектров поглощения электромагнитного излучения пигментами растений // Инновации в сельском хозяйстве. 2019, № 2(31), С. 146-153.

3. Князева И. В., Вершинина О. В., Гудимо В. В., Скоропудов В. Н. Технологические приемы выращивания мяты и мелисы на вертикальных стеллажах» // Вестник КрасГАУ. 2021, № 11, с. 78-84.

4. Дегтерева М. М., Левин Е., Дегтерев А. Э., Богданов А. А., Ламкин И. А., Тарасов С. А., Сергеев П. А. Методика оценки преимуществ применения светодиодной фитоленты в промышленных тепличных комплексах // Фотоника, 2023, Т. 17, № 7, С. 566-578. DOI:10.22184/1993-7296.FRos.2023.17.7.566.578.

5. Degtereva, M., Levin, Y., Gubina, A., Degterev, A., Lamkin, I., Konoplev, G., Tarasov, S., Whaley, A., Whaley, A., Suloev, I., Danilova A., Gusev K., Maimistov M. Influence of the Spectral Composition of Illuminating Light Sources on Biometric and Phytochemical Characteristics of Ocimum basilicum L. // Photonics 2023, №10, 1369. https://doi.org/10.3390/photonics10121369.

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО БЕЛОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РОСТА РАСТЕНИЙ

Куренков Р.А., Дегтерева М.М., Левин Е., Ламкин И.А.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Целью работы являлось создание автоматизированного белого источника излучения для оптимизации роста растений. В ходе выполнения работы были исследованы основные характеристики светодиодов (ВАХ, ВтАХ, эффективность и спектральная характеристика). Проведено исследование плотности фотосинтетического потока фотонов СИД, определены рабочие токи СИД для создания белого света, создана электрическая схема фитоизлучателя. Был разработан корпус прибора и осуществлена сборка готового излучателя. В конце работы проведены контрольные измерения на соответствие параметров источника излучения необходимым требованиям.

Ключевые слова: агробиофотоника, спектральная характеристика, PPFD, источник излучения, цветовая температура, фотосинтетически активная радиация

Введение

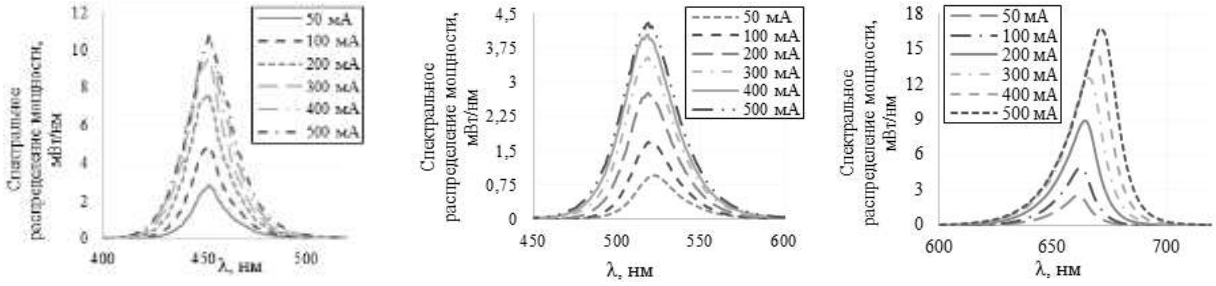
Важнейшим фактором, влияющим на рост и развитие растений, является спектр излучения источника. Для оптимизации технологии выращивания сельскохозяйственных культур в условиях закрытого грунта всё чаще используется дополнительное освещение с целью повышения продуктивности. Излучение, эффективное для поглощения растениями, называется фотосинтетически активной радиацией (ФАР) и лежит в диапазоне 400 – 700 нм [1]. Внутри этой области наиболее важными являются красная (600 – 700) и синяя (400 – 450) области спектра, так как энергия фотонов этих диапазонов видимого спектра используется для протекания важнейшего процесса – фотосинтеза. Излучение также способно влиять и на не менее важные процессы развития растения: цветение и корнеобразование [2]. Однако, фитоизлучатели имеют некомфортное для глаз человека свечение фиолетового цвета. Наличие режима работы с белым источником излучения позволяет обеспечить комфортную работу человека рядом с фитоизлучателем.

Поэтому создание автоматизированного источника излучения с применением синих, красных и зеленых светодиодов для оптимизации роста растений и получения белого света является актуальной задачей.

Проведение исследования

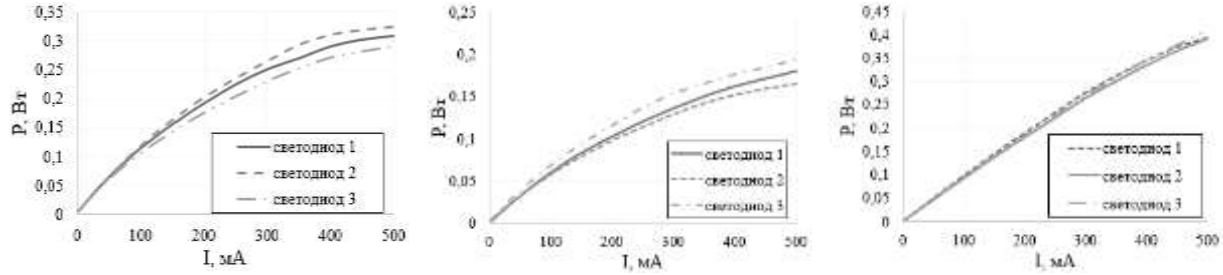
Для создания источника излучения использовались красные (660 нм), зеленые (520 нм) и синие (445 нм) светодиоды. Настройка интенсивности излучения СИД достигается путем изменения тока, протекающего через светодиоды в зависимости от внешней освещенности, а создание белого цвета излучения осуществляется посредством включения зеленых светодиодов при приближении человека к установке с целью обеспечения более комфортной работы с ней. Для получения выборки в эксперименте использовались по 3 светодиода каждого цвета. Были измерены спектральные, вольтамперные, ватт-амперные характеристики (ВтАХ) и эффективность светодиодов. Максимальная эффективность красного светодиода составила 65%, синего 67%, зеленого 37%. На рис. 1 – 2 представлены спектральные и ватт-амперные характеристики для красного, зеленого и синего светодиодов. На рис. 1. можно наблюдать эффект, при котором при увеличении тока, протекающего через светодиод, максимум интенсивности смещается в длинноволновую область, что связано с температурным изменением ширины запрещенной зоны. На рис. 2.

отсутствует характерный спад мощности, так как значения токов, при которых проводились исследования, значительно ниже тех, при которых наблюдается нагрев структуры.



а) *б)* *в)*

Рис. 1. Спектральная характеристика СИД (а – синий, б – зеленый, в – красный светодиоды)



а) *б)* *в)*

Рис. 2. Ватт-амперная характеристика СИД (а – синий, б – зеленый, в – красный светодиоды)

Далее было проведено исследование плотности фотосинтетического потока фотонов, облучающего поверхность (PPFD, мкмоль·м$^{-2}$·с$^{-1}$). Эксперимент проводился при различных токах на светодиодах и расстояниях от источника излучения до облучаемой поверхности. В ходе изучения литературы было выяснено, что уровень PPFD для максимального повышения урожайности составляет 180 – 350 мкмоль·м$^{-2}$·с$^{-1}$ в зависимости от выращиваемой культуры [3-5]. Основываясь на этих значениях и результатах проведенных исследований, было определено оптимальное значение PPFD для разрабатываемой установки на уровне 200 мкмоль·м$^{-2}$·с$^{-1}$, расстояние от излучателя до поверхности равное 20 см, а также рабочий ток на светодиодах 300 мА. Значение PPFD для красного, синего и зеленого светодиодов для выбранного расстояния от источника излучения до облучаемого объекта представлено на рис.3. Как видно из графика, плотность фотосинтетического потока фотонов больше у красного светодиода в связи с тем, что оно попадает в ФАР и излучение данной длины волны наиболее сильно поглощается хлоропластами в процессе фотосинтеза.

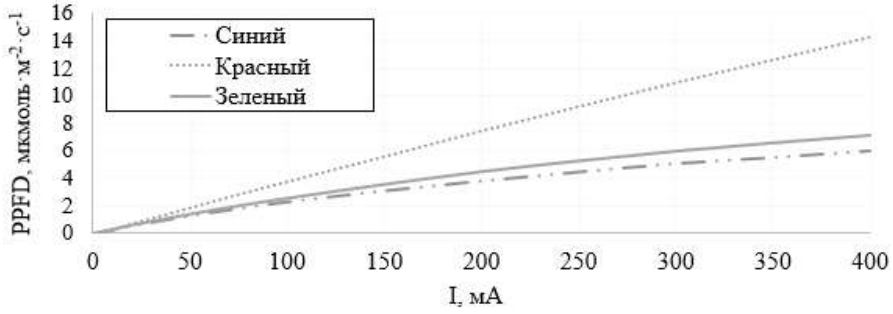


Рис. 3. Зависимость PPFD от тока для трех СИД при расстоянии 20 см от излучателя до поверхности

С помощью программы SpectraSuite было подобрано значение токов СИД каждого типа для создания белого излучения с цветовой температурой 2000 – 10000 К [6]. При токах 14 мА на синих излучателях, 230 мА на красных и 254 мА на зеленых удалось добиться цветовой температуры равной 5350 К. Основные параметры источника излучения, полученные в ходе исследования в программе SpectraSuite, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры белого излучения

Характеристика	Значение
CRI Ra	90,6 (5350K)
Коррелированная цветовая температура	5350 К

По полученным значениям PPFD и тока каждого светодиода для создания белого света был произведен расчет необходимого количества излучателей для всего источника. Для обеспечения общего PPFD на уровне 200 мкмоль·м$^{-2}$·с$^{-1}$ при режиме освещения только красными и синими излучателями и в режиме белого освещения необходимо использовать: 10 синих, 14 красных и 13 зеленых СИД.

На рис. 5. представлена разработанная электрическая схема автоматизированного белого источника излучения для оптимизации роста растений.

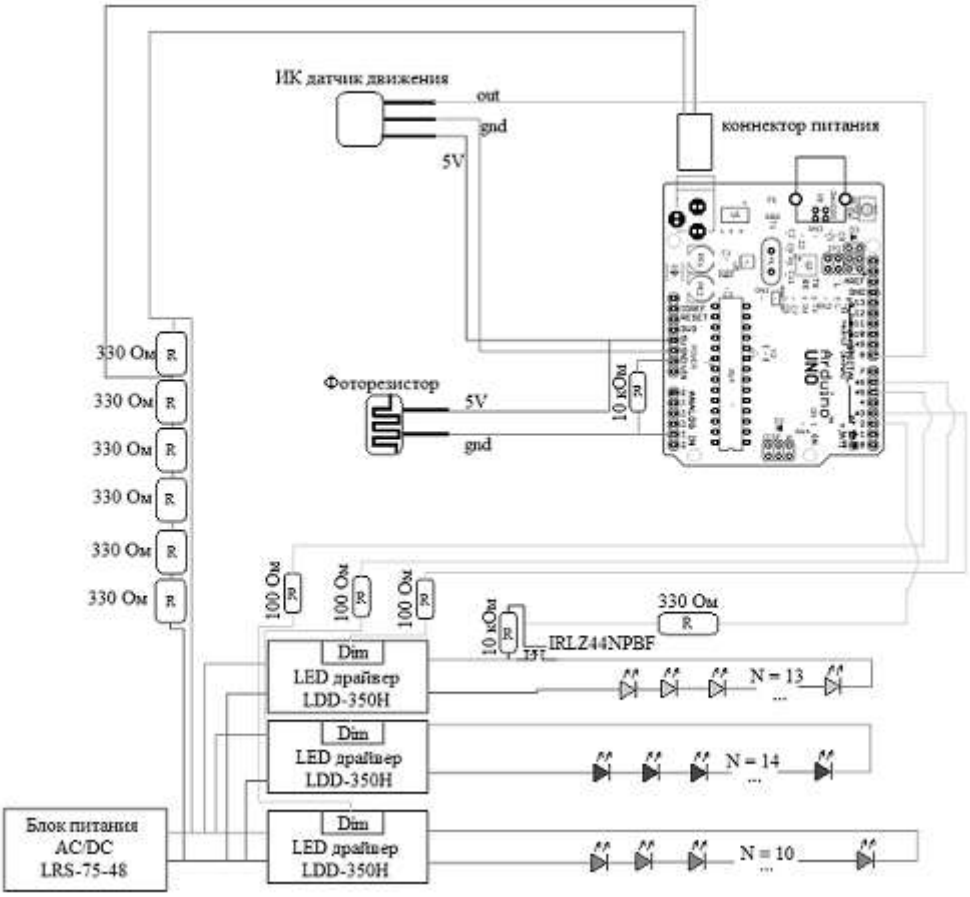


Рис. 5. Электрическая схема цепи

После составления схемы была произведена сборка тестового стенда для отладки работы программы автоматизированной регулировки яркости и включения и выключения

режима освещения белым излучением, написанной на языке программирования Arduino C. После завершения тестов был изготовлен корпус фитоизлучателя методом 3D-печати.

Заключение

В ходе проведения эксперимента был разработан автоматизированный белый источник излучения для оптимизации роста растений. Были получены характеристики СИД: ВАХ, ВтАХ, спектральная характеристика и эффективность. Максимальная эффективность красного светодиода составила 65%, синего 67%, зеленого 37%. Для светодиодов каждой длины волны были получены значения PPFD, а также подобраны токи для получения белого цвета излучения. При токах 14 мА на синих излучателях, 230 мА на красных и 254 мА на зеленых удалось добиться цветовой температуры 5350 К. Подобранное белое излучение позволяет работать рядом с фитоизлучателем в комфортной для человеческого глаза среде. Перспективность таких систем заключается в увеличении качественных и количественных характеристик выращиваемых сельскохозяйственных культур. Развитие технологий искусственной досветки растений – это перспективное направление для улучшения сельского хозяйства. Разработанный излучатель способен автоматически подстраивать интенсивность излучения в зависимости от внешней освещенности, что способствует улучшению процессов фотосинтеза и фотоморфогенеза.

Список литературы

1. ГОСТ Р 58461 – 2019. Освещение растений в сооружениях закрытого грунта. М.: Стандартинформ, 2019
2. Жабина Н.А., Михалейко Б.А., Чихирева В.В. Применение агрофотоники для улучшения продуктивности комнатных растений.
3. Кобякова М.М. Разработка и расчет оптимальной системы агроосвещения на базе светодиодных и натриевых ламп высокого давления.
4. Эщдаун Я., Рентюк В. Светодиодное освещение для растениеводства.
5. Levin Ye., Romanovich M.M., Degterev A.E., Lamkin I.A. Creation of an Automated Cultivation System Containing Phyto-Illumination of the UV and Visible Ranges of the Spectrum.
6. Sharnin A.D., Degtereva M.M., Degterev A.E. LED Grow Light Simulation with the Customizable Emission Spectrum and Backup Power from the Solar Station.

СОЗДАНИЕ МИКРОФЛЮИДНОЙ ТОПОЛОГИИ НА ПОВЕРХНОСТИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПУТЁМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

ЛАВРИНЕНКО В.В., ВАСИЛЬЕВА А.В., ПАРФЁНОВ В.А.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В работе оценивается возможность создания элементов микрофлюидной топологии на пластине из нержавеющей стали с помощью лазерной обработки излучением в ИК-диапазоне. Представлены параметры многоэтапного лазерного воздействия на поверхность металла с целью создания микроканалов с профилем, близким к полукруглому, а также сквозных отверстий, играющих роль входных каналов микрофлюидного чипа. Рассмотрена шероховатость структур и эффекты, влияющие на неё.

Ключевые слова: лазерная абляция, микрофлюидика, лазерная перфорация.

Введение

Микрофлюидика как отдельная научная дисциплина занимается изучением поведения потоков жидкости в микронном масштабе и управлением этими потоками. За последние

несколько десятилетий микрофлюидные методы стали практически незаменимыми в решении ряда производственных и исследовательских задач [1]. Например, в медицине ежегодно регистрируются новые методы для наблюдения за клетками и манипулирования ими внутри микрофлюидных чипов, которые могут имитировать органы, или использоваться для обнаружения биомаркеров и других биологических или химических составляющих [2].

Создание микрофлюидных установок для большинства исследовательских лабораторий представляет сложную задачу в первую очередь по причине высокой стоимости входящих в их состав компонентов. Микрофлюидные чипы могут быть изготовлены из широкого спектра материалов, а в зависимости от используемого материала микрофлюидный рисунок возможно создать с помощью различных технологий [3]. В связи с этим проводятся многочисленные исследования по поиску новых и модернизации уже имеющихся способов изготовления подобных устройств, направленные на упрощение и удешевление технологии их производства.

Использование лазерных технологий является альтернативным методом получения сложных топологий на различных поверхностях [4,5]. Создание микрофлюидного рисунка с помощью лазерной микрообработки имеет ряд особенностей и преимуществ по сравнению с другими методами, например, отсутствие механического контакта с материалами и адаптивность к потребностям производства, а использование металла в качестве материала уменьшает стоимость производства данных изделий. В данной работе исследовалось влияние энергетических и технологических параметров лазерной установки для получения модельных образцов частей микрофлюидной топологии на поверхности стальной пластины.

Материалы и методы

Эксперименты проводились на металлической пластине из нержавеющей стали толщиной 2 мм, которая подвергалась воздействию прецизионным лазерным маркером “МиниМаркер2” (ООО "Лазерный Центр", Россия) на базе волоконного иттербиевого лазера с длиной волны 1064 нм. Создание чертежа топологических элементов происходило с помощью специализированного ПО MaxiGraf. Лазерное воздействие производилось в несколько этапов, в ходе которых менялись такие параметры обработки, как длительность импульса, частота следования импульсов, скорость сканирования лазерного луча и плоскость фокусировки.

Контроль поперечных размеров структуры осуществлялся с помощью оптического микроскопа “NVMicro” (производитель “NORGAU”, Россия). Измерение ширины канавок происходило в трёх местах: по центру и дополнительно по одному измерению с каждого края структуры. Если у элемента топологии наблюдался “порожек”, то он был измерен идентичным образом. Погрешность измерения составила порядка 1%.

Измерение глубины канавок производилось с помощью высокоточной ручной 3D-измерительной машины Sinowon серии iTouch производства малазийской компании “MSP METROLOGY”. С помощью функции автофокуса изменение фокусного расстояния при попадании линии сканирования с поверхности пластины на дно элементов составляло значение глубины канавок. На каждой канавке производилось 5 замеров, после чего вычислялось среднее значение глубины по всей длине канавки. Погрешность измерений составляла около 1%.

Оценка шероховатости структур проводилась с помощью профилометра Industrial NSRT-100 (производитель “NORGAU”, Россия). Погрешность измерения параметра Ra составила порядка 5%.

Экспериментальные результаты

В ходе многоэтапного воздействия на металлическую пластину ИК-лазером удалось выявить режимы обработки стали для создания экспериментальных канавок шириной порядка 500 мкм и с профилем, близким к полукруглому (Рис. 1). Модельные канавки были получены при значении плотности мощности порядка 10^8 Вт/см^2. На стенках микроканалов видны бороздки соответствующих траекторий сканирования лазерного луча во время создания топологии. По ним можно судить о наличии шероховатостей на структуре, которые могут помешать движению потоков жидкости в каналах.

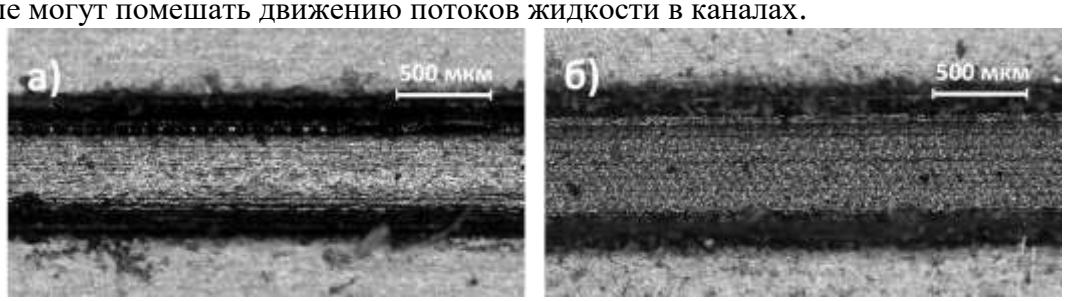


Рис. 1. Фотографии канавки с оксидной пленкой (а) и полученной при расфокусировке канавки (б)

В ходе работы было обнаружено, что в процессе лазерной обработки на дне структур образовывалась оксидная плёнка (Рис. 1. а), которая придаёт цветность стенкам каналов. Этот эффект наблюдается из-за того, что нагретые газы окружающей среды вступают в реакцию с нагретым материалом пластины, образуя на её поверхности оксиды железа и других примесей. Появление оксидной плёнки потенциально может оказать положительный эффект при уменьшении шероховатости стенок каналов за счёт заполнения неровностей слоем оксида.

Для оценки влияния образования оксидной плёнки на шероховатость поверхности было выбрано 12 режимов обработки (Рис. 2.), 9 из которых приводили к образованию оксида, а 3 давали эффект металлического блеска. В таблице 1 представлены данные по измерению шероховатости полученных после лазерной обработки поверхностей.

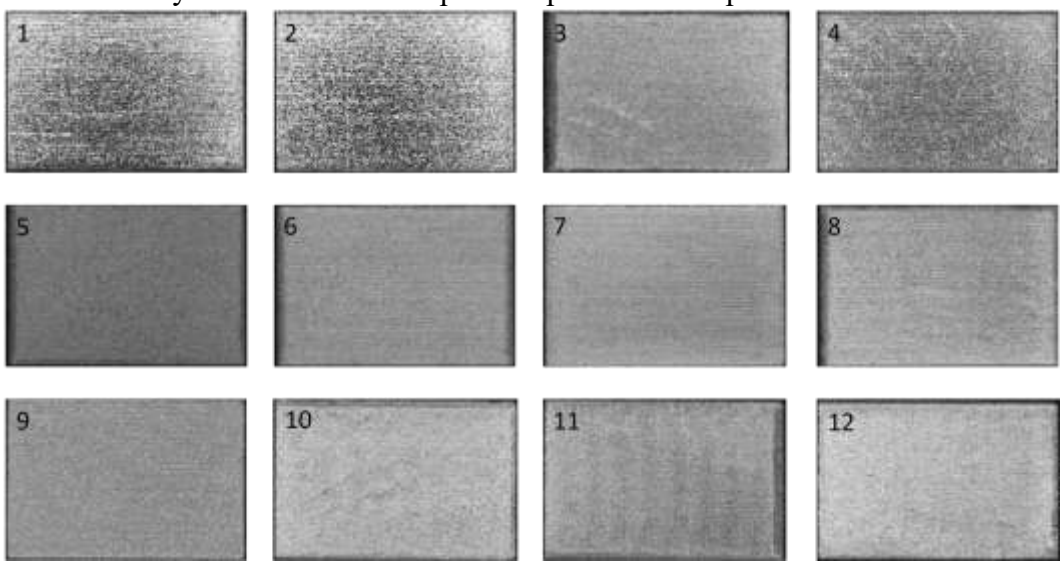


Рис. 2. Режимы обработки структуры

Таблица 1

Шероховатость структур

№	Наличие оксида	Ra, мкм	№	Наличие оксида	Ra, мкм
1	Нет	0,382	7	Есть	0,838
2	Нет	0,400	8	Есть	0,744
3	Есть	0,892	9	Есть	0,903
4	Нет	0,409	10	Есть	0,553
5	Есть	0,831	11	Есть	0,544
6	Есть	0,795	12	Есть	0,648

Как видно из полученных данных, оксидная плёнка приводит к увеличению шероховатости структур, а наличие металлического блеска говорит о более низком значении данного параметра. Таким образом, образование оксида является нежелательным эффектом для технологических задач микрофлюидики.

Также в процессе создания топологических элементов было рассмотрено влияние расфокусировки на структуру микроканала. На Рис. 1 б приведен пример экспериментальной канавки, полученной при расфокусировке излучения. Фокус лазерного луча располагался выше или ниже обрабатываемой поверхности с заданными интервалами по оси z, после чего производилась лазерная обработка. Расфокусировка оказывает незначительное влияние на геометрические размеры каналов, однако визуально увеличивает шероховатость структуры, о чём свидетельствует отсутствие металлического блеска на стенках канавок. Кроме того, стали более видны бороздки, оставшиеся после сканирования поверхности лазерным лучом, что также указывает на увеличение шероховатости поверхности.

С помощью лазерного воздействия удалось просверлить сквозное отверстие в металлической пластине толщиной 2 мм (Рис. 3). Ввиду относительно большой толщины пластины обработка совершалась в несколько этапов, между которыми производилась перенастройка фокуса по мере углубления в пластину для поддержания необходимого значения плотности мощности (10^8 Вт/см^2). Из-за расфокусировки увеличивается диаметр лазерного пятна и уменьшается плотность мощности, что не позволяет быстро и эффективно осуществить перфорацию.

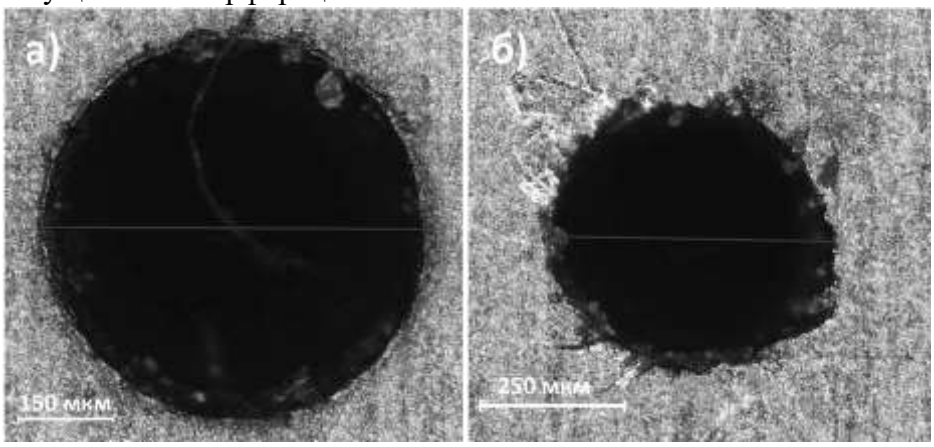


Рис. 3. Сквозной канал с измеренными диаметрами входного (а) и выходного (б) отверстий

Измерение размеров отверстия происходило также при помощи оптического микроскопа. На Рис. 3 видно, что входное отверстие в диаметре около 600 мкм, в то время

как выходное порядка 500 мкм, то есть диаметры отличаются примерно на 100 мкм, что свидетельствует о конусности структуры значением около 0,05.

Заключение

С помощью лазерной обработки излучением ИК-диапазона удалось получить на поверхности нержавеющей стали микроканавки с профилем, близким к полукруглому, глубиной до 500 мкм. Экспериментальные данные позволили выявить существенные факторы, влияющие на результат создания элементов топологии. Так, канавки, полученные в режиме расфокусировки лазерного луча, визуально обладают большей шероховатостью в сравнении с канавками, полученными в режимах с фокусом излучения на поверхности образца и обладающими металлическим блеском. Наличие оксидных пленок также увеличивает шероховатость поверхности, что видно из проведенных экспериментальных измерений.

Многоэтапная лазерная обработка позволила получить сквозные отверстия диаметром до 600 мкм с конусностью порядка 0,05, что удовлетворяет требованиям к входным каналам микрофлюидного чипа, размер которых может составлять от сотен микрометров до нескольких миллиметров.

Список литературы

1. Полдушов М. А. Разработка DIY-установки для капельной микрофлюидики.
2. Berlanda S. F., Breitfeld M., Dietsche C. L. et al. Recent Advances in Microfluidic Technology for Bioanalysis and Diagnostics.
3. Wlodarczyk K. L., Hand D. P., Maroto-Valer M. M. Maskless, rapid manufacturing of glass microfuidic devices using a picosecond pulsed laser.
4. Евстрапов А. А., Лукашенко Т. А., Горный С. Г. и др. Микрофлюидные чипы из полиметилметакрилата: метод лазерной абляции и термического связывания.
5. Посмитная Я. С., Букатин А. С., Макаров Д. А. и др. Альтернативные подходы при создании мастер-форм для изготовления микрофлюидных чипов методом "мягкой" литографии.

ЛАЗЕРНАЯ ОЧИСТКА КОЖИ

НЕЕЛОВА А.Д., ЛЕПЕХИНА Т.К., ЖУРБА Д.В., ПАРФЕНОВ В.А.

Санкт-Петербургском государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)

Аннотация. В данной статье приведены результаты экспериментов по лазерной очистке модельных образцов кожи от биологических загрязнений микромицетами при помощи иттербиевого волоконного импульсного лазера с длиной волны 1,06 мкм. Представлены результаты исследования температуры поверхности кожи при лазерной очистке модельных образцов от микромицетов и исторического артефакта от въевшихся загрязнений.

Ключевые слова: лазерная очистка, наука о сохранении культурно-исторического наследия, применение лазеров, реставрация книг и документов.

Введение

В последние годы лазерные технологии находят все более широкое применение в области сохранения культурно-исторического наследия [1-2]. Определение химического состава, документирование и структурная диагностика произведений искусства являются наиболее распространенными применениями лазерных технологий [3]. Также следует отметить использование лазерного излучения для очистки памятников от поверхностных

загрязнений антропогенного или природного происхождения. В отличие от традиционных методов реставрации, лазерная очистка обладает рядом преимуществ, к числу которых относятся высокая эффективность, точность и скорость удаления загрязнений, а также безопасность лазерного воздействия на обрабатываемый материал.

Наиболее отработанной на сегодняшний день является технология лазерной очистки предметов искусства из камня и металла. Лазерная очистка органических материалов находится на стадии изучения [4-6]. Лазерной очистке предметов культурно-исторического наследия из кожи посвящены лишь отдельные публикации, например [7]. Крайне малоизученным остается вопрос о лазерной очистке кожи от биологических загрязнений микромицетами [8]. Данное обстоятельство связано с тем, что органические материалы, в частности, кожа, являются очень хрупкими, и воздействие на них лазерного излучения требует подробного изучения.

Во время лазерной обработки в ходе процесса фототехнической абляции происходит нагревание материала за счет поглощения излучения веществом [9]. Воздействие высоких температур на кожу может приводить к ее повреждению, обугливанию или дублению (потере эластичности, затвердеванию). Следовательно, контроль температуры поверхности в зоне обработки крайне необходим для предотвращения негативного влияния лазерного излучения на обрабатываемый материал.

В данной статье приведены результаты лазерной очистки кожи от загрязнений микромицетами при помощи иттербиевого волоконного импульсного лазера с длиной волны 1,06 мкм, а также описаны результаты измерения температуры в области лазерной обработки кожи.

Результаты экспериментальных исследований

Модельными образцами в данной работе являются фрагменты кожи крупного рогатого скота размером 20 мм на 20 мм. Образцы были предварительно искусственно заражены спорами микромицета *Aspergillus niger*, а затем помещены в питательную среду, где хранились в течение 1-2 недель для того, чтобы мицелий гриба мог прорасти на поверхности материала образцов. Культура микромицетов выращивалась на агаризированной питательной среде Чапека-Джонаса без источника углерода.

Также объектом исследований являлся фрагмент кожаного переплета книги XIX века, на поверхности которого в процессе его бытования образовались въевшиеся пылевые загрязнения.

Лазерная очистка проводилась при помощи серийно выпускаемого иттербиевого волоконного импульсного лазера с длиной волны 1,06 мкм. Оценка результатов лазерной очистки осуществлялась при помощи оптического микроскопа. Измерения величины температуры кожи в зоне обработки лазерным излучением были выполнены тепловизором Fluke Ti-400 (производство предприятия «Fluke», компания «Danaher Corporation», США).

Стоит отметить, что образцы кожи с биологическими поражениями находились во влажном состоянии из-за выделяемых плесневым грибом ферментов и аккумулята воды. Таким образом, будет справедливо утверждать, что процесс удаления микроорганизмов с поверхности кожи являл собой влажную лазерную очистку.

При проведении экспериментов по удалению микроскопических грибов с поверхности кожи наилучшие результаты были достигнуты при плотности мощности 4 кВт/см^2

Результаты лазерной очистки кожи от микромицетов представлены на рисунках 1 и 2. На поверхности кожи нет видимых повреждений, при этом спор на поверхности кожи не наблюдается, как большей части мицелия гриба. Однако из-за структуры материала, не

исключено, что некоторые фрагменты спор и гифов гриба могли остаться в порах или между ворсинок бахтармы (обратной стороны кожи).

а б

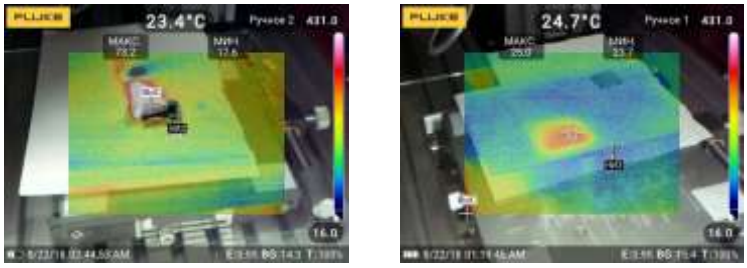
Рис. 1. Снимки оптического микроскопа образца кожи:
(а) – до лазерной очистки; (б) – после очистки от загрязнения плесневым грибом

а б

Рис. 2. Снимки оптического микроскопа образца кожи со стороны бахтармы:
(а) – до лазерной очистки; (б) – после очистки от загрязнения плесневым грибом

Таким образом, лазерная очистка от загрязнений плесневым грибом *Aspergillus niger* показала свою эффективность. В ходе обработки удалось очистить поверхность кожи от мицелия и от спор как с лицевой стороны, так и со стороны бахтармы. Средствами оптической микроскопии было доказано, что видимых повреждений материала нет.

Во время лазерной очистки образцов кожи от микроскопических грибов было произведено измерение температуры поверхности кожи в зоне обработки. До воздействия лазерного излучения температура образца составляла около 18 ºС (рис. 3 *а*). Максимальная температура при обработке кожи от биологических загрязнений достигала примерно 150 ºС при плотности мощности излучения 4 кВт/см². При плотности мощности менее 0,5 кВт/см² температура поднималась до 25 ºС (рис.3 *б*).



а б

Рис. 3. Снимки образцов кожи с микромицетами, полученные при помощи тепловизора Fluke Ti-400

Измерение температуры в области обработки лазерным излучением фрагмента переплета XIX века (рис. 4) производились последовательно от одной области к другой при увеличении плотности мощности (таб. 1). Размер области обработки 10 мм на 10 мм, начальная температура образца около 20 ºС. При значениях температуры выше 80 ºС заметны повреждения кожи, выше 100 ºС кожа начинает темнеть.

Рис. 4. Фрагмент корешка книги XIX века после лазерной очистки

Таблица 1

Результаты измерения температуры кожи в области лазерной обработки

Плотность мощности, кВт/см²	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Температура поверхности образца, ºС	40	56	60	72	77	85	95	104	127

Также измерение температуры проводилось для одной области при увеличении плотности мощности с каждым последующим проходом лазерного пучка (таб. 2). Как и в предыдущем случае, при превышении температуры в зоне очистки 80 ºС наблюдаются повреждения обрабатываемого материала. Удаление въевшихся загрязнений происходило при плотности мощности излучения не превышающем 0,2 кВт/см², что соответствует увеличению температуры поверхности до 40 ºС.

Таблица 2

Результаты измерения температуры кожи в области лазерной обработки

Плотность мощности, кВт/см²	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Температура поверхности образца, ºС	34	36	38	45	50	57	64	76	100

Заключение

Лазерная очистка кожи от плесневых грибов вида *Aspergillus niger* предварительно дала положительные результаты. В ходе очистки удалось произвести удаление мицелия гриба и спор. Средствами оптической микроскопии авторы настоящей работы убедились, что видимых повреждений на поверхности обрабатываемого материала нет.

В ходе данной работы были получены значения температуры в зоне очистки кожи лазерным излучением. При обработке образцов кожи с биозагрязнениями была зафиксирована максимальная температура 150 ºС, однако средствами оптической микроскопии повреждений материала обнаружено не было, но надо учесть, что имела место влажная очистка, так как образцы, зараженные микрогрибами, были пропитаны влагой, которая аккумулируется в процессе жизнедеятельности микроорганизма. При обработке

фрагмента подлинного артефакта установлено, что при температуре выше 80 ºС происходит повреждение материала. Однако для удаления въевшихся загрязнений использовалось излучение с плотностью мощности до 0,2 кВт/см², что соответствует увеличению температуры поверхности до 40 ºС.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что лазерная многоимпульсная обработка поверхности кожи, осуществляемая посредством твердотельного волоконного иттербиевого лазера с длиной волны 1,06 мкм является эффективным и безопасным методом удаления загрязнений с поверхности такого органического материала, как кожа. Однако при выборе между сухой и влажной очисткой следует учитывать характер загрязнений, так как при необходимости работы лазерного излучения при плотности мощности свыше 2,5 кВт/см², как в случае удаления биологических загрязнений, технология влажной лазерной очистки может иметь преимущество перед сухой очисткой, так как можно сделать предположение, что она является более щадящей.

Авторы выражают благодарность заведующей Научно-исследовательского отдела реставрации и консервации фондов Библиотеки академии наук РАН Тилевой Екатерине Анатольевне за помощь в подготовке образцов кожи с биологическими загрязнениями.

Список литературы

1. Fotakis C. Anglos, D., Zafiropulos, V., Georgiou, S., Tornari, V. Lasers in the preservation of cultural heritage: principles and applications. CRC Press, 2006.

2. Cooper M. Laser Cleaning in Conservation: An Introduction. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998.

3. Асмус Д., Парфенов В. А. Лазерные и оптико-электронные методы документирования, анализа и создания копий произведений искусства. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ»., 2016. 160 с.

4. Parfenov V., Galushkin, A., Tkachenko, T., Aseev, V. Laser Cleaning as Novel Approach to Preservation of Historical Books and Documents on a Paper Basis //Quantum Beam Science. 2022. Т. 6. №. 3. С. 23.

5. Neelova A. D., Vasilieva, A. V., Rongonen, S. L., Vasiliev, O. S., Safronov, D. V., Parfenov, V. A. Laser Cleaning of Paper //2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). IEEE, 2022. pp. 1134-1137.

6. Neelova A. D., Shepilova E.M., Nosova E.I., Parfenov V.A., Rongonen, S. L. A study of chemical and mechanical properties of paper under its laser cleaning //St. Petersburg Polytechnic University Journal. Physics and Mathematics. – 2023.V. 69.№. 3.2. pp. 114-119.

7.Batishche S. et al. Simultaneous UV-IR Nd: YAG laser cleaning of leather artifacts // Lasers in the Conservation of Artworks. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007. pp. 221-227.

8.Rybitwa D., Wawrzyk A., Rahnama M. Application of a medical diode laser (810 nm) for disinfecting small microbiologically contaminated spots on degraded collagenous materials for improved biosafety in objects of exceptional historical value from the Auschwitz-Birkenau State Museum and Protection of Human Health //Frontiers in Microbiology. 2020. V. 11. pp. 596852.

9. Парфенов В. А. Физические основы лазерной очистки произведений искусства // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017, №10. С. 62–74.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ НА РАБОТУ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА

Оттыч Д.А., Шевелько М.М., Староверова Я., Попкова Е.С.

Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В данной работе показана актуальность задачи контроля состава газовой среды. Определены методы измерения скорости звука, Исследованы зависимости скорости звука от различных параметров воздушной среды для ультразвукового метода. Разработан и изготовлен действующий макет ультразвукового газоанализатора, разработана управляющая программа для микроконтроллера, проведены эксперименты для анализа точности устройства для выявления превышения опасной концентрации вредного или токсичного вещества в воздухе с целью обеспечения безопасности на стратегических объектах, предупреждения чрезвычайных ситуаций и соблюдения условий безопасности, а также снижения количества терактов и техногенных катастроф, возникающих из-за несвоевременного обнаружения утечек газов и токсичных веществ.

Ключевые слова: газоанализатор, скорость звука, ультразвуковой метод, разработка газоанализатора, влияние температуры

1 Введение

Во всех сферах человеческой деятельности существует риск возникновения чрезвычайных ситуаций, которых можно было бы избежать при своевременном обнаружении первых признаков опасности. К таким ситуациям относятся возникновение или утечка взрывоопасных, токсичных или вредных газов, а также точные сведения о скорости их утечки. Особую опасность с точки зрения невозможности своевременной регистрации представляют газы, которые не имеют цвета и запаха, например, природные газы, и не могут быть обнаружены органолептическим методом. Если своевременно не обнаружить утечку данных веществ, это может привести к серьезным последствиям. Для обнаружения опасных веществ, а также качественного или количественного анализа их концентрации, с целью предупреждения техногенных катастроф и террористических актов, а также индивидуальной защиты человека используются газоанализаторы. Оптимизация параметров данных устройств является актуальным вопросом, поскольку повышение безопасности труда, обеспечение безопасности стратегических объектов и предупреждение чрезвычайных ситуаций является важнейшей задачей.

К одному из главных недостатков современных газоанализаторов можно отнести достаточно большое время установления показаний. Из-за данного недостатка многие устройства не успевают обнаружить превышение концентрации опасного вещества, что приводит к возникновению чрезвычайной ситуации или отравлению человека. Кроме того, газоанализаторы имеют ограниченный набор анализируемых газов. Поэтому для достаточно полного контроля состава воздушной среды необходимы несколько устройств, направленных на анализ разных веществ. В связи с этим актуальной научно-технической задачей является поиск альтернативных физических принципов анализа состава газовой среды.

Разрабатываемый ультразвуковой газоанализатор подразумевает ряд существенных конкурентных преимуществ по сравнению с альтернативными решениями:

Высокая чувствительность за счет использования резонансного метода определения скорости распространения акустической волны в газовой смеси;

Малое время измерений за счет использования в качестве информативного сигнала изменения скорости распространения ультразвука в газовой смеси;

Отсутствие необходимости использования вспомогательных химических веществ (реактивов, индикаторов) и дополнительных систем (спектрометр, ионизатор и пр.) в процессе проведения измерений, что позволяет осуществить разработку в портативной форме с высокой автономностью работы;

Возможность оперативной перенастройки устройства на обнаружение другого вещества без изменения в конструкции, что делает разрабатываемое устройство универсальным с точки зрения отрасли и сферы применения.

Поскольку в последние годы заметен рост взрывов квартир в следствие утечки газа, в Госдуме предложили массово устанавливать датчики утечки газа. Поэтому актуальность разработки ультразвукового газоанализатора возрастает.

2 Ультразвуковой метод

Деятельность большинства предприятий так или иначе тесно связана с образованием вредных веществ, загрязняющих воздух. Образование этих веществ происходит как в самих технологических процессах, так и вследствие эксплуатации оборудования. Таким образом, в реальных условиях в производственных помещениях практически не бывает чистого воздуха.

Ультразвуковой метод заключается в контроле скорости ультразвука в воздушной среде, при этом непосредственно изменение скорости и является информативным параметром, по которому судят о концентрации вещества в воздушной среде. Сам метод заключается в излучении ультразвуковых волн в контролируемую воздушную среду с их дальнейшей регистрацией и анализом после прохождения сквозь газовую среду.

Соотношение относительной концентрации газов в среде является основной характеристикой, влияющей на скорость звука. Зависимость скорость звука от концентрации добавленного вещества имеет вид:

$$c = \sqrt{\frac{RT}{\gamma M + (1-\gamma)M'} \cdot \frac{\gamma C_p + (1-\gamma)C'_p}{\gamma C_v + (1-\gamma)C'_v}} \quad (1)$$

где c – скорость звука;

γ – концентрация газа в воздухе;

M – молекулярный вес газа;

M '– молекулярный вес воздуха;

Cp', Cp – удельные теплоемкости, соответственно, воздуха и газа при постоянном давлении;

Cv', Cv – удельные теплоемкости, соответственно, воздуха и газа при постоянном объеме;

R = 8.314 Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная;

T – температура (К).

Зависимость (1) впервые выявили Диксон и Гринвуд. Данная зависимость является основной для описания состава газовой смеси. Однако зависимость накладывает ограничение на выявление лишь одного компонента в среде, но не накладывает ограничений на выбор анализируемого компонента.

Температура также оказывает большое влияние на скорость звука в воздушной среде. Зависимость скорости звука от температуры описывается следующим выражением:

$$c = \sqrt{\frac{\chi RT}{M}} \qquad (2)$$

где χ – отношение удельных теплоемкостей при постоянных объеме и давлении;
M – молекулярный вес газа.

Выделяют два метода измерения скорости звука: импульсный и резонансный. В данной работе используется резонансный метод измерения скорости звука. Главным физическим эффектом для резонансного метода является образование стоячих волн.

На основе ультразвукового метода был разработан и изготовлен макет газоанализатора, структурная схема которого представлена на рисунке 1:

Рис. 1. Структурная схема разработанного ультразвукового прибора для анализа состава газовой среды

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: ИП – излучающий преобразователь; ПП – приемный преобразователь; УВЧ – усилитель высоких частот; УНЧ – усилитель низких частот; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер.

МК является основным вычислительным, который хранит и обрабатывает информацию, а также генератором , который выдает сигнал нужной частоты. Этот сигнал усиливается в усилителе и подается на излучающий преобразователь, который посылает в акустическую ячейку ультразвуковой сигнал. Этот сигнал проходит сквозь анализируемую среду и принимается приемным преобразователем, после чего полученный сигнал попадает в приемный тракт, состоящий из усилителя высокой частоты, детектора, фильтра и усилителя низкой частоты. Далее сигнал оцифровывается в АЦП и обрабатывается МК.

Так как помимо состава на скорость звука в среде сильно влияет температура, то к акустической ячейке прикреплен термодатчик, который считывает температуру и передает показания в МК.

3 Влияние температуры на работу устройства

Так как помимо состава среды на скорость звука оказывает значительное влияние температура, то необходимо оценить это влияние. Для проведения эксперимента устройство помещается в герметичную емкость для обеспечения постоянного состава воздуха. После чего плавно изменяется температура среды и считываются показания. Для определения большинства опасных газов требуется определять скорость звука с точностью не более 0.1%, то есть отклонение скорости звука не должно превышать 0.3 м/с.

На рисунке 2 представлен полученный в ходе эксперимента график зависимостей теоретической и экспериментальной скоростей звука от температуры:

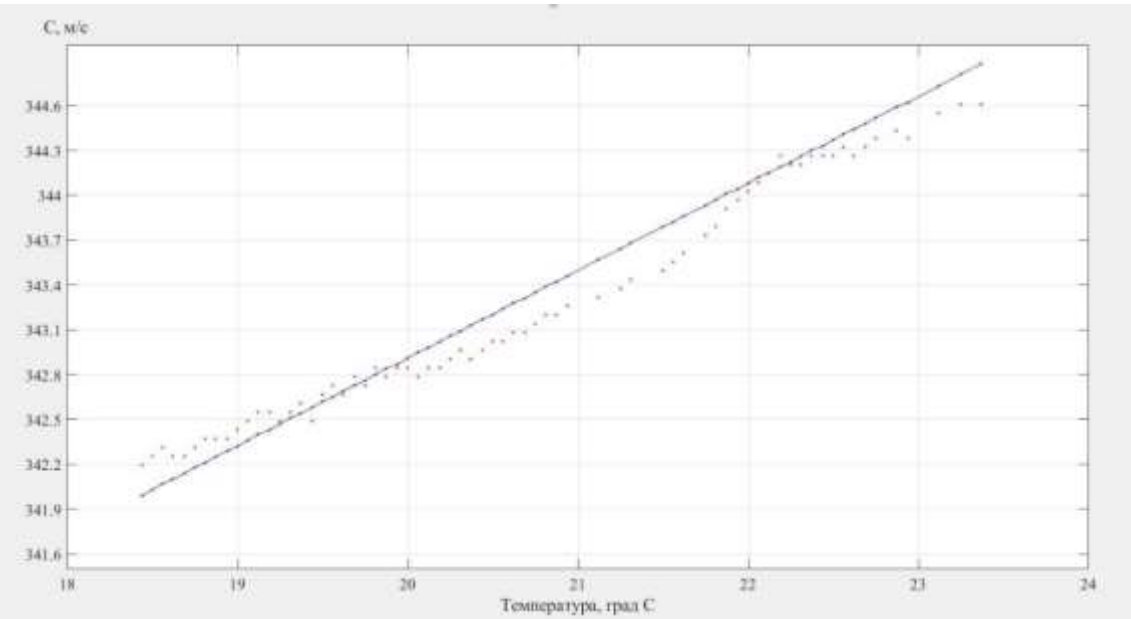


Рис. 2. Зависимость теоретической и практической скоростей звука от температуры

Анализируя полученные зависимости на рисунке 2, где сплошная линия – теоретическая, точки – практическая зависимости скоростей звука, можно сказать, что разработанный макет удовлетворяет требованиям по точности.

4 Заключение

В ходе исследований распространения звуковых колебаний была показана возможность использовать параметр изменения скорости звука для определения опасных концентраций вредных веществ в воздушной среде. Был разработан макет ультразвукового газоанализатора, точность которого по результатам эксперимента удовлетворяет требованию в определении скорости звука до 0.3 м/с.

Список литературы

1. Другов Ю.С., Беликов А.Б., Дьякова Г.А., Тульчинский В.М. Методы анализа загрязнений воздуха. М.: Химия, 1984 г.- 384 с., ил.
2. Радж Балдев, Раджендран В., Паланичами П. Применение ультразвука. Москва: Техносфера, 2006 г.
3. Красильников В.А. Звуковые и ультразвуковые волны в воздух, воде и твердых телах. Москва, 1969 г.
4. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. / Изд. 6-ое./ М.: Мир, 2003. – 704с., ил.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОВИСАНИЯ НИТИ ФИЛАМЕНТА

З.П. Пархомчук, И.И. Титова, И.Д. Багин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина)»

Аннотация. Данная статья посвящена разработке устройства контроля провисания нити филамента на производстве. В работе рассматривается математическая модель цепной линии, которая описывает

форму нити филамента на производственной линии. Приводится описание работы контроллера провисания, который, используя математическую модель, реализует в системе обратную связь. Данные используются для управления скоростью намотчика и для оповещения оператора. Приведены структурные схемы устройства, используемая компонентная база.

Ключевые слова:производство филамента, 3d печать, цепная линия.

Введение

В настоящее время 3D печать бурно развивающаяся технология аддитивного производства. Данная технология применяется во многих сферах жизнедеятельности человека: в строительстве и архитектуре, в различных областях производства, в медицине. Принцип 3D печати состоит в послойном нанесении материала в соответствии с графикой среза, и сборе данных слоев в единый объект. Наибольшее распространение в качестве материалов получили различные типы пластмасс разной жесткости, которые представлены в форме филамента, то есть нити различного сечения. Производство филамента осуществляется методом экструзии, при котором нить филамента получают путем продавливания расплавленной пластмассы через формирующее отверстие. После прохождения филамента через формирующее отверстие производится намотка нити на катушку. Данный процесс требует участия оператора, который задает скорость намотки филамента и при заполнении катушки меняет её на пустую. Производимый в процессе замены катушки филамент накапливается в аккумуляторе, скорость вала которого синхронизирована со скоростью ролика протяжки.

При производстве филамента из мягких материалов невозможно использовать из-за необратимого растяжения филамента. В таком случае, оператор вынужден регулировать скорость намотчика вручную, что в свою очередь приводит к появлению брака и снижению скорости производственной линии.

Для решения этой проблемы было разработано устройство контроля провисания нити. Контроллер, используя лазерный дальномер и математическую модель, определяет положение нити и скорость изменения её длины. Данные о скорости позволяют реализовать регулятор с обратной связью для управления скоростью намотчика, упрощая тем самым работу оператора. Помимо этого, контроллер имеет светозвуковой индикатор, оповещающий оператора о критическом натяжении или обрыве филамента.

Математическое описание формы нити.

Задача выглядит следующим образом. Известны координаты произвольной точки на кривой, описывающей форму нити филамента: x - задается при монтаже контроллера, y - измеряется датчиком. По известной координате нужно вычислить длину нити между точками опоры. Зная длину нити в последовательные моменты времени, можно найти скорость изменения длины нити, которая пропорциональна разности угловых скоростей катушек. Таким образом будет введена обратная связь, что позволит добавить в систему регулятор.

Форма нити филамента на рассматриваемом участке установки описывается уравнением цепной линии:

$$y = a \cdot \cosh(x/a) \quad (1)$$

a – параметр, характеризующий отношение сил в продольном направлении к удельному весу.

Цепная линия - линия равновесия абсолютно гибкой и нерастяжимой однородной нити, находящейся в поле силы тяжести.

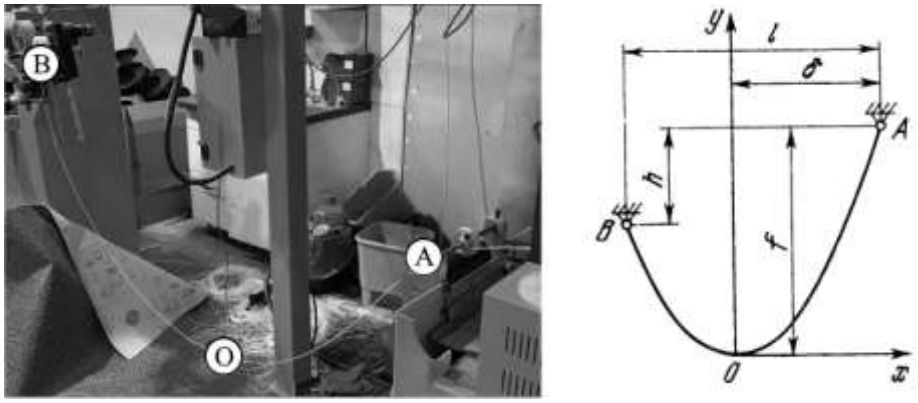


Рис. 1

Так как точки опоры в реальности несимметричны, требуется добавить параметры p и q, задающие смещения в системе координат:

$$y = a \cdot cosh\left(\frac{x-p}{a}\right) + q \quad (2)$$

Параметры p и q связывают свойства нити и положение точек опоры:

$$p = \left(x_1 + x_2 - a\ ln((L+h)/(\mathrm{L}-\mathrm{h}))\right)/2 \quad (3)$$

$$q = (y_1 + y_2 - L\ coth(l/(2a))/2 \quad (4)$$

Остается неизвестным только параметр a – его можно получить, решив трансцендентное уравнение:

$$\sqrt{L^2 - h^2} = 2a\ sinh(l/(2a)) \quad (5)$$

Алгоритм решения для симметрично расположенных точек опоры:

1. Известны:
   - x - определяется положением контроллера
   - l, h, $(x_1; y_1)$, $(x_2; y_2)$ - определяются положением точек опоры
2. Измерена: y – вертикальная координата точки на кривой филамента
3. Вычисление параметра a: решение трансцендентного уравнения (1)
4. Вычисление длины нити L: решение уравнения (5)
5. Вычисление разности линейных скоростей катушек: $\Delta L/\Delta t = v_B - v_A$
6. Регулятор вычисляет управляющий сигнал

Разработанное устройство

В качестве питания контроллер использует блок с выходным напряжением 12 В. Основным элементом данной схемы является микроконтроллер STM32F4, который связан с ИК дальномером VL53. Дальномер определяет положение каретки с филаментом, относительно границ, заданных при настройке устройства.

Микросхема памяти EEPROM используется для записи калибровочных коэффициентов, определяемых на этапах сборки контроллера и монтажа в линию. Данные коэффициенты используются для задания положения опор нити филамента, задания граничных условий положения каретки, без перепрошивки устройства. Схема рассчитывает скорость намотки катушки, определяя положение нити филамента, и подстраивает скорость намотки таким образом, чтобы нить принимала усредненное значение. Структурная схема устройства представлена на рис. 2.

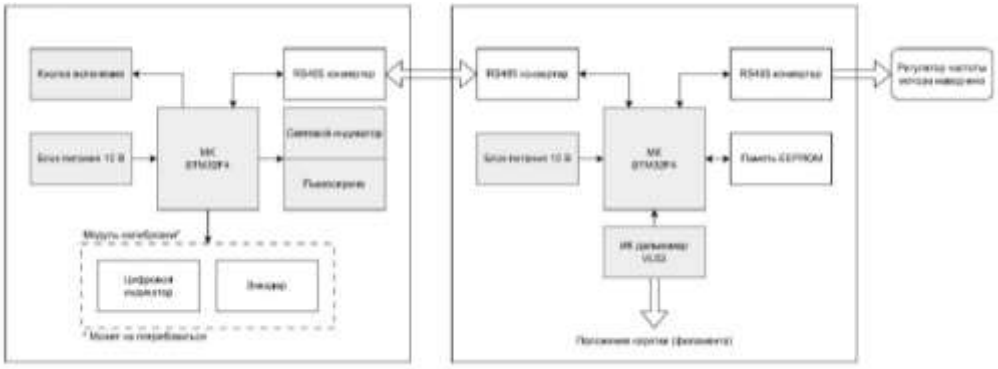


Рис. 2. Структурная схема контроллера положения нити филамента и регулятора скорости намотки.

Контроллер основан на 32-битным микроконтроллере STM32F411CU, использующим ядро Cortex-M4F, с максимальной частотой 84 МГц. Микроконтроллер имеет встроенный блок для выполнения математических операций над числами с плавающей точкой (FPU). Выбор обусловлен невысокой ценой отладочных плат и широким набором инструментов, предоставляемых производителем.

В качестве дальномера используется ИК лазерный дальномер VL53L0X. Данный дальномер является одним из самых маленьких датчиков для измерения расстояния. Дальномер закреплен сверху устройства и производит оценку расстояния до каретки с филаментом. Принцип действия заключается в измерении времени прохождения лазерного луча от источника излучения до каретки и возвращении отраженного луча в приемник.

В качестве объекта, по которому проводится измерение, используется каретка с закрепленной на ней нитью. В устройстве используется каретка MGN12C, которая не имеет предварительного натяжения. Выбор данной каретки обусловлен тем, что она имеет маленькие размеры и вес, что приводит к тому, что нить не растягивается при изменении положения каретки. Для крепления филамента к каретке был спроектирован крутящийся валик, который закрепляется на каретке. Крепление валика к каретке изображено на рис. 3. Для защиты устройства от механических воздействий и повышения точности измеряемого расстояния был спроектирован кожух, изготавливаемый посредством 3D печати. Изображение корпуса в сборе представлено на рис. 4. Крепление к намоточной линии осуществляется при помощи кронштейна.

Работа устройства осуществляется следующим образом, после интеграции устройства в производственную линию и первичной настройки, происходит запуск производственной линии. В начале каретка находится в нижнем положении, контроллер подает управляющий сигнал на намотчик. Скорость намотчика увеличивается до тех пор, пока не будет зафиксировано движение каретки вверх. По достижении среднего положения каретки, скорость намотчика снижается, с целью синхронизировать скорость намотчика и роликов протяжки. Режим синхронизации сохраняется до тех пор, пока оператор не нажмет на кнопку “СТОП”. После нажатия выдается сигнал об остановке намотчика, оператор меняет катушку, после чего нажимает кнопку “ПУСК”. Каретка снова находится в нижнем положении, процесс повторяется.

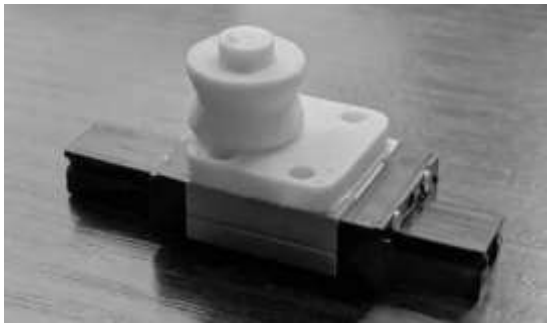


Рис. 3. Устройство для крепления филамента к каретке.

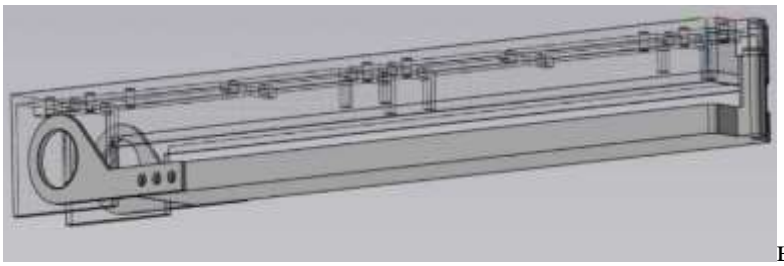


Рис. 4. Защитный кожух.

Список литературы

1. Меркин Д.Р. Введение в механику гибкой нити. М.: «Наука». 1980. 240 с.
2. STMicroelectronics. STM32F401x Reference Manual.
3. STMicroelectronics. VL53L0X Datasheet.
4. STMicroelectronics. AN5894 Application Note. Description of the fields of view of STMicroelectronics' Time-of-Flight sensors.
5. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. М.: «Бином». 2016. 704 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДОВ ДЛЯ РУДНИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Р. Е. САЙБЕКОВ, В. С. СОРОКИН, Н.А. ТУПИЦКАЯ

Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II,

г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы, посвящённые использованию светодиодов (СИД) для организации освещения шахт и рудников. Проведены исследования спектральных характеристик СИД разной цветности, позволяющие оценить качества СИД для их использования на шахтах и в рудниках. Приведены результаты исследования монолитно интегрированного излучателя для использования в шахтах.

Ключевые слова: светоизлучающий диод, рудничный источник света, спектр излучения, монолитно интегрированный излучатель.

Одним из важных аспектов улучшения условий труда и повышения его комфортности на рудниках и в шахтах является создание эффективной системы освещения. Тяжелые условия работы, повышенные требования безопасности формулируют ряд требований к рудничным источникам света.

К ним, в частности, относятся требования устойчивости к воздействию высоких температур и повышенной влажности. Светильники должны гарантировать защищенность персонала рудника от возгораний и взрывов. Кроме этого, следует исключить световой дискомфорт, а именно явления ослепленности, блескости отраженного света и стробоскопический эффект [1].

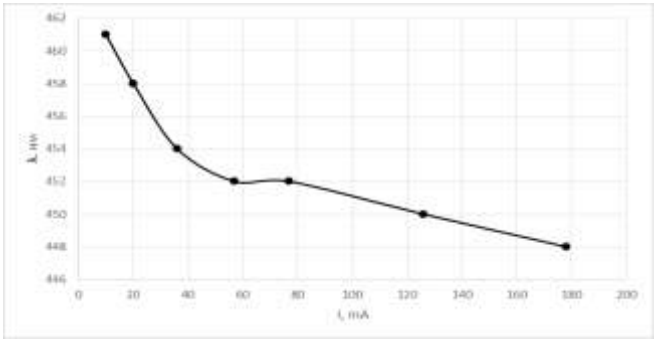
Всем этим требованиям в полной мере отвечают светильники, изготовленные на основе светодиодов (СИД). К их достоинствам можно добавить большой срок службы - до 50 тыс. часов в лучших моделях; отсутствие в конструкциях ламп токсичных, вредных для здоровья человека материалов - ртути, свинца, кадмия; небольшой нагрев колбы (не выше 50-60°С), что позволяет избегать ожоговой и пожарной опасности. При этом значение коэффициента пульсации не превышает 20% .

Одно из существенных достоинств светодиодных источников освещения - экономия электроэнергии, что повышает энергоэффективность всей системы освещения. При том же количестве излучаемого света светодиодная лампа потребляет в 7-10 раз меньше электроэнергии, чем обычная лампа накаливания [2].

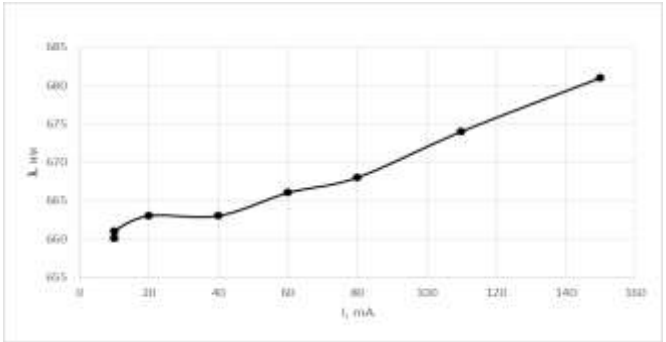
Современная тенденция использования светодиодного освещения шахт и рудников побудила студентов Горного университета провести ряд исследований светодиодов.

Современные СИД изготавливаются из гетероструктур, полученных на основе твёрдых растворов соединений A_3B_5. Они охватывают практически весь спектр видимого излучения, а также область ультрафиолета (УФ) и инфракрасную (ИК) область спектра. Длина волны излучения определяется шириной запрещённой зоны полупроводниковой структуры.

Максимальная (пиковая) длина волны излучения является важной характеристикой СИД: она определяет цветность света, испускаемого светодиодом.



а



б

Рис. 1. Зависимость пиковой длины волны от силы тока

(а –голубой, б – красный)

Мощность излучения также важна для потребителя, а она, в свою очередь, зависит от уровня потребляемой электрической мощности, главным образом, от силы тока, протекающего через СИД. Поэтому мы сочли важным провести исследование спектральных характеристик различных СИД в зависимости от силы тока.

Измерения осуществлялись с помощью спектрофотометра UPR tek MK 350N. В качестве исследуемых образцов использовались светодиоды, излучающие в красной, зелёной и голубой области спектра. Измерения проводились в режиме постоянного тока, поэтому диапазон токов был ограничен величиной порядка 200 миллиампер, чтобы избежать перегрева структур. На графиках представлены типовые зависимости максимальной (пиковой) длины волны излучения от силы тока для СИД разной цветности.

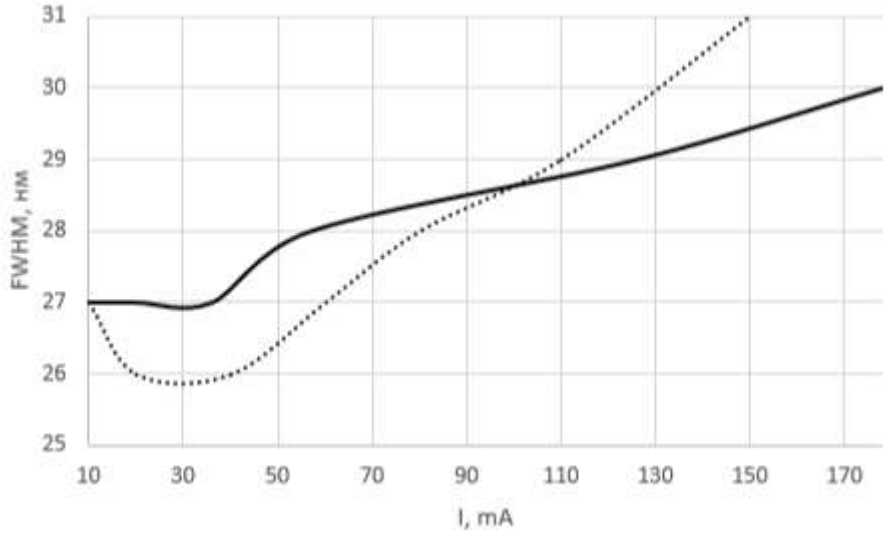


Рис. 2. Зависимость пиковой длины волны от силы тока

(пунктир – голубой диод, сплошная – красный)

Из полученных графиков видно, что характер зависимостей для красных и голубых СИД различается, так как обусловлены разными механизмами. СИД, излучающие в красной области спектра, изготавливаются на основе твёрдых растворов AlGaAs или AlGaInP. Возрастание силы тока через СИД сопровождается саморазогревом активной области – её температура растёт. Ширина запрещённой зоны в этих полупроводниках сокращается (по экспериментальной формуле Варшни), что приводит к увеличению длины волны излучения СИД.

Для зелёных и голубых светодиодов, изготовленных на основе гетеропереходов в системе твёрдых растворов AlGaInN, наблюдается обратная картина: длина волны уменьшается с ростом силы тока. Основные причины такой зависимости заключается в экранировке неравновесными носителями тока внутренней поляризации [3]. Из приведённых зависимостей видно, что смещение пиковой длины волны для красного СИД составляет 20 нм в диапазоне токов 10 – 160 мА; для зелёного диода 11 нм при измерении силы тока от 20 до 150 мА и 13 нм в случае голубого СИД (ток менялся от 10 до 180 мА).

Можно сделать вывод, что смещение пиковой длины волны в вышеуказанном диапазоне значений силы тока не является очень существенным и не должно приводить к изменению цветности СИД.

На рисунке 2 представлены зависимости полуширины спектра (FWHM) от силы тока для двух диодов – красного и голубого. С ростом силы тока полуширина растёт, что

обусловлено уже упомянутой зависимостью ширины запрещённой зоны от температуры: у голубого диода этот рост наступает позже, что не противоречит вышеизложенным механизмам.

Мы также исследовали светодиодный источник света, специально изготовленный для использования в шахтах, который представлял собой монолитно интегрированный излучатель, изготовленного на базе одного светодиода [4]. Были произведены измерения спектральных и люминесцентных характеристик с помощью спектрофотометра UPR tek MK 350N. Значение освещённости, полученное на этом источнике, составило величину 1,8·103 люкс. При этом потребляемая мощность была равна примерно 240 милливатт, что очень важно для источников излучения, который используется в шахтах и на рудниках.

Был также определён индекс цветопередачи, показывающий, как выглядят цвета под светодиодным источником света по сравнению с солнечным светом. Для нашего источника света индекс цветопередачи оказался равным 72, что является высоким показателем качества светильника. (Индекс цветопередачи, равный 100, означает, что цвета под данным источником света выглядят такими же, как при естественном солнечном свете).

Таким образом, светодиодное освещение шахт и рудников - это путь к улучшению условий трудной и опасной работы шахтеров.

Список литературы:

1. Кутепов А.Г. Современный подход к устройству освещения в подземных горных выработках // Горный информационный аналитический бюллетень. - 2014. - №1. - С. 304-310.

2. Никулина Д.Э., Тупиков Д.Д., Тупицкая Н.А. Применение светодиодов для создания рудничных источников света // Проблемы минерально-сырьевого комплекса глазами молодых ученых: Материалы Всероссийского научно-образовательного семинара обучающихся. / Санкт-Петербургский горный университет. СПб.- 2023. – С. 125 – 129.

3. Закгейм, А. Л. Светодиоды и их эффективное применение/ А.Л. Закгейм // Москва изд. «Светотехника» 2021 г. с.51-52; с. 115-120.

4. Светодиодный излучающий модуль [Текст]: пат.RU RU 120747, МПК F21S13/00.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БОРТОВОЙ ИИС КОНТРОЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ТРАНСПОРТНОГО ОБЪЕКТА. ОБЗОР, КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

В. В. Алексеев[1], Н. В. Орлова[2], В. А. Саранцева[3], Г. В. Нификоров

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина)»

Аннотация. Рассматриваются вопросы актуальности разработки алгоритмического обеспечения бортовой ИИС контроля распределенного объекта, направленного на повышение точности измерений и анализ метрологических характеристик средств измерений.

Ключевые слова: бортовая информационно-измерительная система, алгоритмическое обеспечение бортовой ИИС.

Введение

Распределенная транспортная система (РТС) – совокупность инфраструктур, распределенных по территориям государств, составные части, которой работают на

достижение одной и той же цели: удовлетворение транспортной потребности при минимальных затратах.

Стратегия научно-технического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года основана на реализации основных задач инновационного развития путевого комплекса: развитие тяжеловесного и высокоскоростного движения; планируемым увеличением срока службы верхнего строения пути до 2,5 млрд т брутто пропущенного тоннажа, что в разы больше существующих нормативных показателей; сокращение эксплуатационных затрат; расширение полигона укладки бесстыкового пути с рельсами мирового уровня качества на железобетонных шпалах с упругими рельсовыми скреплениями [1].

Развитие РТС определено и с решением каждой поставленной задачи будут усложняться процессы контроля состояния и управления, что предопределяет возникновение новых задач в области информационно измерительных и управляющих систем (ИИУС), разработки алгоритмического обеспечения измерения, анализа и поддержки управляющих решений. Следовательно, актуальность темы, направленной на повышение точности измерений и анализ метрологических характеристик средств измерений, является бесспорной.

Для подтверждения актуальности поставленной задачи проведем анализ имеющихся решений в данной области и смежных областях за продолжительный период времени. Для этого обратимся к опубликованным патентам.

Обзор существующих патентов

Одной из составляющих РТС является бортовая ИИС – совокупность средств измерений, размещенных на борту транспортного средства, например для железной дороги, на борту локомотива.

Разработкой способов автоматического выявления дефектов рельсового полотна активно занимались уже в 1980-х годах. Так 15.01.1984 г. был опубликован патент на «способ автоматического выявления дефектов поверхностей катания колес при движении рельсового подвижного состава». Целью данного изобретения является повышение эффективности выявления дефектов по сравнению с уже известным способом определения, основанным на вертикальных виброускорениях рельса с помощью акселерометра и преобразовании их в электрические сигналы [2].

Позже, 05.10.2018 был опубликован патент на «способ обнаружения дефектов в рельсах», который предлагает вариант обнаружения дефектов разной ориентации в продольном сечении в окрестности плоскости симметрии рельса (головке, шейке и подошве) малогабаритным датчиком многоканального ультразвукового дефектоскопа. По сравнению с предыдущими смежными изобретениями, данный способ позволяет определить те дефекты, которые расположены в рельсе вертикально и их не обнаруживают действующие средства дефектоскопии [3].

В области бортовых автоматизированных систем и их алгоритмического обеспечения также был опубликован ряд патентов. Рассмотрим некоторые из них.

В 1998 году был опубликован патент на «способ контроля состояния рельсового пути и устройство для его осуществления». Данное изобретение не первое в своем роде. В прототипах данного изобретения можно выделить следующие недостатки: повышенный износ измерительного оборудования и малая скорость движения путевой машины (около 40 км/ч), недостаточная точность и достоверность контроля. Данный патент (RU 2114950 C1) предлагает изобретение, позволяющее при движении вагона-путеизмерителя со

скоростью до 250 км/ч измерить с высокой точностью и достоверностью истинные геометрические параметры пути и вычислить не только принятую в настоящее время совокупность отклонений геометрических параметров рельсового пути от заданных, но и более совершенные комплексные характеристики динамического взаимодействия рельсового пути и подвижного состава [4]. Однако, помимо достоинств данный мобильный комплекс имеет недостаток, состоящий в невозможности получить текущие значения силовых факторов динамического взаимодействия подвижного состава при измерении геометрических размеров железнодорожного пути, кроме того, не измеряются текущие значения профиля пути. Решение недостатка представляемого изобретения нашло себя в патенте от 20.02.2012 года «Мобильный комплекс для диагностирования железнодорожного пути», технический результат которого заключается в расширении области использования мобильного комплекса за счет измерения профиля железнодорожного пути на участках его подъема и опускания [5].

Позже было опубликовано не мало смежных патентов, например, патент от 20.07.2013 г. «Мобильный измерительный комплекс автоматики и радиосвязи» [6], патент от 10.10.2016 г. «Бортовая автоматизированная система контроля объектов железнодорожной автоматики и телемеханики» [7], патент от 09.04.2019 г. «Бортовое устройство для диагностики состояния рельсового пути» [8] и т.д.

Представленные изобретения рассматривают различные способы обнаружения дефектов и варианты систем для их контроля, но ни в одном из них не реализован метрологический анализ, что является очень важной частью для обеспечения качества измерений в технологических процессах при контроле и управлении технологическими параметрами.

Обзор систем контроля распределенного объекта

Рассмотрим существующие на данный момент реализованные системы контроля распределенного объекта.

В 2015 году в рамках совместного проекта с ОАО «РЖД» и компанией Siemens была представлена автономная информационно-измерительная система контроля геометрии пути и рельсов «ИНФОТРАНС-Веларо Rus», которая была установлена на высокоскоростном пассажирском электропоезде «Сапсан» без вмешательства в его штатные системы и без потери пассажирских мест. Данная система оснащена обзорным видеонаблюдением, многофункциональной инерциальной бесконтактной измерительной системой, стойкой аппаратуры обработки данных, видеоконтролем и системой контроля габарита верхнего строения пути, а также системой контроля геометрии контактной сети [9].

Информационно-измерительная система работает полностью в автономном режиме и не требует участия оператора. Наиболее важная информация, получаемая в ходе проезда, автоматически пересылается по выделенному радиоканалу заданным потребителям для оперативного принятия управленческих решений.

Второй подобной системой стала ИИС «ИНФОТРАНС-Ласточка», которая установлена на одном из электропоездов «Ласточка», отличающаяся широкой номенклатурой установленных систем, необходимых для эффективной и достаточной диагностики состояния железнодорожной инфраструктуры. Это системы контроля состояния геометрии пути и рельсов, видеоконтроля строения пути с автоматической расшифровкой видеоданных, контроля контактной сети, системы пространственного сканирования и

обзорного видеонаблюдения. Также, в данном комплексе предусмотрена система контроля экологических параметров, включая радиационный контроль.

Аналог такой системы, адаптированной под требования железной дороги Швейцарии Zentralbahn и метровую колею был разработан и поставлен в 2018 году. Аппаратура измерительной системы была адаптирована для работы в специфических условиях горной железной дороги. Для этого в состав автономной диагностической системы были установлены оптические датчики с расширенным полем зрения, приняты специальные меры по предотвращению запотевания стекол защитных бленд. Также для выполнения требований нормативной документации были доработаны алгоритмы обработки измерений.

Представленные комплексы предоставляют данные измерений, которые обрабатываются в системе «ЭКСПЕРТ», обеспечивающей наглядную визуализацию, интерпретацию диагностических данных, а также мониторинг состояния пути. Однако, как и в представленных патентах на изобретения, в данных системах отсутствует метрологический анализ средств измерений в реальном времени.

Постановка задач для дальнейшей работы в данной области

Все представленные выше изобретения содержат измерительные системы, которые позволяют контролировать состояние железнодорожного пути.

В процессе работы системы изменяются не только характеристики контролируемого объекта (величины дефектов железнодорожного полотна), а также метрологические характеристики измерительных каналов, которые вносят свой вклад в результат измерения. Поэтому, важной задачей является организация метрологического обеспечения средств измерений бортовой ИИС, своевременного обнаружения метрологического отказа средства измерений и вывода его на очередную калибровку.

Данная задача може быть решена на основе создания цифровых двойников распределенного в пространстве объекта (железнодорожной транспортной системы), Цифровых моделей базовых элементов и их совокупности, которые удобно создавать с использованием геоинформационной технологии. В качестве ключевого элемента таких систем может служить понятие – геотаксон. Геотаксон – это территориальная единица, обладающая своими техническими, технологическими, экологическими и др. характеристиками.

Для реализации поставленной цели были определены первоначальные задачи:

– определение понятия геотаксона применительно к решаемой задаче;

– выделение важных признаков и разработка классификатора геотаксонов;

– разработка математических моделей каждого класса геотаксонов;

– создание библиотеки цифровых моделей геотаксонов;

– разработка алгоритмов формализации задачи на основе геоинформационной технологии;

– разработка алгоритмического обеспечения описания распределенной транспортной системы (РТС) в виде множества геотаксонов, базы геоданных;

– разработка алгоритмов анализа результатов измерений с целью разделения технических и метрологических отклонений. Разделение множества результатов контрольных измерений информативных характеристик на независимые подмножества;

– разработка алгоритмов анализа результатов, идентификации ситуации, выделения технических и метрологических отказов, прогнозирование, предотвращение аварий;

– разработка геоинформационного проекта автоматизированного расчета, анализа, идентификации отказов и предупреждения аварий.

Заключение

В результате реализации поставленных задач, полученное алгоритмическое обеспечение бортовой информационно-измерительной системы позволит увеличить точность проводимых измерений в реальном времени, а также повысит надежность принимаемых решений по управлению контролируемым объектом и работой измерительной системы.

Список литературы

1. Распоряжение ОАО «РЖД» от 17.04.2018 г. №769/р «Об утверждении стратегии научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга)».
2. Образцов В. Л. Патент №1066866 СССР, МПК B61K 9/12 (2006.01). Способ автоматического выявления дефектов поверхностей катания колес при движении рельсового подвижного состава: № 3435297: заявл. 10.05.1982 : опубликовано 15.01.1984 – 3 с.
3. Марков А. А. Патент №2668941 Российская Федерация, СПК G01N 29/04 (2006.01), B61K 9/08 (2006.01). Способ обнаружения дефектов в рельсах: №2018100374 : заявл. 09.01.2018 : опубликовано 05.10.2018 – 11 с.
4. Новиков А.К., Кулешов П.Н., Зензинов Б.Н., Глазков М.А., Гусев И.В., Иоффе И.С., Тимашов А.П. Патент №2114950 Российская Федерация, МПК E01B 35/00 (2006.1), B61K 9/08 (2006.01). Способ контроля состояния рельсового пути и устройство для его осуществления: №97113196/28 : заявл. 30.07.1997 – 16 с.
5. Абрамов А.Б., Ададуров С.Е., Иконников Е.А., Миронов В.С., Раков В.В,, Розенберг Е.Н., Розенберг И.Н. Патент №2442713 Российская Федерация, МПК B61K 9/08 (2006.01). Мобильный комплекс для диагностирования железнодорожного пути: №2010139115/11 : заявл. 23.09.2010 : опубликовано 20.02.2012 – 17 с.
6. Трёпшин В.Ф., Швидкий Ю.А. Патент №130281 Российская Федерация, МПК B61K 9/08 (2006.01). Мобильный измерительный комплекс автоматики радиосвязи (МИКАР): №2013111383/11 : заявл. 13.03.2013 : опубликовано 20.07.2013 – 29 с.
7. Михалкин И.К., Симаков О.Б., Качур В.И., Урсов С.Н., Белоусов Ю.В., Федотов А.Ю. Патент №165311 Российская Федерация, МПК B61K 9/08 (2006.01). Бортовая автоматизированная система контроля объектов железнодорожной автоматики и телемеханики: №2016108747/11 : заявл. 10.03.2016 : опубликовано 10.10.2016 – 6 с.
8. Дзюба Ю.В., Охотников А.Л., Павловский А.А. Патент №2704692 Российская Федерация, МПК B61K 9/08 (2006.01), E01B 35/00 (2006.01). Бортовое устройство для диагностики состояния рельсового пути: №2019110423 : завял. 09.04.2019 : опубликовано 30.10.2019 – 10 с.
9. Диагностика пути с использованием регулярно обращающегося поезда на железной дороге Zentralbahn [Электронный ресурс]. URL: https://zdmira.com/images/pdf/_dm2019-08_64-67.pdf (Дата обращения 14.12.2023).

РАЗРАБОТКА ПОРТАТИВНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ СЕНСОРОВ

А. Г. Шарапов[1], В. В. Томаев[1,2], Т. В. Стоянова[1]

[1]Санкт-Петербургский горный университет, Россия, Санкт-Петербург

[2]Санкт-Петербургский технологический институт (ТУ), Россия, Санкт-Петербург

Аннотация. Предложена тестирующая система, основным элементом которой является запатентованное устройство тепла и холода, предназначенное для исследования температурных

зависимостей различных веществ и физических тел в жидком и твердом агрегатных состояниях. Разработана методика исследования температурных зависимостей сенсоров с помощью портативного устройства тепла и холода.

Ключевые слова: элемент Пельтье, контроллер, камера тепла и холода, температурные зависимости, сенсор.

Введение

В современных условиях быстро развивается и совершенствуется технологическая и экспериментальная база для академических и прикладных задач [1]. Потребность в измерении температурных зависимостей велика в различных областях науки и техники, таких как материаловедение, сенсорика, экология, нанотехнологии, медицина, пищевая промышленность, безопасность производства и др. Для проведения таких исследований требуется специализированное оборудование, которое способно создавать и поддерживать различные температурные условия [2-3]. В 2021 году в России было произведено 10548 климатических камер, суммарная стоимость которых превысила 1 млрд. рублей. Характерной чертой камер тепла и холода, представленных на рынке, является достаточно большой объём исследовательской камеры и как следствие, высокая стоимость и большое энергопотребление. Известные промышленные мини камеры тепла и холода, произведенные в России и за рубежом, имеют рабочий объем от 30 литров и более.

Развитие техники сегодня невозможно представить без производства современных сенсоров. Создание сенсорных структур на этапе их разработки требует большого числа исследований, в том числе температурных исследований в различных жидких и газообразных средах. Сенсоры и их основные компоненты – полупроводниковые приборы имеют миниатюрные размеры, поэтому объем камеры тестовой системы порядка 0.5 литра вполне достаточен для подобных измерений. Небольшой объем позволяет в разы уменьшить инертность изменения температуры и потребление эталонных газов, используемых при калибровке сенсоров. Наряду с невысокой ценой, достаточной точностью измерений, надёжностью и безопасностью экспериментальных установок важным требованием, предъявляемым к ним, является возможность оптимизации процесса измерения, перенастройки установок под другие условия эксперимента или исследовательские задачи.

Потребность ряда исследовательских групп в недорогой и надёжной портативной климатической камере, объясняет необходимость и актуальность данных исследований.

Целью данной работы является разработка портативной установки для исследования температурных зависимостей.

Экспериментальная установка

Разработанное устройство относится к портативным климатическим камерам тепла или холода с программным управлением и включает в себя источник питания, радиатор, элемент Пельтье, датчик температуры, микроконтроллер, узел коммутации (Рис. 1.).

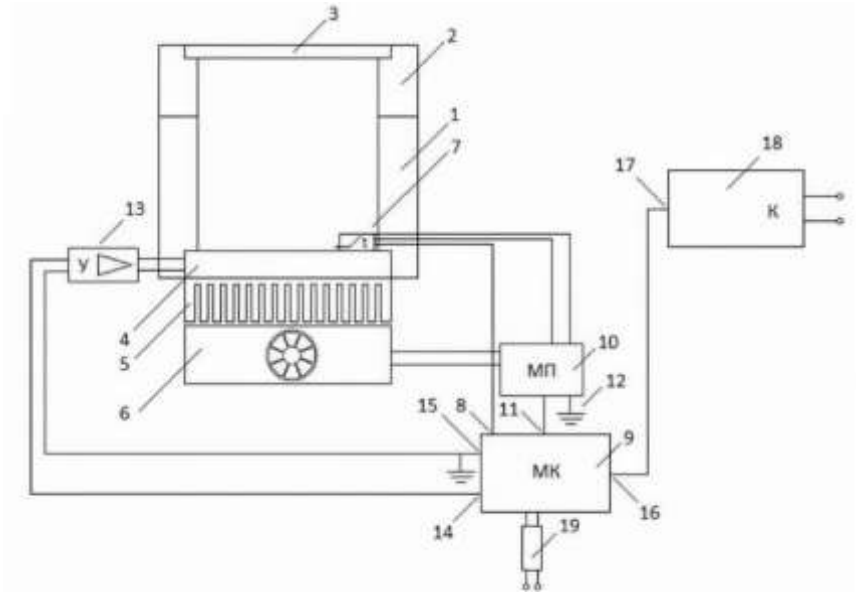


Рисунок. 1 – Блок-схема устройства: 1 – климатическая камера; 2 – крышка; 3 – окно; 4 – элемент Пельтье; 5 – радиатор; 6 – вентилятор; 7 – датчик температуры; 8 – аналоговый порт; 9 – микроконтроллер; 10 – макетная плата; 11 - порт для подачи питания к макетной плате; 12 – порт для заземления макетной платы; 13 – усилитель напряжения; 14 – порт для подачи питания на усилитель напряжения; 15 – порт для заземления усилителя напряжения; 16 – порт для передачи сигнала ПК; 17 – порт компьютера; 18 – персональный компьютер (ПК); 19 – адаптер питания; 20 – ножки; 21 - корпус

На климатической камере (1) установлена съемная крышка (2), в которой выполнено прозрачное окно (3). Между нижней частью элемента Пельтье (4) и верхней частью радиатора (5) нанесен тонкий слой термопасты. На нижней поверхности радиатора закреплены вентилятор (6) и ножки (20). Выходы датчика температуры (7) и вентилятора электрически параллельно соединены между собой входами макетной платы (10). Выходы элемента Пельтье соединены с входами усилителя напряжения (13), выходы которого соединены с входами порта для подачи питания (14) на усилитель напряжения и порта для заземления усилителя напряжения (15) микроконтроллера (9). Выход порта для передачи сигнала на персональный компьютер (ПК) с микроконтроллера (16) соединен с входом порта ПК для приема сигнала с микроконтроллера ПК, в узле управления [4].

Установка разработана на базе платы ArduinoUNO [5], имеющей невысокую стоимость и не припаянный к плате чип. Для программирования микроконтроллеров используется ArduinoIDE с поддержкой множества языков программирования, но фактически все программы пишутся на C/C^{++}, а компилируются и собираются с помощью avr-gcc [6-7]. Для проведения эксперимента была разработана управляющая работой контроллера ArduinoUNO программа (скетч). Для преобразования аналогового сигнала в цифровой применяется модуль MAX6675. Технические характеристики модуля представлены на сайте производителя [8]. Модуль MAX6675 включает в себя аппаратные средства формирования сигнала для преобразования сигнала термопары в напряжение, совместимое с входными каналами аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Входы подключаются к внутренней схеме, что уменьшает внесение шумовых ошибок от проводов термопары.

Эксперимент и его обсуждение

При установке заданного тока через элемент Пельтье, изменение температуры происходит неравномерно – очень быстро в начальный момент и с замедлением в конце (Рис. 2-3).

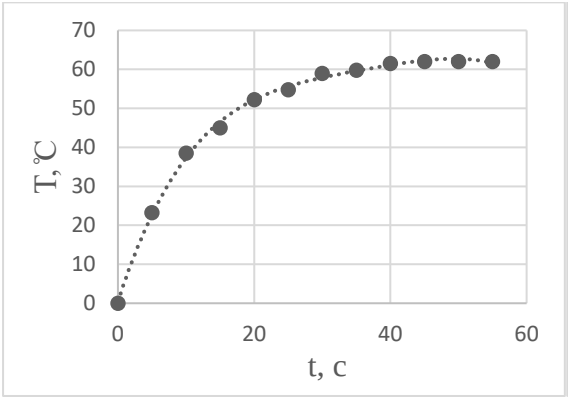


Рисунок 2 – Зависимость разницы температур горячей и холодной сторон при нагревании элемента Пельтье

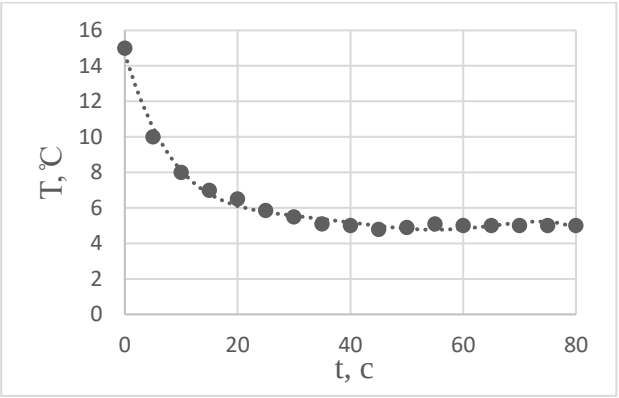


Рисунок 3 – Зависимость разницы температур горячей и холодной сторон при охлаждении элемента Пельтье

На характеристики сенсоров и их компонентов влияет не только абсолютное значение температуры, но и скорость ее изменения. Поэтому при исследовании температурных зависимостей сенсоров и их компонентов важно обеспечить линейное изменение температуры. Для обеспечения линейного нагрева или охлаждения элемента Пельтье был разработан алгоритм линейно-нарастающей функции [9] на языке программирования Python, позволяющий добиться плавающей уставки до статического заданного параметра (Рис. 4).

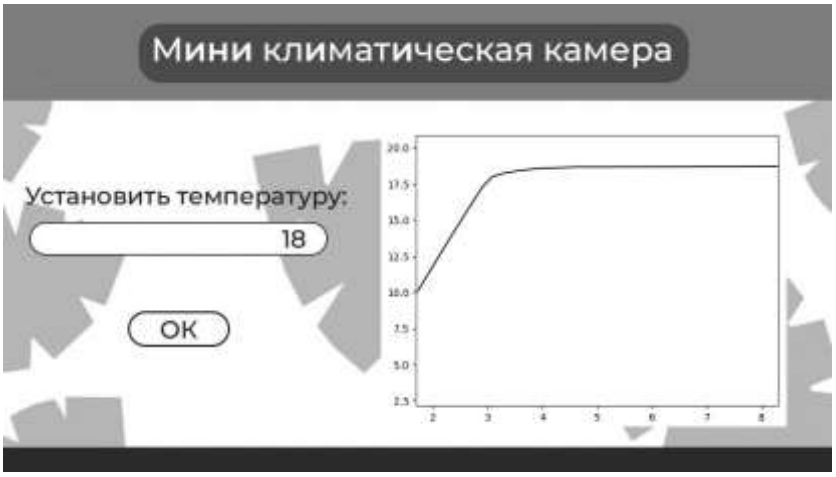


Рисунок 4 – Интерфейс программы

Таким образом, регулятор не нуждается в постоянном изменении тока, проходящего через элемент, что снижает его нагрузку и повышает эффективность системы [10].

Заключение

Разработанные нами технические решения дают возможность линейного нагрева и охлаждения рабочего пространства камеры и позволяют поддерживать постоянную температуру. Наряду с точностью измерений, надёжностью и безопасностью установки

важным конкурентным преимуществом является оптимизация процесса измерения, перенастройка установки под другие условия эксперимента или исследовательские задачи. Управляя установкой через интерфейс программы можно легко менять условия эксперимента в соответствии с поставленными задачами, получать результат в удобном для анализа графическом или цифровом виде.

Прибор является настольным. Размер камеры, а также программное управление позволяют на рабочем столе установить одновременно несколько камер и проводить параллельные эксперименты с несколькими образцами при минимальных затратах энергии. Технические характеристики прибора и безопасность делают возможным его применение в качестве учебной, научно-исследовательской лабораторной установки, для тестирования микроэлектронных компонентов, исследований в области химии, физики, медицины, экологии и материаловедении.

Авторами получен патент РФ № 2807370 от 07.07.2023 г. «Устройство для исследования температурных зависимостей различных сред».

Список литературы

1. Черняев А. В., Стоянов Н. Д., Стоянова Т. В., Морунова С. С., Гаврилова А. А. Светодиодный инфракрасный миниспектрометр в учебном и научном эксперименте // Вестник Псковского государственного университета. 2021. № 17. С. 136-146.
2. Егоров А. А., Егоров М. А., Царева Ю. И. Химические сенсоры: классификация, принципы работы, области применения // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2008. Т. 6. http://chemphys.edu.ru/issues/2008-6/articles/273/
3. Шмидт Д., Шварц А. Оптоэлектронные сенсорные системы. Москва : Мир, 1991. 93 с.
4. Патент РФ 2807370. Устройство для исследования температурных зависимостей различных сред // Стоянова Т.В., Томаев В.В., Шарапов А.Г. Заявл. 07.07.2023. Опубл. 25.10.2023.
5. Официальный сайт производителя плат Arduino. [Электронный ресурс]. URL: https://www.arduino.cc
6. Блум Дж. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства. СПб.: БХВ-Петербург, 2021. 529 с.
7.Муромцев Д. И., Шуматков В. Н. Интернет Вещей: Введение в программирование на Arduino. СПб.: Университет ИТМО, 2018. 36 с.
8. Техническая документация модуля MAX6675. [Электронный ресурс]. URL: https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6675.pdf
9. Шарапов А.Г., Стоянова Т.В., Томаев В.В. Алгоритм управления преобразователем Пельтье для исследования свойств наноматериалов в зависимости от температуры // Нанофизика и наноматериалы: Сборник научных трудов. 2023. 317 с.
10. Востриков А. С. Проблема синтеза регуляторов для систем автоматики: состояние и перспективы // Автометрия. 2010. Т. 46, №2. С. 3-19.
11. Ларкин Е.В., Титов Д.В., Акименко Т.А., Ширабакина Т.А. Тестирование ИМ-сенсоров с использованием генератора эталонных тепловых сигналов // Изв. Вузов. Приборостроение. 2023. Т. 66, №3. С. 210-222. DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-3-210-222.
12. Кулик А.С. Сигнально-параметрическое диагностирование систем управления // Государственный аэрокосмический университет «ХАИ». 2000. 260 с.
13. Водичева Л.В., Лысцов А.А., Парышева Ю.В. Обеспечение отказоустойчивости инерциального измерительного блока для перспективных средств выведения // Ракетно-космическая техника. 2017. Т. 1, №2. 5 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ПРОЕКТА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА МАССОВЫХ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

В.В. Алексеев, Н.В. Орлова, В.С. Брызгало

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина)»

Аннотация. Рассматривается применение геоинформационных технологий для оценки степени взаимодействия развивающихся территорий, воздействия на окружающую среду техногенных производств и для расчета выбросов загрязняющих веществ в связи с необходимостью формализации получения и анализа данных, описывающих эти процессы. Рассмотрены методики расчета концентраций от выбросов загрязняющих веществ. Проводится оценка степени воздействия анализируемой территории на окружающую среду.

Ключевые слова: карбоновое воздействие; карбоновый след; геотаксон; районирование территории; классификация геотаксонов; административное районирование; функциональное районирование.

1. Введение

Проблема поддержания экологической безопасности с каждым годом становится всё более актуальной. Вследствие развития и роста экономики, которая стимулирует интенсивное использование энергии, увеличивается количество как производственных мощностей, так и объектов инфраструктуры и транспорта, что, в свою очередь, приводит к увеличению эмиссии парниковых газов.

Парниковые газы, такие как углекислый газ CO_2, метан CH_4 и оксид азота, играют значительную роль в изменении климата и имеют серьезное влияние на экологию. Эти газы улавливают тепло в атмосфере, что приводит к повышению температуры на Земле и вызывает изменения в климатических условиях. Изменение климата, вызванное парниковыми газами, может привести к ряду негативных последствий для экосистем. Это может включать в себя увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений, таких как засухи, наводнения и ураганы, что может привести к разрушению экосистем и потере биоразнообразия.

По данным Росгидромета увеличение концентрации в России как CO_2, так и CH_4 продолжается – по данным фоновых станций, в прошлом году темпы роста концентрации CO_2 возросли по сравнению с 2020 и 2021 годами. Увеличение концентрации за последний истекший год составило 3,4–3,5 частицы на миллион, что существенно выше среднеглобальной скорости роста за предыдущие десять лет. Это также значительно выше показателя глобального прироста за 2021-й (2,5 частицы на миллион). [1]

Одним из инструментов борьбы с изменением климата и загрязнением окружающей среды является введение Евросоюзом углеродного налога, который взымается с административных территорий. Исходя из этого, при формировании суммарной оценки загрязняющих веществ в атмосфере необходимо также учитывать административную принадлежность территории.

Задачи оценки распространения загрязнений с моделированием разовых концентраций требуют наличия алгоритмического и программного обеспечения, работающего в связке с

геоинформационными системами, что позволило бы автоматизировать задачу оценки суммарного выброса парниковых газов.

Геоинформационные технологии широко используются для экологического учета, мониторинга изменения климата, регистрации природных ресурсов, изучения влияния различных видов экономической деятельности на окружающую среду и оценки риска стихийных бедствий.

Они являются эффективным инструментом для получения оценок степени взаимодействия развивающихся территорий, воздействия на окружающую среду техногенных производств.

Создание геоинформационных проектов связано с необходимостью формализации получения и анализа данных, описывающих эти процессы. Построение геоинформационных проектов связано автоматизацией функций районирования, оценки показателей производства и поглощения территориальными объектами выбрасываемых в атмосферу газов, степени их взаимного влияния. В статье «Классификация геотаксонов по степени карбонового воздействия» ElCon2022 [2] показано, что для формализованного описания поставленной задачи удобно использовать понятие геотаксона.

Геотаксон – это территориальная единица, обладающая определенными характеристиками, информативными для решаемой задачи оценки степени воздействия на окружающую природную среду. Например, для производительности карбона, различные территориальные системы имеют различное математическое описание (цифровую модель) в соответствии с приведенной классификацией [2] постоянное значение или функциональные зависимости.

2. Методики расчета концентраций от выбросов загрязняющих веществ

Перед началом работы исходные данные представляются в удобной для геоинформационных технологий форме – для этого проводится районирование исследуемой территории по информативным признакам, то есть её представление в виде геоинформационного слоя (комплекса) территориальных ячеек с учетом оценки карбонового воздействия. Учитывая структурную организацию территории, проводится два вида районирования – административное и функциональное, о чем более подробно говорится в статье ElCon2022 [2].

Наиболее опасное воздействие на окружающую природную среду оказывают выбросы промышленных предприятий и транспорта. Характеристики выбросов определяются технологическим процессом предприятия, его структурой, а транспортные выбросы – характеристиками автомобильного потока (состав, интенсивность и др.). То есть характеристики территориального геотаксона (ТГ) могут быть описаны цифровой моделью объектов, которые на нем находятся (промышленное предприятие, транспортная инфраструктура). Построение цифровой модели подробно рассматривалось в статье SCM-2023 [3].

Цифровая модель функционального геотаксона, на территории которого находится промышленное предприятие, может включать такую характеристику как оценка приземной

концентрации газа, которая рассчитывается на основе методики для разовых концентраций от выбросов одиночного точечного источника [4].

Данная методика используется для расчетов рассеивания выбросов от дымовых труб, вентиляционных шахт, а также от источников организованного выброса загрязняющих атмосферный воздух веществ из установленных отверстий (далее – от точечных источников выброса) при условии, что скорость выхода газовоздушной смеси (далее - ГВС) из устья источника выброса не превосходит скорости звука в атмосферном воздухе (в целях данных Методов принимается равной 330 м/с), а температура ГВС не превышает 3000°С.

Максимальная приземная разовая концентрация загрязняющих веществ (ЗВ) Cm, мг/м^3, при выбросе ГВС из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при опасной скорости ветра на расстоянии от источника выброса и определяется по формуле:

$$c_м = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^{2} \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} \qquad (1)$$

где А - коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, определяющий условия горизонтального и вертикального рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе;

М - масса ЗВ, выбрасываемого в атмосферный воздух в единицу времени (мощность выброса), г/с;

F - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания ЗВ (газообразных и аэрозолей, включая твердые частицы) в атмосферном воздухе;

m и n - безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выброса из устья источника выброса;

η - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности;

Н - высота источника выброса, м;

V_1 - расход ГВС, определяемый по формуле (2), м^3/с

ΔT - разность между температурой выбрасываемой ГВС и температурой атмосферного воздуха, °С.

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_0 \qquad (2)$$

где D - диаметр устья источника выброса, м;

ω_0 - средняя скорость выхода ГВС из устья источника выброса, м/с.

В том случае, если нужно рассчитать концентрацию выбросов за определенный период времени с учетом распространения загрязнений по розе ветров используется метод расчета долгопериодных средних концентраций ЗВ в атмосферном воздухе.

Для источников выбросов с постоянными в течение рассматриваемого периода времени параметрами выброса долгопериодные средние приземные концентрации С ЗВ определяются по формуле:

$$C(r_p \varphi_p) = \frac{p_1(\varphi) \cdot M}{r_p} \cdot C(r_p \varphi_p) \qquad (3)$$

где r_p и $ф_p$ - полярные координаты расчетной точки относительно источника выброса;

$p_1(ф)$ - функция, характеризующая угловое распределение концентрации ЗВ, которая выражается через розу ветров для рассматриваемого периода времени.

Функция $p_1(ф)$ определяется по розе ветров P_j, соответствующей рассматриваемому интервалу времени. При этом повторяемость штилей P0 исключается из рассмотрения, а повторяемости румбов P_j (j = 1, 2, 3 ..) нормируются по формуле:

$$\dot{P}_j = \sum_j^{P_j} P_j \qquad (4)$$

3. Оценка степени воздействия на окружающую среду

Оценка степени воздействия анализируемой территории определяется характеристиками геотаксонов, описывающих эту территорию. Основой анализа является административный геотаксон, площадь которого определяет пространство анализа. Анализ заключается в объединении на основе административного геотаксона ($g_{ne}0 \in G_{адмNE}$) всех слоев описывающих данную территорию:

- промышленные предприятия – ($g_{ne}1 \in G_{ппрNE}$),
- сельскохозяйственные предприятия – ($g_{ne}2 \in G_{схпNE}$),
- транспортные системы – ($gne3 \in G_{трсNE}$),
- жилые зоны – ($gne4 \in G_{жзNE}$,),
- природные комплексы – ($gneK \in G_{пркNE}$),

где gnek –единичные геотаксоны соответствующего слоя k = 0,…, K; K – количество слоев.

Степень карбонового воздействия на территорию может быть оценена величиной производительности карбона

$$PC_{NE} = \sum_{NE \epsilon GNE} \sum_{k=1,\ldots,K;\ gne \epsilon \cap(GNE0, GNEk)} (pc\ g_{nek}) \quad (5)$$

Данное выражение показывает, что степень воздействия определяется путем пиксельного суммирования на основе административного геотаксона производительности карбона всех слоев, описывающих анализируемую территорию.

4. Структура геоинформационного проекта

С использованием ГИС-проекта реализуется комплексный подход к получению количественных данных о выбросах загрязняющих веществ от различных видов территориальных объектов [2] с учетом их рассеивания в атмосферном воздухе.

Алгоритм расчета массовых выбросов загрязняющих веществ используется для последующей обработки полученных количественных данных для оценки воздействия территориальных систем на окружающую среду и их взаимного влияния. В расчете также учитывается направление рассеивания загрязнения в соответствии с розой ветров.

После получения количественных значений выбросов на тех или иных территориальных объектах, рассматривается их административная принадлежность. Таким образом, итоговым результатом становится количественная характеристика выбросов согласно заданной административной принадлежностью области анализа.

Расчет массовых величин выполняется в следующем порядке:

1. Осуществляется выбор категории источника выбросов (функциональный слой), согласно классификации (рисунок 1).
2. В соответствии с выбранным источником инициируются параметры, необходимые для расчета, которые задаются пользователем, либо хранятся в базе данных.

3. Запускается модель расчета, результаты (производительность территориальной единицы PC_{NE}) записываются в базу данных.

4. Осуществляется пересечение функционального и административного слоёв.

5. Степень воздействия загрязняющих веществ в заданных административных границах формируется путём пиксельного суммирования всех слоев расчета производительности карбона.

6. Полученные результаты отображаются на карте с ранжированием количества выбросов относительно предельно допустимых выбросов (ПДВ).

Рис. 1. Выбор категории источника загрязнений

5. Заключение

Таким образом, создание системы цифровых моделей функциональных геотаксонов промышленных, сельскохозяйственных и иных районов обеспечивает геоинформационную базу для автоматизации задачи оценки степени воздействия на природные системы

хозяйств различного вида, степени взаимодействия территорий между собой, оценки существующего карбонового баланса, проектирования развивающихся территорий.

Список литературы

1. Новостной портал РБК от 27.03.2023/ В России ускорилось накопление парниковых газов / https://www.rbc.ru/economics/27/03/2023/641d57ef9a794746fceeff72
2. Алексеев В. В., Орлова Н.В., Вавилов Р.Е., Брызгало В.С. / Классификация геотаксонов по степени карбонового воздействия/Межд. конф. по мягким вычислениям и измерениям по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2022). СПб. 2022 г Т.1. С. 215-217
3. Алексеев В. В., Орлова Н.В., Вавилов Р.Е., Брызгало В.С. / Принципы построения цифровой модели функционального территориального геотаксона с использованием ГИС-технологий/ Межд. конф. по мягким вычислениям и измерениям по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2023). СПб. 2023 г
4. Методы расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе / Министерство природных ресурсов и экологии РФ , 6 июня 2017 г. № 273

СЕКЦИЯ ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОНТАКТНОГО ДЕЙСТВИЯ БЕНЗОЛА НА ИНФУЗОРИЙ P.CAUDATUM

ГРИГОРЬЕВА К.А. [1], КОВАЛЕВСКАЯ А.С.[1]

[1]*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)*

Аннотация. Исследование неконтактного действия бензоидных соединений на примере влияния бензола на локомоторное поведение инфузорий *Paramecium caudatum* представляет практический интерес с точки зрения экологии и токсикологии. Неконтактное действие носит электромагнитный характер, возможно, благодаря особенностям строения бензольного кольца. Чтобы исключить возможное влияние боковых цепей аренов на электромагнитное поле, создаваемое бензойными соединениями, в качестве объекта исследования был выбран бензол. Регистрация локомоторного поведения парамеций проводилась методом прямого наблюдения с помощью микроскопа. Результаты данного исследования могут быть использованы в разработке классификации веществ по влиянию на локомоторное поведение инфузорий, как тест-объекта, применяемого в биотестировании.

Ключевые слова: Paramecium Caudatum, локомоторное поведение, неконтактное действие, бензол, электромагнитное поле

В течение многих лет ученые активно изучают реакции живых организмов на изменения в окружающей среде и внешние факторы. Эти реакции имеют практическое значение для человека и могут быть использованы в различных сферах, например, в биотестировании. Наиболее часто встречаемая реакция в биотестовом анализе — хемотаксическая – ответное, двигательное действие организмов на присутствие в окружающей среде химических раздражителей. Данная реакция инфузорий *P.caudatum* лежит в основе методики биотестирования ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98 [3].

Одним из примеров исследования влияния химических соединений на живые организмы является работа профессора Самарского университета Ю.П. Фролова «Неконтактное действие бензоидных соединений на биологические системы» [4]. В работе рассмотрено неконтактное действие ряда химических соединений, аренов, молекулы которых содержать бензольное ядро, на двигательные реакции инфузорий *P.caudatum*.

В данной статье представлены результаты исследования неконтактного действия бензола на локомоторное поведение инфузорий *P.caudatum*. Эксперимент был проведен по методике, предложенной профессором Ю.П. Фроловым. Для исключения влияния боковых цепей аренов на результаты исследования в качестве объекта исследования был выбран бензол.

Целью работы является проверка гипотезы о наличии неконтактного действия бензола на локомоторное поведение инфузорий *P.caudatum*. Результаты исследования могут быть использованы для классификации веществ по воздействию на локомоторное поведение тест-организмов.

Неконтактное действие (НКД) – это полевое воздействие, оказываемое герметично закупоренными веществами на биологические объекты [4]. НКД обусловлено воздействием на молекулу бензола внешнего электромагнитного поля. В молекуле бензола присутствуют так называемые делокализованные электроны, которые при помещении молекулы во внешнее магнитное поле приходят в движение по кольцевой системе, создавая таким образом кольцевые токи и наводя магнитное поле, силовые линии которого направлены противоположно внешнему полю. Обязательным условием возникновения кольцевых

токов и наведенного магнитного поля является определённое положение молекулы бензола в пространстве. Она должна быть повернута таким образом, чтобы силовые линии внешнего магнитного поля входили в кольцо под углом 90° [2].

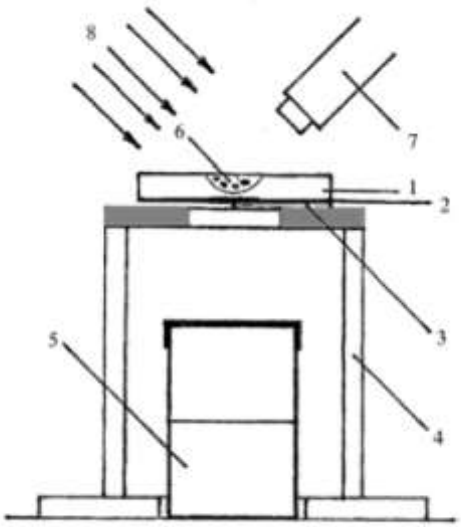


Рис. 1. Схема установки для экспериментов с инфузорией P.caudatum
Обозначения: 1 - предметное стекло с лункой; 2 - полоска бумаги; 3 - экранирующая пластинка; 4 - подставка; 5 - стакан с бензоидным соединением; 6 - лунка с инфузориями; 7 - бинокулярный микроскоп, 8 – осветитель

В проведении эксперимента использовалась узкая полоса бумаги, расположенная вдоль нижней плоскости стекла. На бумагу была нанесена линия, делящая лунку на две равные части: экранированную и неэкранированную. В лунку помещался раствор с *Paramecium Caudatum*. Инфузории помещались на предметное стекло в количестве 1 клетки, чтобы исключить влияние взаимных соударений клеток друг с другом на их движение. Герметичный стеклянный стакан, содержащий бензол, устанавливался под предметное стекло. Наблюдение за локомоторной активностью инфузорий выполнялось методом прямого наблюдения с помощью микроскопа.

Каждое отдельное наблюдение длилось 120 секунд, при этом измерялось суммарное время пребывания каждой инфузории в экранированной части лунки. Для этой цели использовался секундомер, способный с точностью до 0,01 секунды регистрировать и отображать в цифровом формате время пребывания инфузории в экранированной зоне.

Эксперименты проводились в 10 повторениях, чередуя опытные и контрольные испытания при комнатной температуре (20-25°C). В качестве показателя, характеризующего эффективность НКД соединения, принималась разница между значениями накопленного времени в опытных и контрольных испытаниях ($X_{оп}$- $X_к$).

Плотность магнитного потока внешнего электромагнитного поля промышленной частоты (50 Гц) измерялась согласно МУК 4.3.2401-09 [1] с помощью измерителя ИМП-05.

В *таблице 1* представлены результаты измерения времени, проведенного клетки в экранированной части лунки.

Таблица 1

Опытное испытание	Контрольное испытание
54,63±8,2 с	59,18±8,7 с

Плотность магнитного потока внешнего электромагнитного поля на высоте рабочего стола, где непосредственно находилась чашка Петри с инфузориями, составила 50 нТл.

Как видно из таблицы 1, средние значения времени, проведенного инфузориями в экранированной части лунки в контрольных и опытных испытаниях, лежат в пределах погрешности. Это свидетельствует о том, что различия между результатами, полученными в этих испытаниях, не являются статистически значимыми. Таким образом, на основании проведенного исследования нельзя утверждать о существовании НКД бензола на локомоторное поведение инфузорий.

Полученные нами данные расходятся с результатами, представленным в работе Ю.П. Фролова. Это расхождение может быть обусловлено рядом факторов, в частности, количеством бензола, помещаемого под стекло, и влиянием внешнего магнитного поля. К сожалению, Ю.П. Фролов не привел в своей статье информацию об этих параметрах, что не позволяет оценить их влияние на полученные результаты.

В будущем планируется разработать и проверить на практике собственную методику исследования НКД бензоидных соединений на локомоторное поведение инфузорий. Данная методика будет предусматривать экранирование установки от воздействия внешнего магнитного поля на инфузории. Это позволит снизить влияние внешних факторов на результаты исследования и увеличить их достоверность.

Кроме того, планируется провести ряд дополнительных опытов, направленных на:

1) изучение НКД других бензоидных соединений помимо бензола;

2) измерение плотности магнитного потока электромагнитного поля, наводимого бензолом;

3) исследование факторов, способных влиять на наводимое электромагнитное поле (предположительно, такими факторами являются: значение магнитной индукции внешнего ЭМП; объем химического соединения, в состав которого входит бензольное кольцо; наличие в структуре химического соединения боковых цепей);

4) исследование зависимости значения магнитной индукции наведенного ЭМП от значения магнитной индукции внешнего ЭМП.

Список литературы

1. МУК 4.3.2491-2009. Гигиеническая оценка электрических и магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях: утвержден и введен в действие Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом РФ от 28.02.2009: дата введения: 27.05.2009.

2. Николаев Л.А. Введение в общую химию. Москва: Изд-во «Высшая школа», 1980 г., 216 с.

3. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98 Методика определения токсичности проб природных, питьевых, хозяйственно-питьевых, хозяйственно-бытовых сточных, очищенных сточных, сточных, талых, технологических вод экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер» (издание 2015 года)

4. Фролов Ю. П., И.А. Бондарь, Ю.А. Вагина, Н.И. и др. Неконтактное действие бензоидных соединений на биологические системы //Самара: Изд-во" Самар. ун. – 2000. – Т. 2000.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВРДОРОДОВ МЕТОДАМИ АППАРАТУРНОГО БИОТЕСТИРОВАНИЯ

МАНАХОВА П.В.[1], СЕМЕНОВА М.И.[1], КОВАЛЕВСКАЯ А.С.[1]

[1]*Санкт-Петурбургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ»*

Аннотация. Ароматические углеводороды находят широкое применение в химической, нефтеперерабатывающей и фармацевтической отраслях промышленности и неизбежно попадают в сточные воды производств. Согласно водному кодексу Российской Федерации, перед сбрасыванием в окружающую среду сточные воды подлежат биотестированию. Существующие сегодня методики биотестового анализа являются универсальными и не учитывают влияние отдельных веществ на тест-организмы, что может стать источником ошибкой в определении степени токсичности сточных вод. В данной статье представлены результаты исследования токсичности ароматических углеводородов на примере бензола и его гомологов (ксилола, толуола, этилбензола) с применением двух наиболее распространенных тест-организмов: инфузорий *Paramecium caudatum* и биосенсора «Эколюм».

Ключевые слова: ароматические углеводороды, сточные воды, биотестирование, токсичность, Paramecium caudatum, «Эколюм».

Ароматические углеводороды активно используются в химической, нефтеперерабатывающей и фармацевтической отраслях промышленности в качестве растворителей, сырья, стартовых молекул и т.д. и неизбежно попадают в сточные воды производств. Наиболее часто используемым веществом из класса ароматических углеводородов является бензол. Только в России объем его производства в 2018 году составил 1,4 млн тонн. В тот же год объемы производства некоторых гомологов бензола, а именно ксилола, толуола и этилбензола, составили 599 тыс. тонн, 333 тыс. тонн и 813 тыс. тонн соответственно. Более того, для всех упомянутых выше веществ наблюдается тенденция роста объемов производства [1].

Во всех без исключения странах мира концентрация ароматических углеводородов в природе регламентируется законодательством. Согласно водному кодексу России, перед сбрасыванием в окружающую срезу сточные воды подлежат биотестовому анализу [2].

Ряд исследований зарубежных и отечественных ученых показывает, что ароматические углеводороды оказывают специфическое воздействие на микроорганизмы, выступая для некоторых из них в роли аттрактанта [3 – 6].

В связи с этим было решено провести исследование возможности анализа токсичности ароматических углеводородов методами аппаратурного биотестирования.

Ввиду своей распространенности в качестве объектов исследования были выбраны бензол, ксилол, толуол и этилбензол. Данные вещества относятся к 3 классу опасности и выше. Кроме того, бензол и ксилол являются сильными канцерогенами.

Предельная концентрация ароматических углеводородов в сточной воде 20 мг/л. В работе были рассмотрены растворы концентраций кратных 1ПДК, 2ПДК, 3ПДК, 4ПДК и 5ПДК, что соответствует 20 мг/л, 40 мг/л, 60 мг/л, 80 мг/л, 100 мг/л.

Биотестирование проводилось согласно методикам ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98 с использованием инфузорий Paramecium caudatum Ehrenberg и ПНД Ф Т 14.1:2:3:3.11-04, где

в качестве тест-организма выступает биосенсор «Эколюм», в состав которого входят бактерии Escherichia coli Migula.

Теоретически ожидалось, что с ростом концентрации веществ в исследуемых пробах будет расти и индекс токсичности.

На рисунке 1 представлены результаты исследования токсичности а) бензола, б) ксилола, в) толуола, г) этилбензола с применением инфузорий *P.caudatum* (синие кривые – экспериментальные данные, полученные при экстрагировании в дистиллированной воде, рыжие кривые – при экстрагировании в 1% растворе ацетона).

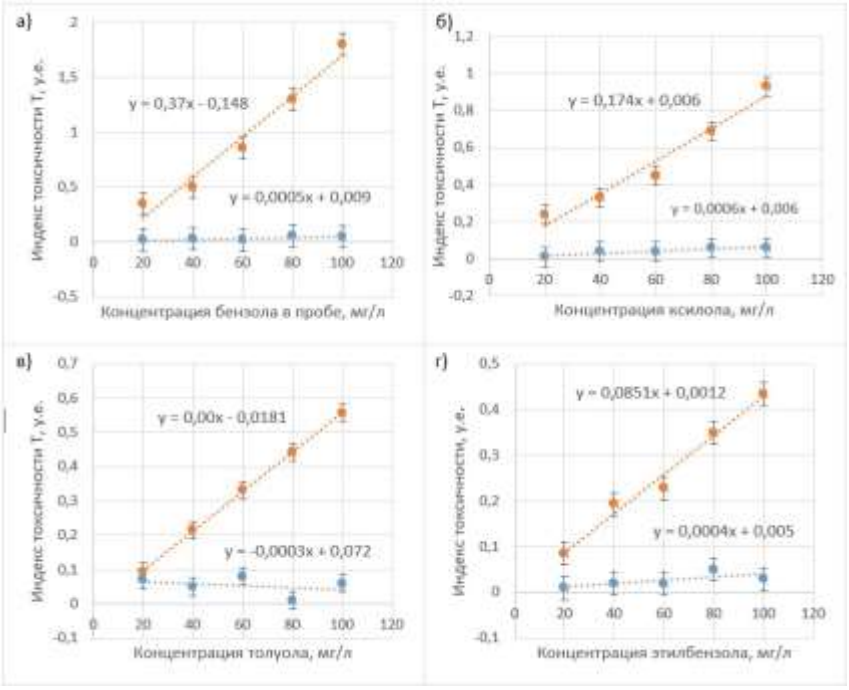


Рис. 1. Усредненные значения индексов токсичности а) бензола, б) ксилола, в) толуола, г) этилбензола при экстрагировании в дистиллированной воде (синие кривые) и в 1% растворе ацетона (рыжие кривые) (тест-организм – Paramecium caudatum)

На графиках, представленных на рисунке 1, синие кривые соответствует опытам, в которых экстрагирование проводилось в дистиллированной воде, как и предписывает методика ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98. Очевидно экспериментальные данные противоречат теоретическим ожиданиям: индекс токсичности не растет с увеличением концентрации веществ в пробах, что также противоречит логике. В связи с этим было принято решение внести изменения в методику пробоподготовки: в исследуемые пробы с бензолом, ксилолом, толуолом и этилбензолом был добавлен 1% раствор ацетона с целью повышения растворимости ароматических углеводородов. Рыжие кривые на рисунке 1 соответствуют опытам, в которых экстрагирование проводилось в 1% растворе ацетона. Как видно из графиков, при добавлении 1% раствора ацетона в исследуемую пробу, как и ожидалось, индекс токсичности монотонно увеличивается при увеличении концентрации веществ в пробе. Причем стоит отметить, что индекс токсичности при соответствующих концентрациях веществ увеличивается по мере роста класса опасности соединения.

Чтобы исключить влияние ацетона на тест-организмы был проведен ряд экспериментов по исследованию токсичности 1% раствора ацетона. Индекс токсичности 1% раствора ацетона составил 0,07±0,01 при биотестировании на инфузориях и 4±1 при биотестировании на биосенсоре «Эколюм». На основании этого можно сделать вывод о том, что 1% раствор ацетона не оказывает резко негативного влияние на тест-организмы, используемые в данной работе, и не вносит ошибки в результат эксперимента.

На рисунке 2 представлены результаты исследования токсичности а) бензола, б) ксилола, в) толуола, г) этилбензола с применением биосенсора «Эколюм» (синие кривые – ННБ XII, Санкт-Петербург, 16 – 17 мая 2024 экспериментальные данные, полученные при экстрагировании в дистиллированной воде, рыжие кривые – при экстрагировании в 1% растворе ацетона).

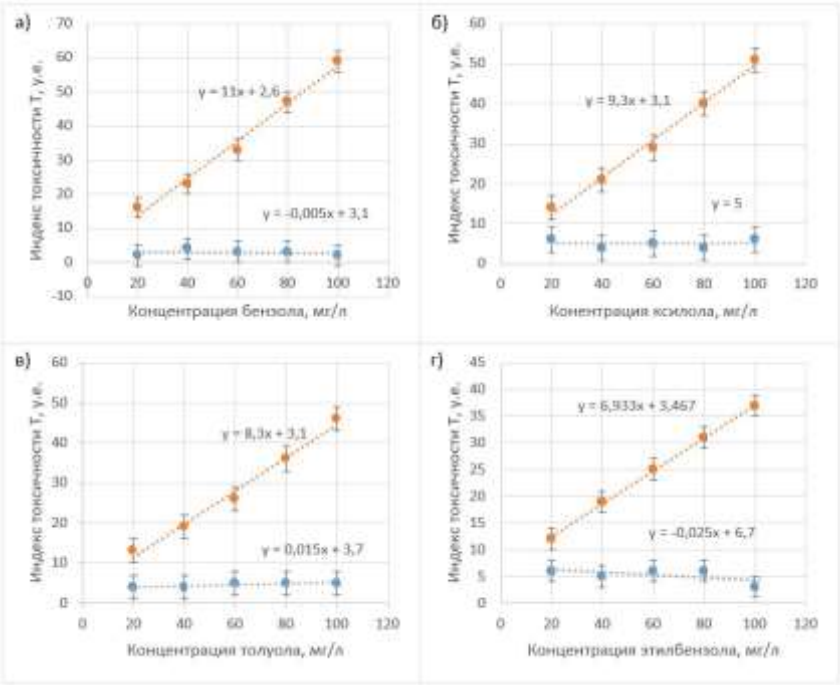


Рис. 2. Усредненные значения индексов токсичности а) бензола, б) ксилола, в) толуола, г) этилбензола при экстрагировании в дистиллированной воде (синие кривые) и в 1% растворе ацетона (рыжие кривые) (тест организм – биосенсор «Эколюм»)

Как видно из синих кривых, показанных на рисунке 2, при экстрагировании в дистиллированной воде индекс токсично не растет с увеличением концентрации веществ в пробах, что противоречит логике. Рыжие кривые демонстрируют результаты опытов, в рамках которых экстрагирование проводилось в 1% растворе ацетона. Аналогично результатам, полученным на инфузориях, при добавлении 1% раствора ацетона в исследуемую пробу индекс токсичности увеличивается при увеличении концентрации веществ.

Кроме того, на основании экспериментальных данных, полученных при экстрагировании в 1% растворе ацетона, был проведен двухфакторный дисперсионный анализ без повторений. Все вычисления были выполнения с помощью программы MS Excel.

Целью дисперсионного анализа является исследование влияния вещества, содержащегося в пробе, и его концентрации на значения индекса токсичности. Фактор А – вещество, содержащееся в пробе. Согласно нулевой гипотезе H_{A0}, значения индексов токсичности не зависит от того, какое вещество содержится в пробе. Тогда согласно альтернативной гипотезе H_{A1}, значения индексов токсичности зависит от того, какое вещество содержится в пробе. Фактор В – концентрация вещества. Согласно нулевой гипотезе H_{B0}, концентрация вещества в пробе не влияет на значения индексов токсичности. Соответственно, согласно альтернативной гипотезе H_{B1}, значения индексов токсичности зависят от концентрации веществ в пробе. Результаты расчета сумм квадратов отклонений, дисперсий, фактического отношения Фишера F, а также критическое значение $F_{крит}$ при уровне значимости α=0,05 для индексов токсичности, полученных при экстрагировании в 1% растворе ацетона, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Источник вариации	Сумма квадратов отклонений	Дисперсия	Фактическое отношение Фишера F	Критическое значение $F_{крит}$
Тест-организм: инфузории *P.caudatum*				
Фактор А	1,50	0,50	11,48	3,49
Фактор В	1,41	0,35	8,08	3,26
Погрешность	0,52	0,04		
ИТОГО	3,44			
Тест-организм: биосенсор «Эколюм»				
Фактор А	356,20	118,73	9,29	3,49
Фактор В	2966,30	741,57	58,05	3,26
Погрешность	153,30	12,78		
ИТОГО	3475,80			

Как видно из приведенных в таблице 1 данных, и в случае биотестирования на инфузориях, и при биотестировании на биосенсоре для обоих факторов выполняется неравенство $F>F_{крит}$, следовательно, нулевые гипотезы H_{A0} и H_{B0} отвергаются при уровне значимости α=0,05. Следовательно, с вероятностью P=0,95 значения индексов токсичности зависят от того, какое вещество содержится в пробе, и с той же вероятностью зависят от концентрации веществ в пробах.

Представленные в данной статье результаты исследования токсичности ароматических углеводородов на примере бензола и его гомологов (ксилола, толуола, этилбензола) показывают, что полученные согласно методикам ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98 и ПНД Ф Т 14.1:2:3:3.11-04 значения индексов токсичности не растут с увеличением концентрации

соединений в пробах, что противоречит логике, так как рассматриваемые вещества относятся к 3 классу опасности и выше. На основании этого можно сделать вывод, что методики биотестирования с использованием в качестве тест-организмов инфузорий *P.caudatum* и биосенсора «Эколюм» не подходят для проведения биотестового анализа сточных вод, загрязненных ароматическими углеводородами. Рассмотренные методики требуют модернизации. Было предложено внести изменения в этап пробоподготовки: проводить экстрагирование в 1% растворе ацетона. Результаты экспериментов, проведенных с учетом предложенных изменений, показали, что при добавление 1% раствора ацетона индекс токсичности растет с увеличением концентрации вещества в пробах. Таким образом, модифицированные методики могут быть использованы для биотестового анализа сточных вод, загрязненных ароматическими углеводородами.

Список литературы

1. Волкова А.В. Рынок базовых продуктов нефтехимии: олефины и ароматические углеводороды. 2019, 70с.
2. Баранов А.П., Лунев М.И., Мерзлая Г.Е. Экотоксикологическая оценка применения удобрений на основе осадков сточных вод методом биотестирования. Агрохимический вестник, №1, 2018 г., с. 12-15.
3. Ola A. Olapade, Laura G. Leff. The Effect of Toulene on the Microbial Community of a River in Northeastern Ohio, USA. Journal of Freshwater Ecology, 18:3, 2003, pp. 465-477, DOI: 10.1080/02705060.2003.9663983.
4. Predation of Bacteria by the Protozoa Tetrahymena pyriformis in Toulene-Degrading Cultures. Biotechnology Letters, 21(3), 1999, pp. 235-239, DOI: 10.1023/A:1005488500328.
5. Захаров И.С. Микробиотестовые методы и средства контроля токсичности водных сред на базе поведенческих реакций одноклеточных организмов. СПб.:Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015 г. 173 с.
6. Зарицкая Е.В., Шилов В.В., Полозова Е.В. Альтернативные методы исследования при токсикологогигиенической оценке объектов производственной и окружающей среды. Медицина труда и промышленная экология. 2016, №6. С. 17-20.

СЕКЦИЯ БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСПОЗНАВАНИЯ ПОРОКОВ СЕРДЦА

ВАКАРЕНКО К.Г., МАРЦУН Д.А.

Севастопольский государственный университет

Аннотация. В статье рассмотрена актуальная проблема автоматизации процесса распознавания пороков сердца с использованием современных технологий, включая нейронные сети. Исследовано современное состояние диагностики сердечных заболеваний и перспективы их развития с использованием автоматизированных методов. Приведено обоснование необходимости создания систем распознавания пороков сердца на основе искусственного интеллекта и машинного обучения. Авторами также были рассмотрены основные преимущества и вызовы, с которыми сталкиваются исследователи в этой области.

Ключевые слова: автоматизация, искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети, распознавание пороков сердца

Сердечно-сосудистые заболевания остаются одной из основных причин смертности во многих странах мира. Раннее выявление и точная диагностика пороков сердца являются критически важными для успешного лечения и увеличения выживаемости пациентов. С развитием технологий медицинского оборудования и компьютерных алгоритмов возникает потенциал для автоматизации этого процесса.

Актуальность автоматизированных систем распознавания пороков сердца в РФ связана с необходимостью более эффективного выявления и лечения сердечно-сосудистых заболеваний, что способствует снижению смертности и улучшению качества жизни населения. Национальный проект "Здравоохранение" выделяет проблему отсутствия интеграции информационных систем и квалифицированной ЭКГ-диагностики, предлагая внедрение новых технологий и разработку программ для решения этой проблемы. [1]

Пороки сердца – это патологические изменения в структуре или функции сердца, которые могут привести к развитию различных осложнений, включая сердечную недостаточность, инсульт и инфаркт миокарда. Ранняя диагностика и своевременное лечение пороков сердца позволяют значительно улучшить прогноз жизни пациентов.

Традиционные методы диагностики пороков сердца, такие как эхокардиография и электрокардиография (ЭКГ), требуют значительных временных и трудовых затрат, а также высокой квалификации врачей. Автоматизация процесса распознавания пороков сердца с помощью методов машинного обучения и искусственного интеллекта может стать перспективным решением для повышения эффективности и доступности диагностики.

В прогнозировании заболеваний используется все большее число диагностически значимых маркеров, обработка которых в совокупности с другими данными становится более трудоемкой. [2]

Информационные технологии с применением искусственных нейронных сетей как инструмент обработки больших массивов данных получают широкое распространение в медицине [3].

Разрабатываются различные методы машинного обучения, основанные на анализе данных эхокардиографии, ЭКГ, а также других клинических данных.

Нейросети способны обучаться на больших массивах данных и выявлять закономерности, не доступные для традиционных методов диагностики. Нейросети могут

быть использованы для автоматизации различных задач, таких как классификация пороков сердца, сегментация изображений, измерение параметров сердца и прогнозирование осложнений.

Рассмотрим разработанную нами автоматизированную систему распознавания порока сердца, которая прогнозирует состояние пациентов.

Для разработки программного кода распознавания пороков сердца оптимально выбрать многослойную нейронную сеть (МНС).

Многослойная нейронная сеть – это искусственная нейронная сеть, состоящая из трех или более слоев нейронов, соединенных между собой направленными связями (рис.1).

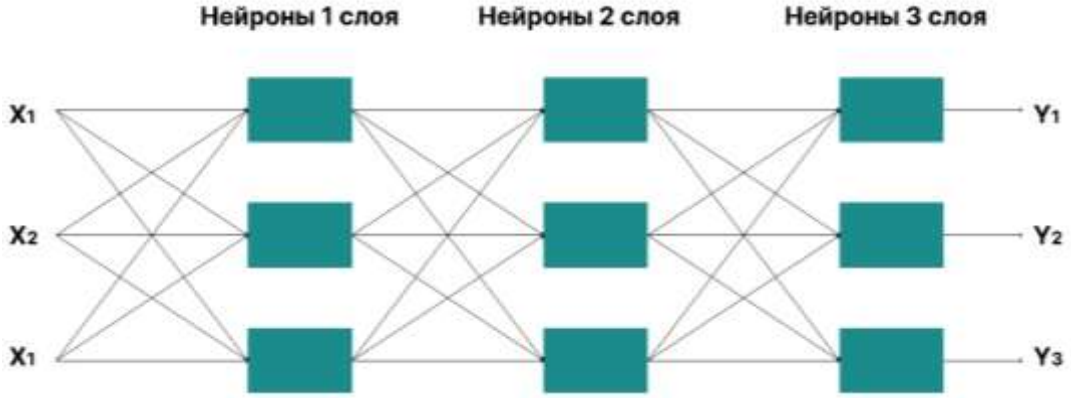


Рис. 1. Архитектура многослойной нейронной сети

МНС обладает преимуществами для классификации сердечно-сосудистых заболеваний, такими как обработка больших объемов данных, выявление сложных взаимосвязей между признаками и возможность обучения на множестве признаков одновременно. В программе используется библиотека Keras для создания и обучения модели, которая включает несколько слоев Dense с активацией ReLU и компиляцию с функцией потерь categorical_crossentropy и оптимизатором Adam. Обучение МНС происходит на большом наборе данных, где каждый пример представляет собой вектор признаков, включая возраст, пол, уровень холестерина и артериальное давление. После обучения модель может использоваться для классификации новых пациентов, предсказывая вероятность наличия сердечно-сосудистого заболевания на основе их входных данных.

В качестве базы данных были использованы данные медицинских обследований пациентов. Разработанная программа автоматически оповещает о наличии отклонений от нормы. Реализована классификация больных по прогнозированию сердечно-сосудистых заболеваний: «здоров», «легкое», «среднее», «тяжелое».

Выбранная база данных содержит атрибуты: возраст, пол, тип боли, кровяное давление, холестерин, уровень сахара, наличие диабета, максимальная частота сердечных сокращений, наличие стенокардии при нагрузке, изменение ST-сегмента, число крупных коронарных сосудов, наличие талассемии и диагноз ангиограммы сосудов сердца.

В качестве выделенного признака (ответа) будем считать диагноз, поставленный врачом по ангиограмме (пункт 14). При этом значение от 1 до 4 считается признаком болезни (порока) сердца, а 0 — отсутствием заболевания. Требуется определить, какому классу: положительному (пациент болен) или отрицательному (пациент здоров) – принадлежит исследуемый пациент (объект).

Рассмотрим основные этапы автоматизированного процесса распознавания наличия опухолей на фотоснимках медицинского предназначения:

Исходные данные для обучения МНС включают в себя информацию о различных параметрах пациентов, таких как возраст, пол, артериальное давление, уровень холестерина, электрокардиографические признаки и другие.

Процесс автоматизированного распознавания пороков сердца включает в себя следующие шаги:

1. Подготовка данных: очистка, нормализация и разделение данных на обучающую и тестовую выборки.

2. Создание архитектуры нейронной сети: определение числа слоев, нейронов и функций активации.

3. Обучение нейронной сети: использование обучающей выборки для настройки параметров модели.

4. Оценка результатов: проверка качества модели на тестовой выборке и оценка ее точности, чувствительности и специфичности.

На рисунке 4 изображен разработанный алгоритм распознавания пороков сердца.

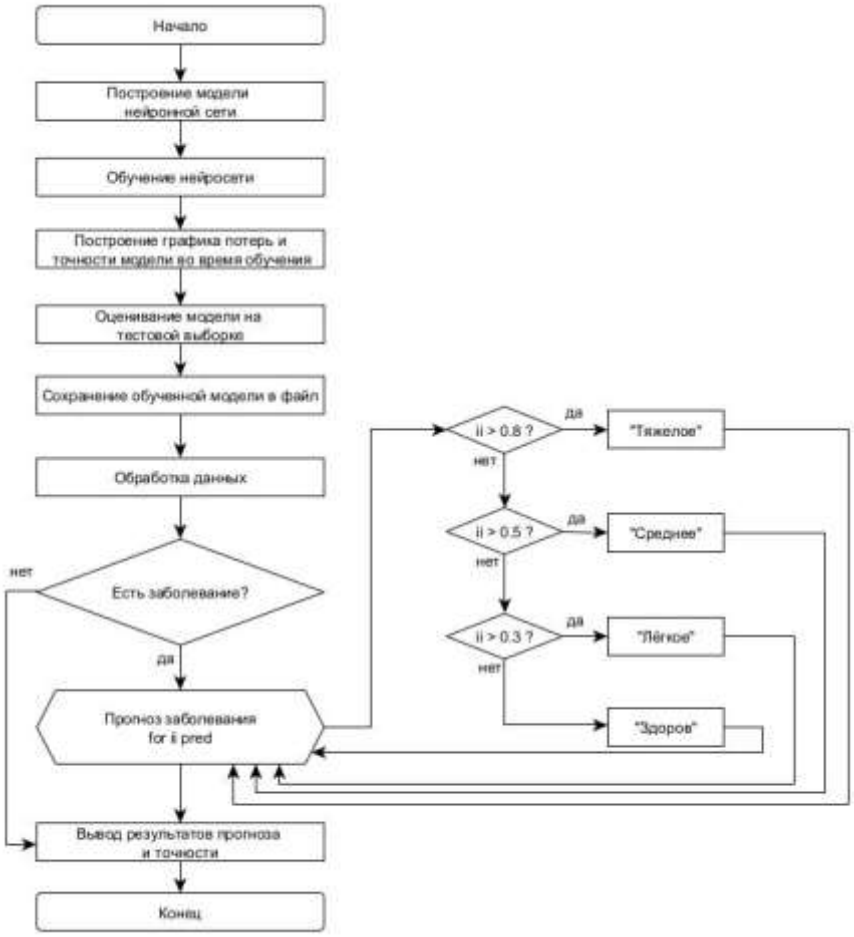


Рис. 2. Алгоритм автоматизированного процесса распознавания пороков сердца

В результате выполнения программы была получена классификация медицинских данных пациентов по прогнозированию степени сердечного заболевания. Была получена тестовая точность 98% (рис.3).

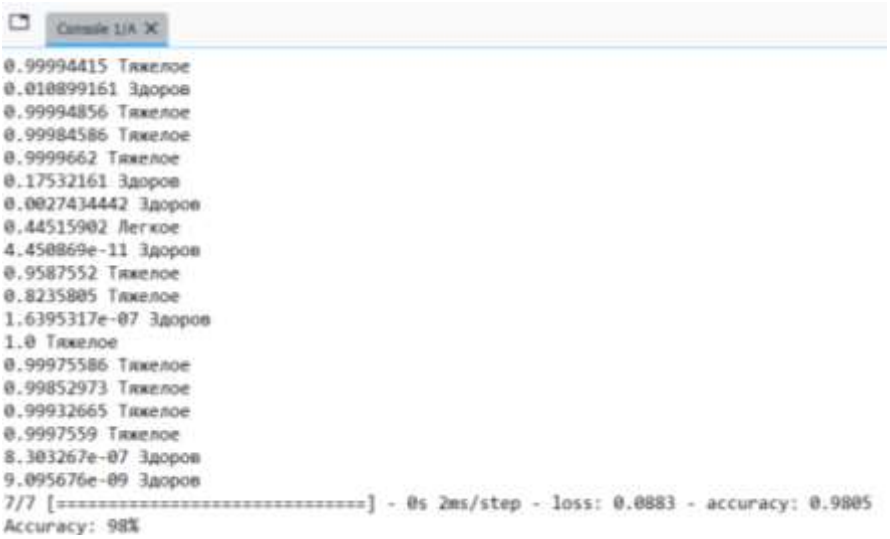


Рис. 3. Вывод результатов

Результаты показывают, что данный подход к автоматизации распознавания пороков сердца достигает высокой точности и может быть эффективно применен в клинической практике для своевременной диагностики сердечных заболеваний.

В России растет заинтересованность в разработке и внедрению автоматизированных систем диагностики, основанных на современных методах машинного обучения и анализа медицинских данных. Это открывает новые перспективы для улучшения диагностики и лечения пороков сердца, что способствует повышению качества жизни пациентов и снижению смертности от пороков сердца.

Список литературы

1. Состояние и перспективы развития кардиологической помощи в Российской Федерации в рамках разработки и реализации региональных программ «Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями» [Электронный ресурс] URL https://www.vshouz.ru/upload/iblock/8f6/3_Звартау%20Н.Э._25.05.2019_final.pdf
2. Жариков О. Г., Ковалев В. А., Литвин А. А. Современные возможности использования некоторых экспертных систем в медицине / Врач и информационные технологии. 2008. №5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-vozmozhnosti-ispolzovaniya-nekotoryh-ekspertnyh-sistem-v-meditsine (дата обращения: 20.04.2024).
3. Онищенко П. С., Клышников К. Ю., Овчаренко Е. А. Искусственные нейронные сети в кардиологии: анализ графических данных / Бюллетень сибирской медицины. 2021. №4. [Электронный ресурс] URL: https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennye-neyronnye-seti-v-kardiologii-analiz-graficheskih-dannyh (дата обращения: 20.04.2024).
4. Зольникова, Н. Н. Многослойные нейронные сети прямого распространения : учебно-методическое пособие / Н. Н. Зольникова, Т. А. Филонец. - Москва : РУТ (МИИТ), 2018. - 57 с. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1895302 (дата обращения: 20.04.2024). – Режим доступа: по подписке.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОГО МОНИТОРИГА ГЛЮКОЗЫ

ГЕРАСИМОВА М.С. [1]

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича*

Аннотация. В работе рассмотрены методы измерения концентрации глюкозы в крови, спектры поглощения глюкозы. Предложена структурная схема устройства для определения показателей глюкозы в крови неинвазивным методом. Актуальность данной работы заключается в необходимости пациентов с диагнозами сахарный диабет первого и второго типов в ежедневном самоконтроле.

Ключевые слова:сахарный диабет, неинвазивный метод, глюкоза.

Сахарный диабет (СД) – это группа метаболических заболеваний, характеризующихся хронической гипергликемией, которая является результатом нарушения секреции или действия инсулина.

СД является одной из глобальных социально значимых неинфекционных эпидемий, находящейся под контролем национальных систем здравоохранения по всему миру, характеризуется неуклонными темпами роста распространенности.

Согласно данным федерального регистра больных СД, сформированным ФГБУ НМИЦ эндокринологии МЗ РФ на 01.01.2024 г. зарегистрировано 5 096 359 человека с диагнозами СД первого и второго типов [5]. Эти данные учитывают только обнаруженные случаи заболевания, в результате российского эпидемиологического исследования (NATION) было выявлено, что доля недиагностированного СД второго типа от общего числа пациентов – 54% [1]. Из этого следует, что реальная численность пациентов значительно больше.

Измерение уровня глюкозы в крови – основной способ диагностики всех форм гипер- и гипогликемии и инструмент оценки эффективности, коррекции лечения. Это один из самых распространенных медицинских анализов, который предоставляет возможность принимать соответствующие меры для контроля своего состояния – диеты, физических нагрузок, инсулинотерапии, позволяет избежать возможных осложнений, ранней инвалидизации, высокой смертности от сосудистых нарушений. Самоконтроль необходимо проводить ежедневно от 4 раз в день. Сегодня определение глюкозы крови происходит с помощью прокалывания пальца и нанесения образца крови на тест-полоску. Причиной того, что глюкометр широко используется в домашних условиях, есть его очевидные преимущества: портативность, доступность в эксплуатации, точность и возможность мониторинга несколько раз в день. Однако очевидны и его недостатки. Несмотря на то, что необходимый для анализа объем капли крови ≤ 1-2 мкл капли крови, частота взятия крови с кончиков пальцев пациентов становится ежедневным стрессом и увеличивает риск заражения внешней средой. По мимо этого, тестовая бумага и игла для взятия крови являются одноразовыми расходными материалами, срок хранения полосок невелик, а неправильное хранение может повлиять на точность определения уровня глюкозы в крови.

Определение уровня глюкозы в крови неинвазивным способом возможно с помощью оптических методов. Кожа состоит из семи слоев и трех различных типов тканей: эпидермиса, дермы и гиподермы, каждый из которых обладает уникальными оптическими и электромагнитными свойствами, которые влияют на глубину проникновения и взаимодействие с определенными длинами волн и частотами, которые можно анализировать для оценки структуры и свойств ткани, включая концентрацию

присутствующих в ней веществ, таких как глюкоза, вода, белки, жиры, электролиты. Когда оптические или электромагнитные волны проходят через биологическую ткань, могут произойти четыре основных взаимодействия: отражение, рассеяние, поглощение и передача.

При спектроскопия диффузного отражения свет направляется на поверхность ткани, а отраженный свет измеряется для анализа параметров коэффициента поглощения подлежащей ткани. Известно, что спектр оптического поглощения глюкозы в крови человека имеет ряд полос поглощения в видимой и инфракрасной областях спектра, по интенсивности которых можно измерять концентрацию глюкозы. В оптическом диапазоне спектра поглощения глюкозы характерны три максимума: 840; 940 и 1045 нм. В то же время максимум в спектре поглощения воды составляет 960 нм. Наиболее приемлемый максимум поглощения глюкозы 940 нм.

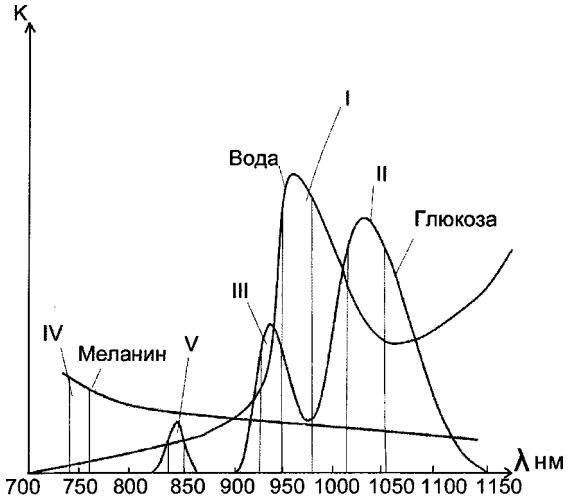


Рис. 1. Спектры поглощения глюкозы, воды и меланина в ближнем инфракрасном диапазоне излучения

Поглощение света на определенной длине волны подчиняется экспоненциальному закону Ламберта-Бэра: $I = I_0 \exp(-kCd)$, где I и I_0 — интенсивность света до и после прохождения через объект исследования, k — коэффициент, отвечающий поглощению объекта, C — концентрация глюкозы в крови человека, d — толщина биологического объекта.

В настоящее время создано много средств, позволяющих производить инвазивный мониторинг уровня глюкозы, в данной работе была разработана структурная схема устройства, предназначенного для неинвазивного мониторинга глюкозы. В основу метода измерения положен способ определения концентрации глюкозы в крови, изложенный в литературе [4].

Определение концентрации глюкозы в крови осуществляют на основании отраженных сигналов при воздействии на биологическую ткань оптическим излучением II – 1020-1060 нм , III – 930-950 нм и V – 830-850 нм диапазонов длин волн, где наблюдаются три максимума спектра поглощения глюкозы (рис. 1). Зарегистрированные уровни сигналов уменьшают на значения, определяемые параметрами других сигналов, полученных при воздействии на биологическую ткань оптическим излучением : I – 950-970 нм диапазона, где находится максимум спектра поглощения воды и IV – 740-760 нм диапазона, по которому оценивается концентрация меланина. Таким образом, из совокупного сигнала исключаются составляющие, соответствующие наличию воды и меланина, позволяя учесть погрешность, и повысить точность выделения и регистрации сигнала глюкозы. Устройство

содержит последовательно соединенные приемник оптического излучения – фотодиод, усилитель, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер и блок из пяти светодиодов, подключенный к выходу микроконтроллера. Направление излучения для всех светодиодов одинаково в сторону исследуемой биологической ткани. Конструктивно светодиоды и фотодиод расположены в одной плоскости и на одном основании, помещенном в корпус браслета на запястье, приемник оптического излучения - фотодиод находится в центре окружности, контур которой состоит и пяти светодиодов. При включении устройства светодиоды не испускают оптического излучения. Электрический сигнал с фотодиода, определяемый его темновым током, фиксируется и сохраняется в оперативной памяти микроконтроллера. Затем поочередно подается напряжение на светодиоды, последовательность включения светодиодов не принципиальна. При подаче напряжения на светодиод, выполненный с возможностью испускания оптического излучения в определенном диапазоне длин волн, происходит испускание оптического излучения указанного диапазона длин волн в направлении исследуемой биологической ткани. Часть падающего оптического излучения поглощается, преимущественно, водой, а часть диффузно отражается и падает на фотодиод, который преобразует отраженные от кровеносного потока лучи в аналоговый электрический сигнал. Далее электрический сигнал усиливается и после преобразования аналого-цифровым преобразователем в цифровой код поступает на микроконтроллер, который с целью учета погрешности измерения, обусловленной темновым током приемника оптического излучения вычитает цифровой код, соответствующий электрическому сигналу от темнового тока, и заносит в оперативное запоминающее устройство полученную разность, которая соответствует электрическому сигналу значение которого определяется преимущественно концентрацией воды в исследуемой биологической ткани. В результате работы каждого светодиода в оперативном запоминающем устройстве микроконтроллера накапливаются выборки значений электрических сигналов U_1, U_2, U_3, U_4 и U_5, которые для фильтрации случайных погрешностей измерений статистически обрабатываются микроконтроллером, в результате чего формируются усредненные значения электрических сигналов. Концентрация глюкозы определяется на основании п зависимости между концентрацией глюкозы и полученным суммарным электрическим сигналом, которая предварительно и записана в микроконтроллер. Все данные будут отправляться на мобильное устройство пользователя, кроме этого предусмотрена активация вибрации при критических значениях глюкозы в эпизоды гипо- или гипер- гликемии.

Рис. 1. Структурная схема устройства для мониторинга глюкозы

Метод имеет такие преимущества, как возможность мониторинга в реальном времени, возможность непрерывного мониторинга уровня глюкозы и применимость к тканям различной толщины. Недостатками являются проблемы из-за помех со стороны других компонентов тканей и температурных изменений, вызывающих задержки и нестабильность.

Неинвазивные методы имеют потенциал сделать мониторинг глюкозы более удобным и безболезненным для пациентов с сахарным диабетом. Однако перед внедрением новых технологий необходимо провести дополнительные клинические испытания для подтверждения их эффективности и надежности. Важно не забывать учитывать возможные факторы влияния, такие как физическая активность, потоотделение, температура и воздействие других молекул на точность данных методов. Благодаря постоянным технологическим разработкам и исследованиям, эти методы будут продолжать усовершенствоваться для возможности качественного и доступного использования повсеместно.

Список литературы

1. Дедов И.И., Шестакова М.В., Галстян Г.Р. Распространенность сахарного диабета 2 типа у взрослого населения России (исследование NATION) // Сахарный диабет. - 2016. - №19(2). - С. 104-112.
2. Базаев Н.А., Маслобоев Ю.П., Селищев С.В. Оптические методы неинвазивного определения уровня глюкозы в крови // Медицинская техника. - 2011. - №6 (207). - С. 29-33.
3. Зеленский М.М., Грицкевич Е.Ю. Мониторинг уровня глюкозы крови: возможности современных глюкометров. // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения . - 2022. - №8(3). - С. 28-44.
4. Патент РФ № 2574571 C1, МПК A61B 5/145. Способ неинвазивного определения концентрации глюкозы в крови. Опубликовано: 10.02.2016, Бюл. № 4.
5. Регистр сахарного диабета. // Официальный сайт URL: https://sd.diaregistry.ru/ (дата обращения: 04.05.2023)/

АДАПТИВНЫЙ МЕТОД НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ПРИ СЛУЧАЕ ПАРЕЗА И ПАРАПАРЕЗА, С НЕЙРОСЕТЕВЫМ АЛГОРИТМОМ УПРАВЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ПАТОЛОГИИ ДЛЯ МЫШЦ В ПОСТИНСУЛЬТНЫЙ ПЕРИОД

Гончарова А.В.[1,2], Карнуп Г.А. [1,3], Шамин Е.С.[1,3]

[1]АО «НИИМЭ»
[2]НИУ МИЭТ
[3]НИУ МФТИ

Аннотация. Предложен алгоритм решения задачи функциональной нейрореабилитации (миостимуляции), который представляет собой формирование базы данных амплитудно-частотных характеристик при совершении различного рода движений, с учетом антропометрических параметров пациентов. Сформирована база данных амплитудных характеристик ЭМГ. Реализован алгоритм адаптивной миостимуляции для верхней конечности по двух сценариям (парез и парапарез) с нейросетевым управляющим модулем: предсказание изменчивости ЭМГ сигнала для минимизации времени стимуляции с точностью 83,6%, классификация типа совершаемого движения упражнения методом случайный лес с дальнейшим применением линейного дискриминантного анализа.

Ключевые слова: нейрореабилитация, адаптивная миостимуляция верхней конечностей, электромиография, нейропластичность, патология мышц, постинсультный период.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФСИ «Умник» №18827ГУ/2023от 28.09.2023

1. Введение

В настоящее время, одной из ведущих причин невозвратной утраты трудоспособности во многих промышленных странах является ОНМК (острое нарушение мозгового кровообращения). По статистике, ежегодно в России заболеваемость достигает значений порядка 500 тыс. человек в год. Стоит отметить негативную тенденцию сегодняшних дней, - это увеличение частоты ОНМК среди лиц молодого и среднего возраста: среди групп риска по большей части оказываются женщины, принимающие гормональные препараты, которые непосредственно влияют на свертываемость крови, и при неблагоприятно подобранных медикаментах могут послужить причиной ишемического инсульта [1]. Согласно данным, приведенным федеральной службой государственной статистики Росстат на 2022 год и прогнозной статистике на 2027 год, прирост пациентов с инсультом, которым потребуется реабилитация в связи с моторным повреждением верхних конечностей составит 5 % контрольной цифры от 2022 года (рис. 1).

Рис. 1. Прогнозная статистика пациентов с инсультом на 2027 год

Разработка инновационных немедикаментозных технологий реабилитации больных с наиболее важными в социальном плане заболеваниями является одной из приоритетных задач медицинской науки и практического здравоохранения [2]. Наиболее эффективным и перспективным направлением в нейрореабилитации являются системы функциональной электромиостимуляции (ФЭС), которые могут выступать как самостоятельный метод реабилитации, так и быть интегрированы в различные реабилитационные тренажеры с управлением по электромиограмме (ЭМГ).

2. Основная часть

Основополагающей идеей является выявление взаимосвязи амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) ЭМГ от физиологических особенностей пациента, в том числе по биологической обратной связи зеркальной терапии (БОС ЗТ) здоровой и пораженной руки, с передачей параметров, характеризующих биологическое состояние объекта.

Принцип адаптации можно представить блок-схемой, где на первом этапе идет определение степени поражения нервно-мышечной системы – определение пареза или парапареза руки, и далее в зависимости от выбора, определение методики стимуляции.

Выбор первого метода подразумевает наличие у пациента только пареза и функционально-сохранной зеркальной конечности. Методика адаптивной миостимуляции по ЗТ заключатся в выполнении нескольких этапов: на этапе диагностики выполняется регистрация ЭМГ объекта стимуляции и здоровой конечности, с помощью поверхностных электромиографических электродов, усиление и фильтрация ЭМГ-сигнала, его преобразование, выделение огибающей сигнала и определения максимумов в каждом пике сокращения мышцы [3]. Далее полученные данные огибающей сигнала и амплитудно-

частотные характеристики калибруются и в случае отклонения от рефренного значения включается электростимуляция мышцы (рис. 2). Вторым этапом является непосредственно стимуляция по БОС. Принцип адаптации к мышцам пациента в первую очередь подразумевает разностный анализ референтной и фактической амплитуды в единицу времени, где полученная разность представляет собой амплитуду стимулирующего сигнала в момент времени.

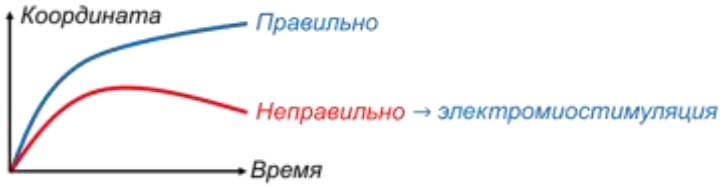


Рис. 2. Принцип включения миостимуляции

В случае случай двустороннего поражения верхних конечностей способ стимуляции по БОС ЗТ становится невозможным. Тогда методика адаптивной миостимуляции принципиально видоизменяется на этапе формирования сигнала: референтный сигнал подбирается из базы данных ЭМГ, которая включает в себя данные здоровых людей различного возраста и телосложения, при выполнении набора движений рукой.

Были выбраны 4 возрастные группы (20-30 лет, 30-45 лет, 45-65 лет, 65-85 лет), и 4 группы по индексу массы тела (ИМТ) (нормальное значение: 18,5-25, лишний вес: 25-30, ожирение 1 степени: 30-35, ожирение 2 степени: 35-40) (рис. 3).

Для снятия данных в движении были выбраны три упражнения из предложенных, при цикличном выполнении:

1. Отведение руки от корпуса;
2. Сгибание руки в локтевом суставе;
3. Супинация и пронация предплечья.

Каждый тип движения повторялся в течении 90 с по три подхода, для дальнейшего усреднения значений у одного пациента и определения среднего значения амплитуды в пределах одного упражнения. Между итерациями давался перерыв в 90 с, для восстановления силы и минимизации влияния мышечной усталости во время работы.

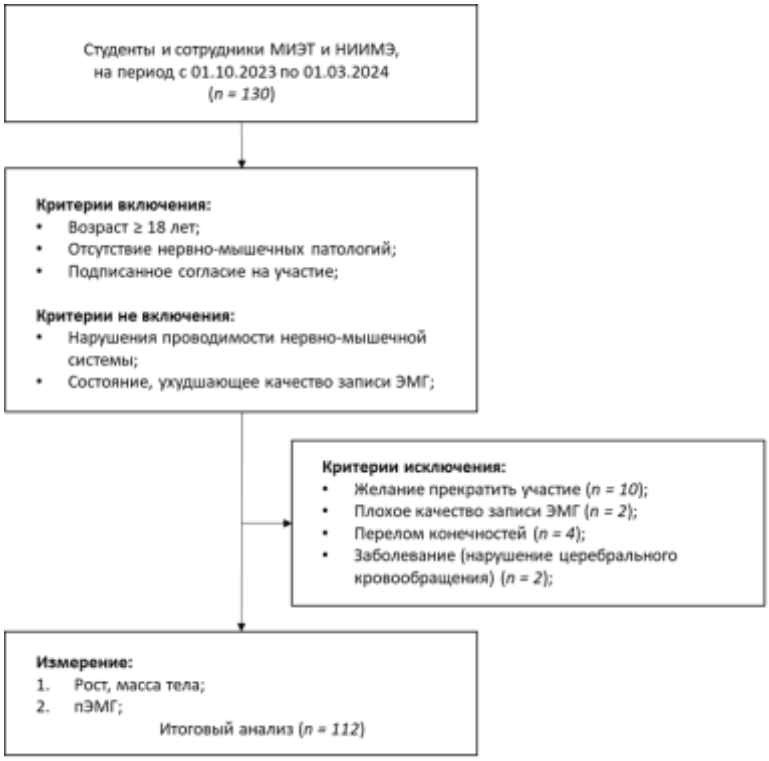


Рис. 3. Потоковая диаграмма включения в исследование

3. Результаты

Обработанный ЭМГ пациента, с выделенными характеристиками сигнала, может быть использован для формирования стимулирующего воздействия, поступающего на электроды. Все ЭМГ данные были обработаны и структурированы в эксель-таблицу для дальнейшего анализа. Для выборки из 7 человек, в пределах упражнения, ИМТ и возраста, выделено максимальное значение амплитуды в пике и построен график в пределах одной группы. Пример графика представлен на рисунке 4. Погрешность измерений составила менее 5%, что обусловлено синхронизацией движений в циклах и непрерывностью исследования, с учетом изменчивости сигнала в течении суток и утомляемости.

Возможные варианты стимуляционных импульсов по форме: прямоугольный, треугольный, синусоидальный, трапециевидный, нейроимпульс. Наиболее эффективным является сигнал типа нейроимпульс, который близок по форме к потенциалам действия нервных и мышечных клеток, однако существует математическая сложность его реализации, и наиболее популярными в современных миостимуляторах являются сигналы прямоугольных, треугольных и синусоидальных импульсов.

В реализации адаптивной системы предлагаются три этих вида, для соответствия реабилитационным стандартам и расширения функционала. При заполнении огибающей ЭМГ сигнала возникает проблема выбора точки опоры для сигнала вида синусоида и прямоугольник. Поэтому было предложено также три варианта реализации стимуляции, которая в дальнейшем будет использована непосредственно в программе стимуляции, с возможностью настройки параметров вручную для удобства врача и возможности калибровки под пользователя (повышая или понижая амплитудный порог): по среднему, по максимуму амплитуды, по минимуму амплитуды (рис. 5).

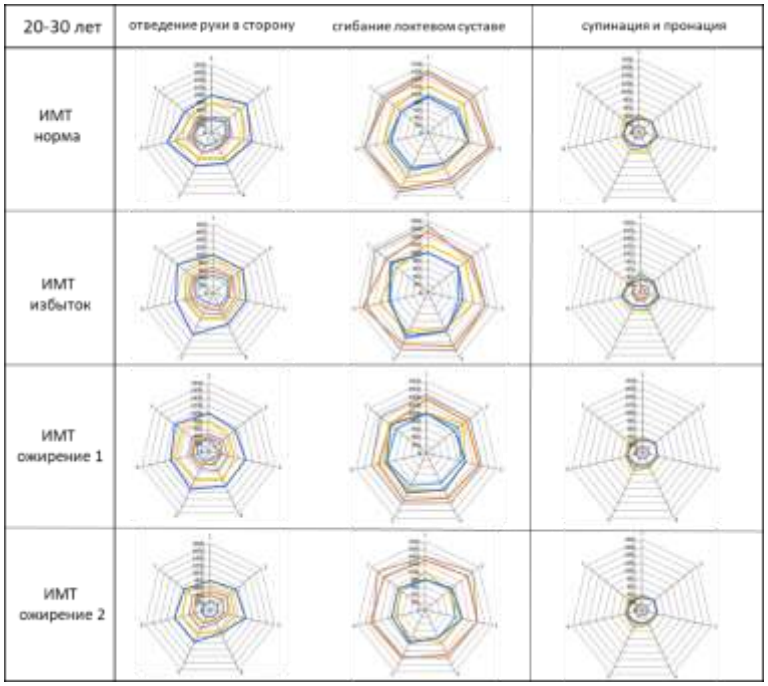


Рис. 4. Формирования данных ЭМГ в пределах одной возрастной группы и различных ИМТ

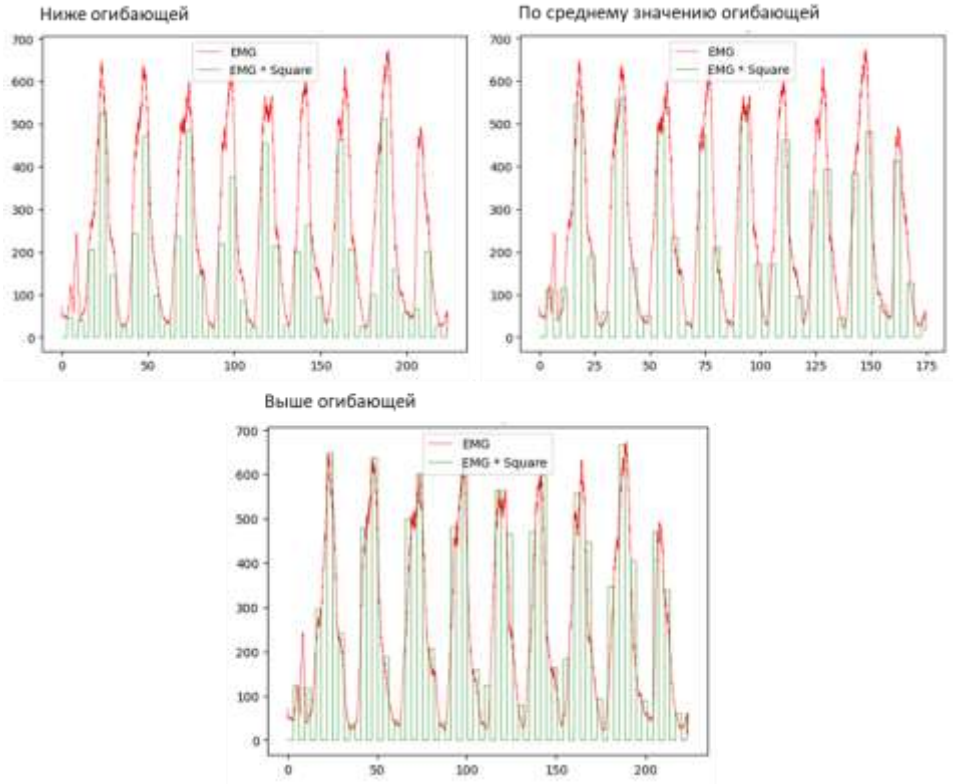


Рис. 5. Варианты подстройки параметра сигнала стимуляции по огибающей ЭМГ

Для реализации моделирования был выбран язык программирования Python. Окно программы при случае пареза представленно на рисунке 6. Сигнал стимуляции (красный) формируется как разностное значение между референтной (синей) и реальной (зеленой) огибающими, выделенными с помощью фильтра Калмана.

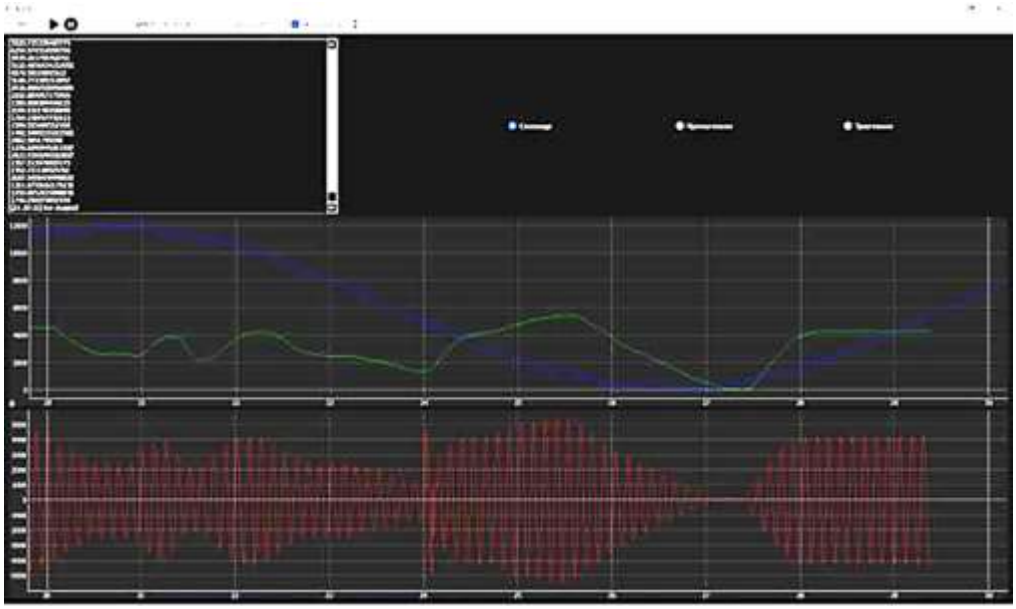


Рис. 6. Окно программы миостимуляции с выбором формы сигнала. Зеленым – реальный сигнал огибающей ЭМГ, синим – референтное значение, красным – сигнал стимуляции (тип синусоида)

Для минимизации ответной реакции стимуляции предлагается применение нейросетевого модуля (рис. 7). Разработанная нейросетевая архитектура реализована и обучена посредством фреймворка PyTorch с применением вычислительного программного пакета CUDA toolkit. В библиотеку PyTorch имплементирована архитектура нейросети, алгоритм ее обучения, функция потерь и метрика качества [4].

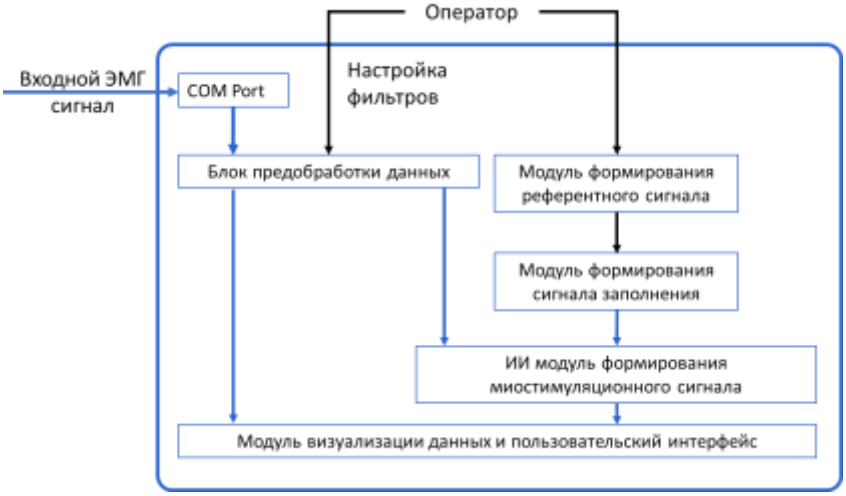


Рис. 7. Схема применения ИИ в задаче миостимуляции

Тестирование обученного нейросетевого алгоритма проводилось в среде разработки Spyder вер. 5.1.5. Подача данных в нейросеть осуществляется батчами в размере 25 мс. В качестве выходных данных нейронная сеть предсказывает следующие 50 мс. Далее, происходит смещение на 5 отсчетов, и на вход нейронной сети следующие по времени сигналы ЭМГ (рис. 8). Нейросетевая модель для решения задачи предсказания траектории, предсказывает ЭМГ с точностью 83,6%.

Также предлагается алгоритм определения патологии мышц с помощью нейросетевого анализа методом случайный лес без применения дополнительных шагов. Для большей наглядности применен линейный дискриминантный анализ (рис. 9). При выбросах из

доверительной зоны можно будет определить нарушение в работе нервно-мышечной проводимости.

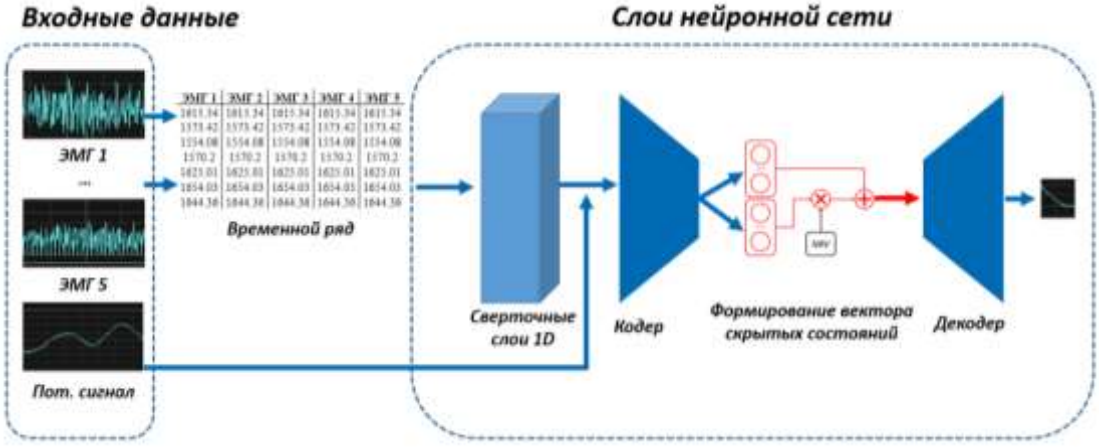


Рис. 8. Архитектура нейросети на базе вариационного автоэнкодера для предсказания траектории движения руки по ЭМГ в виде временного ряда

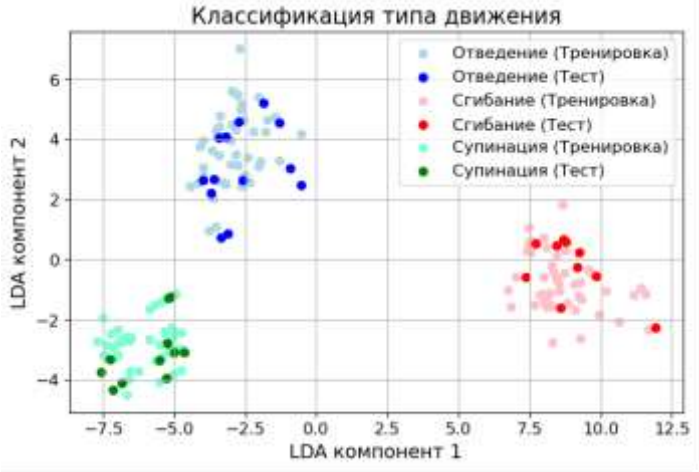


Рис. 9. Схема применения ИИ в задаче миостимуляции

4. Обсуждение результатов

Применение данного алгоритма позволит использовать миостимуляционный адаптивный модуль как самостоятельное носимое устройство для поддержки произвольного движения верхней конечности, снижения спастики и нейросетевой подстройки к мышцам пользователя, а при интеграции в экзоскелет, за счет возможности контроля типа движения, для последующего переключения двигателей, выполняющих функцию «поддержки».

Несмотря на уверенную классификацию движения руки в реальном времени и предсказания по ЭМГ, ввиду малого объема датасета классификатор не может исчерпывающе решать поставленную задачу поддержки любого произвольного движения рукой. Поэтому требуется дополнительное исследование с формированием выборки большего объёма и учетом половой принадлежности испытуемых, для получения более точных и расширенных зависимостей ЭМГ от антропометрических параметров.

Список литературы

1. Охунжанова М. З. Реабилитация больных, перенесших инсульт //BARQARORLIK VA YETAKCHI TADQIQOTLAR ONLAYN ILMIY JURNALI. – 2022. – Т. 2. – №. 4. – С. 78-85.

2. Баклушина Е.А., Ястребцева Ирина Петровна Электромиостимуляция в нейрореабилитации // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2016. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/elektromiostimulyatsiya-v-neyroreabilitatsii (дата обращения: 02.04.2024).
3. Гончарова А.В., Тельминов О.А., Карнуп Г.А. «РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТИМУЛЯЦИИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ПРОИЗВОЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ, ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ В ПОСТИНСУЛЬТНОМ СОСТОЯНИИ XI НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «НАУКА НАСТОЯЩЕГО И БУДУЩЕГО» ДЛЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ. Том 2. Сборник материалов конференции. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. 78 с.
4. Карнуп Г.А., Наумов В.О., Залесский А.Ю., Тельминов О.А., Горнев Е.С. «ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОМ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ МАЛОКАНАЛЬНЫХ ЭМГ ДАННЫХ И ДАННЫХ О ПОЛОЖЕНИИ РУКИ ЧЕЛОВЕКА»//Наноиндустрия. 2023. Т. 16. № S9-2 (119). С. 536-538.

ФОРМИРОВАНИЕ УСЛОВНОГО РЕФЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕГМЕНТНОЙ СПАЙКОВОЙ МОДЕЛИ НЕЙРОНА НА МОБИЛЬНОМ РОБОТЕ

ИВАНОВА В.В.[1,2], КОРСАКОВ А.М.[2,3], БАХШИЕВ А.В.[3]

[1]СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
[2]ЦНИИ РТК
[3]СПбПУ Петра Великого

Аннотация. В данной работе рассматривается реализация биоподобных поведенческих функций на мобильном роботе, а именно, формирования условного рефлекса на сегментной спайковой модели нейрона. В качестве мобильного робота использовалась робототехническая платформа Omegabot.

Ключевые слова: сегментная спайковая модель нейрона; условный рефлекс; модель болевых ощущений; модель прогностических функций мозжечка

Введение

Сегментная спайковая модель нейрона (Compartmental Spiking Neuron Model - CSNM) [1] не моделирует биохимические реакции реального нейрона, но воспроизводит его строение и реакцию на внешние воздействия. CSNM распознает паттерны импульсов, поступающие ей на вход. Модель характеризуется набором гиперпараметров, которые определяют конфигурацию модели и обеспечивают формирование нужной реакции нейрона на входное воздействие. В число смоделированных с помощью CSNM поведенческим функциям входят условно-рефлекторная деятельность [2], возникновение болевых ощущений у живых организмов, прогностические функции мозжечка.

Модель болевых ощущений (детектор нештатных ситуаций) [3] описывает штатную и нештатную ситуации возможного развития события. Если на вход модели поступает паттерн, похожий на тот, что использовался в качестве обучающего примера, то это штатная ситуация, и реакция модели отсутствует. В случае нештатной ситуации система генерирует выходной предупреждающий сигнал.

Модель прогностических функций мозжечка (предиктор) [4] представляет собой сеть, в узлах которой находятся элементарные ячейки, содержащие результаты операций сложения и вычитания по аналогии с биологическими нейронами (рисунок 1).

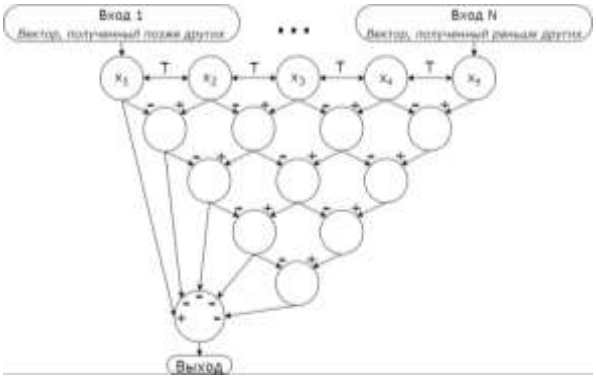


Рис. 1. Математическая модель прогностических функций мозжечка

Система управления мобильным роботом «Рефлекс-Мозжечок-Боль»

Система «Рефлекс-Мозжечок-Боль» приведена на рисунке 2. Блок «Боль» – это нейроморфный детектор нештатных ситуаций, основанный на модели болевых ощущений [3]. Блок «Мозжечок» – нейроморфный экстраполятор, основанный на модели прогностических функций биологического мозжечка [4]. Совокупность блоков, отмеченных на рисунке 2 линией «штрих», отвечает модели формирования условного рефлекса [2].

Формирование условного рефлекса осуществлялось следующим образом. Система принятия решений в данном случае состояла из одного действия «движение прямо». Если при определенном состоянии неоднократно срабатывала модель болевых ощущений, то элемент системы управления «рефлекторная дуга» создавал связь между блоками «боль» и «боль + мозжечок». Элемент системы управления «мозжечок + боль» позволял предсказывать блокировку до момента срабатывания болевого нейрона.

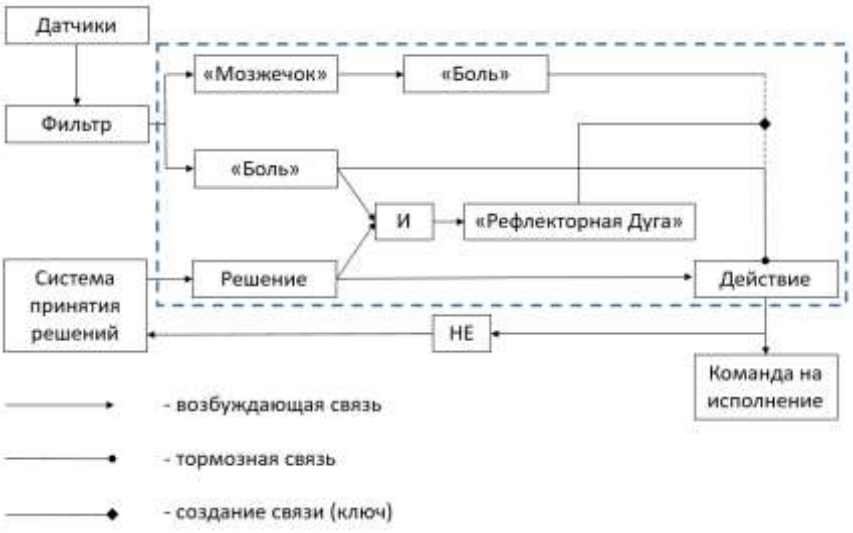


Рис. 2. Система «Рефлекс-Мозжечок-Боль»

Перед проведением экспериментов на робототехнической платформе «Omegabot», в среде Gazebo осуществлялась соответствующая модельная симуляция.

Модельная симуляция

Во избежание случая столкновения с реальным препятствием, из всех измерений, полученных с дальномера, вычиталась некоторая величина, одинаковая для всех

экспериментов – 0.2 метра. Она соответствовала так называемому расстоянию до виртуальной стены.

До того, как формировался условный рефлекс (столкновение с препятствием – это нештатная ситуация), модель робота останавливалась по срабатыванию нейрона «боль», что соответствовало тому, что модель робота врезалась в виртуальную стену. Тогда в терминал выводилось предупреждающее об этом сообщение (рисунок 3).

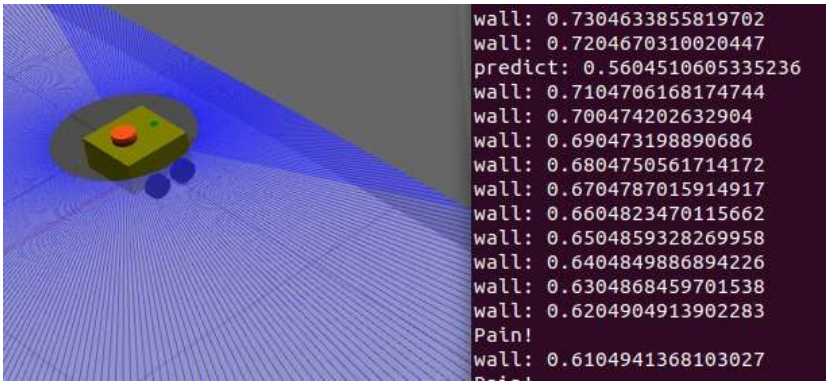
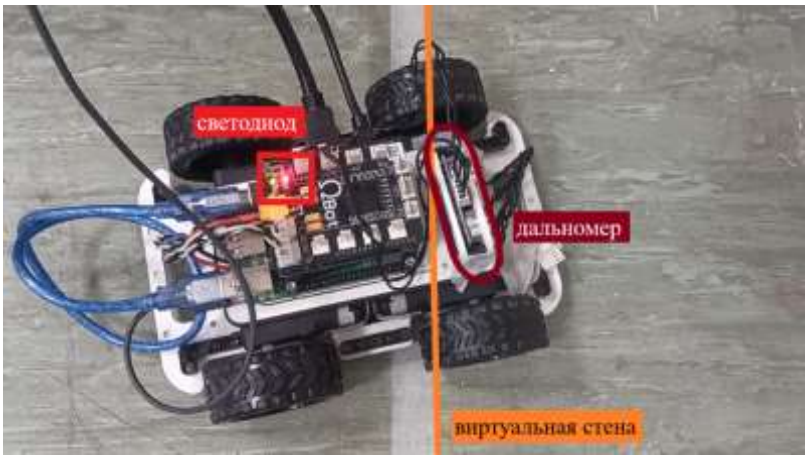


Рис. 3. Модель робота в среде Gazebo

Как только условный рефлекс сформировался, за счет переключения ключа с помощью блока «рефлекторная дуга» модель робота стала останавливаться по отклику прогнозирующего нейрона, что происходило до того, как болевой нейрон успевал сработать. Наличие реализации поведенческой функции мозжечка позволило предсказывать расстояние до виртуальной стены на основе уже имеющихся измерений и передавать их на прогнозирующий нейрон.

Реализация на мобильном роботе

Элементы системы управления мобильным роботом реализовывались по аналогии с модельной симуляцией. До момента, пока у робота не сформировался условный рефлекс, Omegabot останавливался у препятствия по срабатыванию нейрона «боль». В этом случае загоралась красная лампочка (рисунок 4, а), а в терминал выводилось соответствующее сообщение о врезании в виртуальную стену.



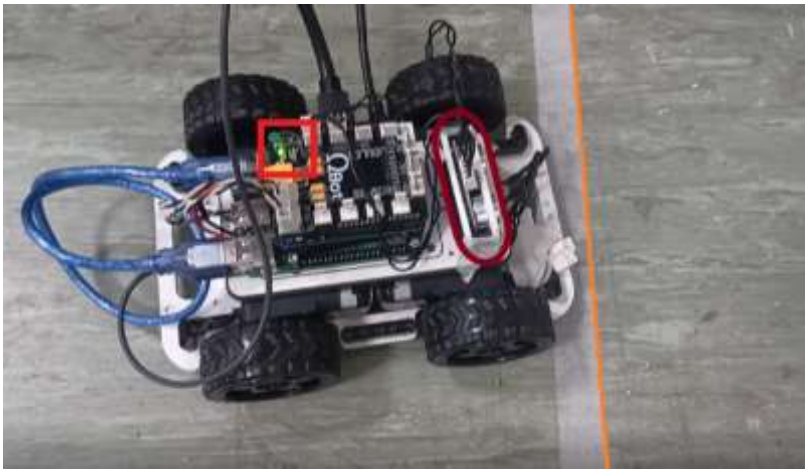


Рис. 4. Остановка мобильного робота у препятствия: а) до формирования условного рефлекса, б) после формирования условного рефлекса

После формирования условного рефлекса (рисунок 4, б) Omegabot останавливался у препятствия по отклику прогнозирующего нейрона до того, как срабатывал нейрон «боль», что было реализовано за счет остановки действия с помощью блока «рефлекторная дуга».

Заключение

В работе были реализовано формирование условного рефлекса на основе биоподобной системы «Рефлекс-Мозжечок-Боль» на мобильном роботе.

Перспектива дальнейшей работы заключается в том, чтобы усложнить схему «Рефлекс-Мозжечок-Боль», добавив несколько различных действий, которые позволили бы роботу перемещаться в среде без столкновения с препятствиями.

Список литературы

1. Bakhshiev A., Demcheva A., Stankevich L. (2021) CSNM: The Compartmental Spiking Neuron Model for Developing Neuromorphic Information Processing Systems // International Conference on Neuroinformatics, pp. 327–333.

2. Корсаков, А. М., Бахшиев, А. В., Астапова, Л. А., Станкевич Л. А. (2021). Реализация поведенческих функций на спайковых нейронных сетях. *Информатика и автоматизация*, *20*(3), 591-622.

3. Демчева А. А., Корсаков А. М., Бахшиев А. В. МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЛЕВЫХ ОЩУЩЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ БИНАРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ //ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА Учредители: Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики. – 2022. – Т. 1. – №. 1. – С. 355-361.

4. Предупреждение возникновения критических ситуаций в сложных технических системах с использованием нейроморфного подхода / А.А. Демчева [и др.] // Робототехника и техническая кибернетика. – Т. 11. - № 4. – Санкт-Петербург: ЦНИИ РТК. – 2023. – С. 281-291. – Текст: непосредственный.

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА НЕИНВАЗИВНОЙ РЕГИСТРАЦИИ УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ У ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

К.А. Бобкович[1], В.А. Карфидова[1], К.С. Комаров[1], М.А. Маклыгин[1], Д.Ю. Ивкин[2]

1СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

2СПбГХФУ

Аннотация. В данной работе предлагается концепт устройства для регистрации уровня глюкозы в крови лабораторных крыс с использованием спектроскопического метода, а также обоснование выбранного подхода к измерениям.

Ключевые слова: неинвазивное измерение, глюкоза, спектрофотометрия, лабораторные животные.

I. Обоснование выбора методики (спектрофотометрии)

Исследования уровня глюкозы в крови могут проводиться с использованием различных методов: электрохимические, оптические методы, электромагнитные и микроволновые технологии и метод спектрофотометрии. Выбор того или иного способа анализа концентрации вещества определяется доступностью технических средств, требуемой точностью, стоимостью разработки и тестирования и иными факторами, варьирующимися в зависимости от используемой методики. Оценка уровня глюкозы в крови модельных животных требует соблюдения ряда условий: высокой точности и скорости измерения, экономической оправданности многократных тестов, низкого уровня воздействия на биологический объект и безопасности пользователя [1]. Среди всех методов, доступных для рассмотрения, можно выделить спектрофотометрический, поскольку скорость получения результатов составляет меньше 30 секунд, сам способ анализа не требует использования тест-полосок и иных расходников, что позволяет снизить затраты на исследование. Так же предполагается, что живой организм, по отношению к которому применяется спектрофотометрический анализ, испытывает меньше стресса в сравнении с использованием инвазивных методов [2].

II. Описание концепта устройства

Разрабатываемое устройство состоит из двух компонентов: рестрейнер для фиксации крысы и блока получения данных и их передачи на компьютер, где они обрабатываются написанным ПО и заносятся в таблицу. В качестве краеугольной математической модели используется закон Бугера-Ламберта-Бера (1):

$$I(\lambda, C, x) = I_0 e^{-\mu(\lambda)x} = I_0 e^{-k(\lambda)Cx}, \qquad (1)$$

где I_0 – интенсивность источника оптического излучения с длиной волны λ, подаваемого на биологический объект; $I(\lambda, C, x)$ – интенсивность прошедшего объект оптического излучения, поступающего на фотоприемник (рис. 1); μ(λ) – коэффициент поглощения среды; k(λ) – удельный спектральный коэффициент поглощения на единицу концентрации; x – толщина исследуемой части тела грызуна (диаметр хвоста); C – концентрация вещества.

На рисунке 1 изображена структурная схема устройства.

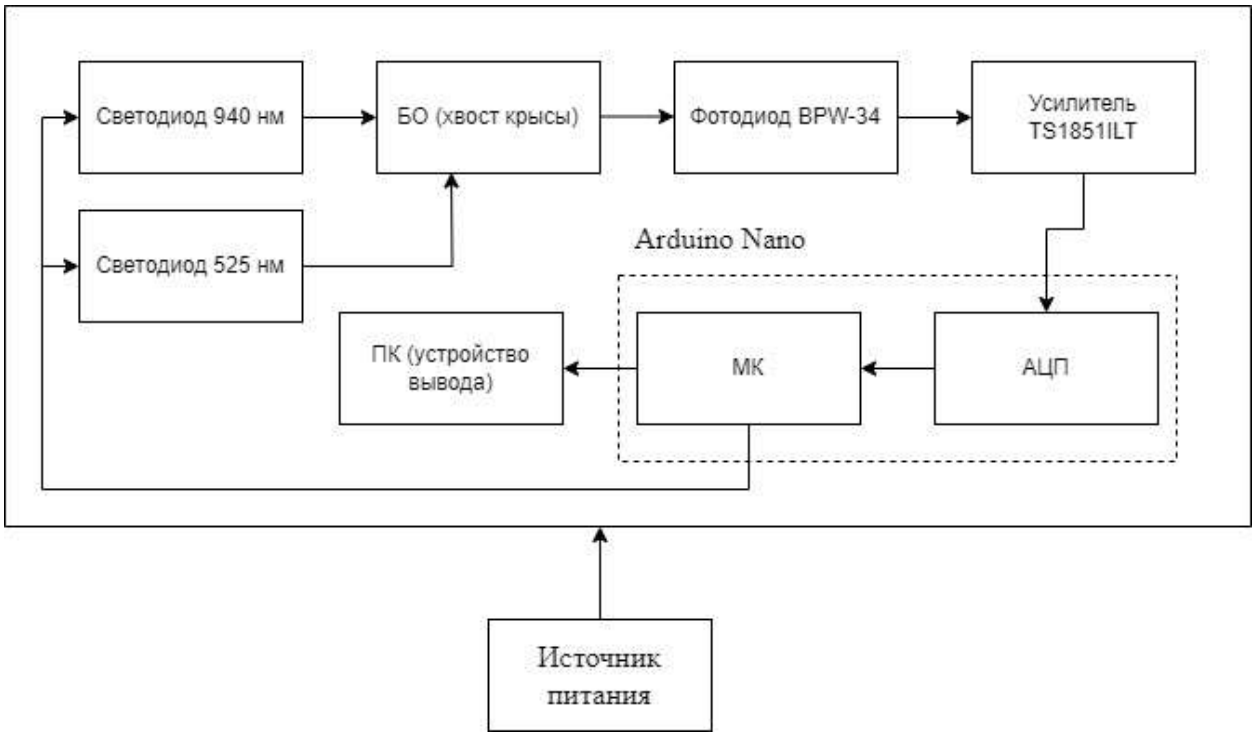


Рисунок 1. Блок-схема устройства

Согласно схеме, в устройстве находится несколько ключевых блоков: 1. источник света – ИК светодиод KM2520F3C03 с длиной волны 940 нм, на которой достигается пик спектра поглощения глюкозы, и светодиод в зеленом спектре с длиной волны 525 нм (светодиод в видимой зоне необходим, так как в ИК-диапазоне происходит поглощение света плазмой крови в больших количествах [3]); 2. исследуемый объект – хвост крысы, так как его легче зафиксировать; 3. блок приёма – фотодиод BPW-34, который фиксирует длину волны после поглощения; 4. Усилитель – TS1851ILT: блок фильтрации и усиления полезного сигнала с целью последующей обработки; 5. АЦП – аналогово-цифровой преобразователь, встроенный в Arduino, передает сигнал далее по схеме на систему вывода в виде персонального компьютера; 6. МК – микроконтроллер, встроенный в Arduino: программируемый блок содержит команды, отвечающие за перевод полученных от фотодиода данных в концентрацию глюкозы; 7. ПК – персональный компьютер является устройством вывода, поскольку отдельный внешний дисплей на этапе разработка концепта не предусмотрен; 8. Источник питания: USB 5V.

III. Пример полученных данных

В рамках разработки концепта технология была апробирована только на людях. Это тестирование вычислительной и технической базы требовалось для подтверждения работоспособности системы в доступном приближении. По итогам проведённых тестов было получено подтверждение «жизнеспособности» теории и макета, в результате чего началось проектирование образца неинвазивного глюкометра для лабораторных крыс, ввиду такого длительного этапа подготовки образца экспериментальные данные пока получены не были.

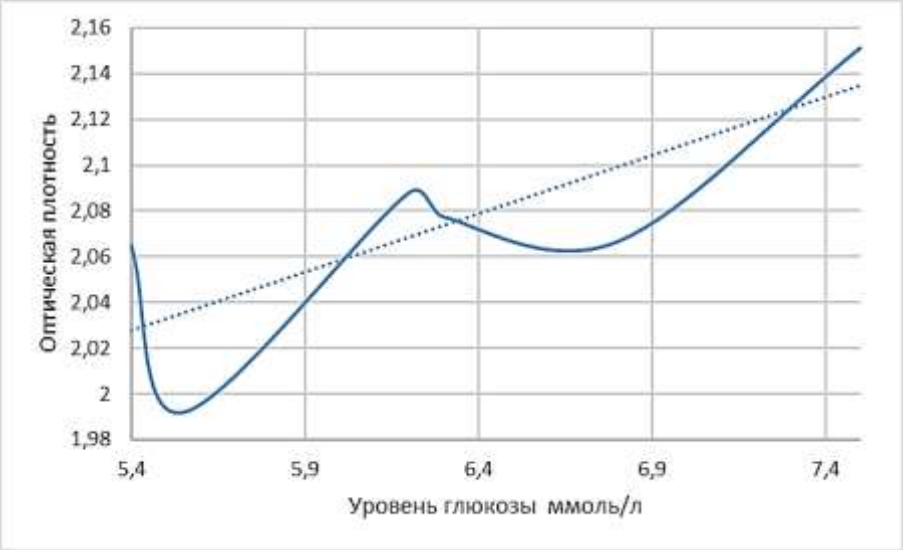


График 1. Зависимость оптической плотности от уровня глюкозы (теоретический и практический)

Лабораторный эксперимент для проверки возможности диагностирования уровня оптической плотности относительно концентрации глюкозы проводился с помощью устройств, использующих неинвазивный (разработанный АПК) и инвазивный (глюкометр модели Accu-Chek Active) методы измерения. В рамках эксперимента замер проводился на четырех испытуемых. Первым этапом проводилось измерение уровня глюкозы натощак: трехкратный забор крови с помощью тест-полоски со среднего пальца, а затем через разработанный АПК получено двадцать значений с той же фаланги. Далее испытуемые выпили настоянный чай с сахаром, и через 5 минут был произведен повторный замер. Спустя 30 минут выполнено последнее измерение. Итого получено 240 неинвазивных замеров и 36 инвазивных, значения обработаны программным путем. На графике 1, показывающем зависимость концентрации глюкозы от оптической плотности, наблюдается корреляция полученных данных с теоретической зависимостью оптической плотности от концентрации глюкозы [4].

IV. Заключение

По итогу исследований был создан прототип неинвазивного глюкометра для людей, на основе которого были проведены первичные тесты и выстроены зависимости, отображенные на Графике 1, и разработана теоретическая модель аналогичного по принципу действия прибора для мелких грызунов, преимущественно лабораторных крыс. Теоретическая модель имеет под собой разработанные блок-схемы, расчётные формулы для преобразования выходных данных в концентрацию глюкозы в крови, референсы будущего макета. Согласно данным, полученным при тестировании прототипа неинвазивного глюкометра на человеке, имеет место о соответствующей работоспособности метода оценки концентрации вещества и в отношении иных биологических объектов, однако выводы о возможности применения описанного способа измерения требуют экспериментального доказательства непосредственно на изначально предполагаемых биологических объектах.

Список литературы

1. Сравнительный анализ методов неинвазивного мониторинга глюкозы у человека / Бобкович К.А., Карфидова В.А., Комаров К.С., Маклыгин М.А. // Биотехнические, медицинские и экологические

системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы (Биомедсистемы-2023): Тез. докл. XXXVI Всероссийской науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2023 / Ряз. гос. радиотехн. ун-т, 2023. с. 248-252.
2. Дисс. Исследование и разработка комплексного метода анализа содержания глюкозы в крови на базе спектроскопического подхода, Загорский И.Г., СПбГЭТУ, 2019 г.
3. Неинвазивная оценка уровня гематокрита спектрофотометрическм методом / Юлдашев З.М., Бабичева Ю.Г., Анисимов А.А., Глазова А.Ю. // «Медицинская техника», 2014. №2 (284), с. 12
4. ВКР Разработка процессов кислотного гидролиза природных полимеров, Дедюрина А.А., Институт химии и энергетики, Тольятти, 2023, с. 35.

ОСОБЕННОСТИ ТОПОЛОГИИ МИКРОФЛЮИДНЫХ КАНАЛОВ В ГИБРИДНЫХ АКУСТОФЛЮИДНЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Д. С. Краснокутский

Центр Микротехнологии и Диагностики, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Аннотация. Обсуждаются особенности топологии микрофлюидных каналов, встраиваемых в акустическую систему на основе ПАВ-структуры. Рассмотрен физический принцип работы аналитической акустофлюидной системы, применяемой для экспресс-сепарации клеток. Особое внимание уделяется методике формирования и топологии микрофлюидной системы. Задача данной работы – оценка эффективности сопряжения электроакустической и микрофлюидной систем.

Ключевые слова: сепарация клеток, электроакустика, микрофлюидика.

Введение

Гибридные системы с интегрированными в электроакустическую платформу микрофлюидными каналами представляют собой перспективное направление в области разработки новых методов экспресс-диагностики заболеваний [1]. Воздействие акустических полей на биологическую жидкость обеспечивает управляемую сепарацию и манипуляцию клетками и другими биологическими объектами, что позволяет реализовывать высокоскоростные процедуры обработки образцов (фильтрация, сортировка, анализ). Современной задачей в аналитических системах становится преодоление ограничений традиционных методов сепарации, таких как центрифугирование или фильтрация, и обеспечение миниатюризации объема биологического образца, высокой эффективности, точности и чувствительности анализа.

Таким образом, преимущества обсуждаемого подхода включают ~~в себя~~ возможность работы с малыми объемами образцов, минимизацию потерь материала, а также улучшенную репрезентативность и воспроизводимость результатов. Кроме того, интеграция акустических полей с микрофлюидными каналами позволяет создавать компактные и портативные устройства, пригодные для использования как в полевых условиях, так и в медицинских учреждениях с ограниченными ресурсами.

Изготовление микрофлюидных систем

Микрофлюидная система, сопряженная с электроакустическим актюатором, необходима для прецизионного управления потоком жидкости и манипулирования частицами и клетками, а также для уменьшения риска попадания суспензии на ВШП. Для повышения производительности системы ~~была~~ разработана многоканальная

микрофлюидная система, что позволило одновременно производить сепарацию нескольких образцов. Дополнительный пассивный способ сепарации, связанный с детерминированным боковым смещением, позволяет повысить эффективность разделения частиц и клеток.

Характерные особенности таких систем включают:

- количество каналов – 2 (выбор обусловлен повышением производительности устройства с учетом небольших размеров пьезокристалла);
- рассчетный объем жидкости – 2 мкл (при таком объеме падение мощности системы остается в допустимых пределах);
- материал должен быть биосовместим с исследуемыми суспензиями с учетом обеспечения минимально возможных потерь;
- система должна быть устойчива и оптимально соотнесена с размерами рабочей области электроакустического модуля.

В качестве материала микрофлюидной системы ~~была~~ выбрана пленка поливинилхлорида (ПВХ) толщиной в 80 мкм. Формирование топологии осуществлено при помощи высокоточной лазерной резки пленки ПВХ. Сборка микрофлюидных каналов производилась по толстопленочной технологии, включая подготовку поверхности (осуществлялась очистка с применением изопропилового спирта); подготовку ПВХ-пленки; позиционирование ПВХ пленки на поверхности (данный этап производился в ручном режиме с использованием оптического оборудования); фиксация и отверждение с использованием клеевых материалов). На рисунке 1 показан прототип «С» акустофлюидной микросистемы.

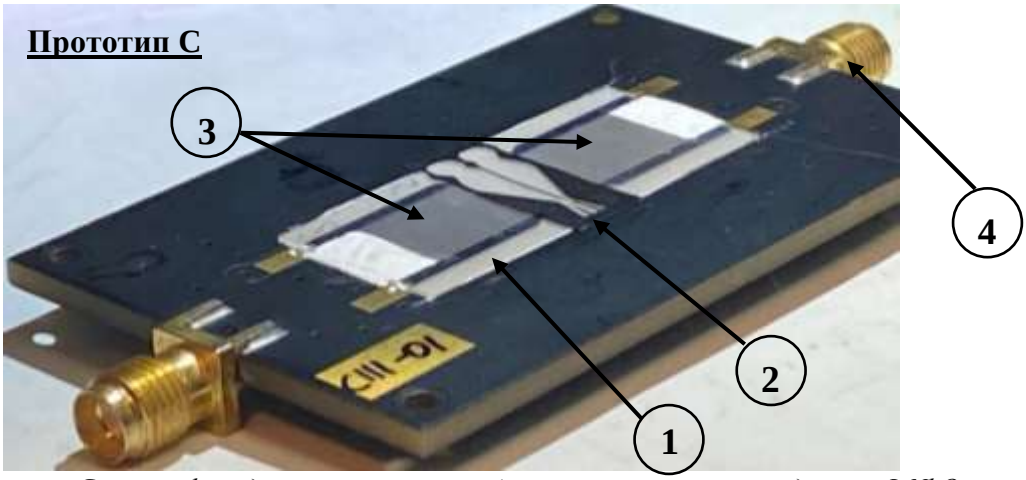


Рис. 1 Прототип С акустофлюидной микросистемы. 1 - пьезоэлектрическая подложка $LiNbO_3$, 2 – микрофлюидная система, 3 – ВШП, 4 – разъем для подачи напряжения

Разработан ряд электроакустических модулей, отличающихся друг от друга конфигурацией и размерами ВШП (рисунок 2).

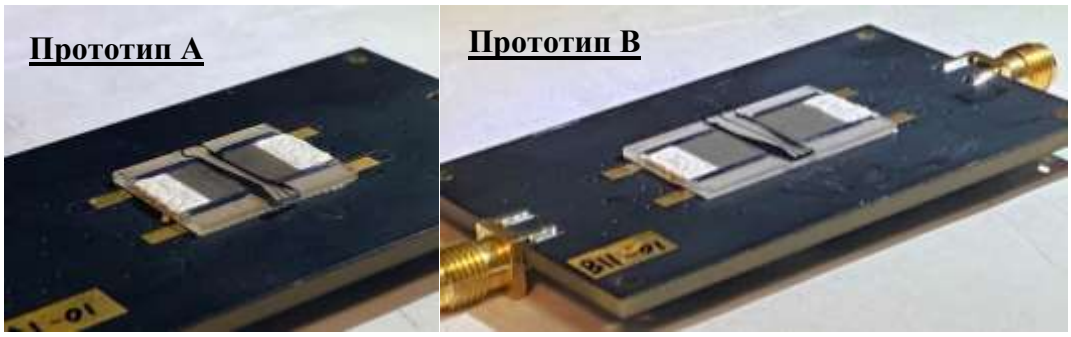


Рис. 2 Прототипы А и В акустофлюидной системы

Экспериментальная часть

На рисунке 3 показана схмеа установки для проведения экспериментов по сепарации частиц и клеток. Сепарация осуществляется за счет действия акустических полей на жидкость со взвешенными частицами и клетками. Градиент акустического давления приводит к появлению акустических микротечений, действующих на частицы так, что они будут формировать устойчивую пространственную конфигурацию.

Рассмотрим характерные особенности прототипов гибридных акустофлюидных систем, представленнбых на рисунках 4 и 5.

Прототип А. Сепарация крови является перспективной областью применения таких микрофлюидных систем. Представлен процесс разделения эритроцитарной массы крови и плазмы, обогащенной лейкоцитами и тромбоцитами (рисунок 4, а).

Прототип В. Исследован процесс сепарации одноклеточных микроорганизмов, на примере пространственного разделения бифидобактерий на макете В. На входы №1 и №2 загружали суспензию Bifidobacterium (не менее $5 * 10^7$ на см-3 колониеобразующих единиц). (рисунок 4, б).

Прототип С. Данный макет наиболее подходящий для эксперимента по одновременному разделению частиц двух различных суспензий и прецизионному смешиванию частиц одинакового размера. На вход №1 подаем суспензию Saccharomyces cerevisiae (концентрация - $4 * 10^8$ на $см^{-3}$), на вход №2 суспензия флуоресцентного пигмента (концентрация - 10^5 $см^{-3}$) (рисунок 5).

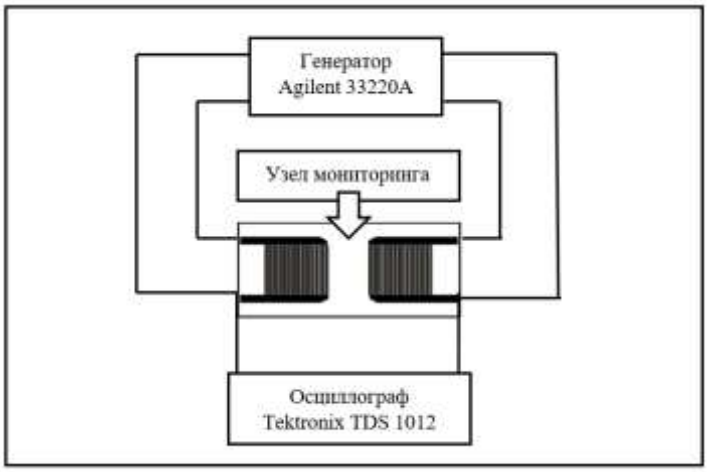


Рис. 3 Схема экспериментальной установки

Заключение

Рассмотрены ключевые особенности топологии микрофлюидных каналов, интегрируемых в гибридную акустофлюидную систему. Основное внимание уделено влиянию геометрической конфигурации каналов на эффективность манипуляции микрочастицами. Установлено, что геометрия каналов влияет на эффективность сепарации компонентов пробы. Для повышения эффетивности требуется точный рассчет и обоснованный выбор геометри канала. Это способствует более эффективному воздействию акустических волн на образец и обеспечивает повышение разрешающей способности системы и, следовательно, улучшенное разделение и сортировку биомолекул и частиц.

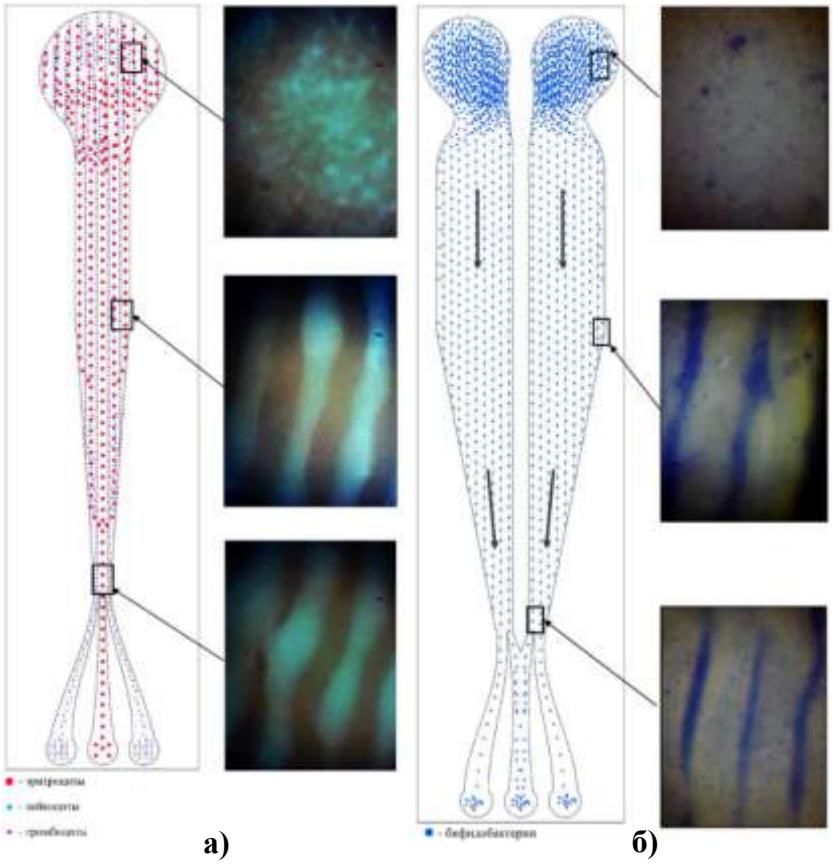


Рис. 4 Схема сепарации с полученными изображениями процесса а) – прототип А, б) – прототип В

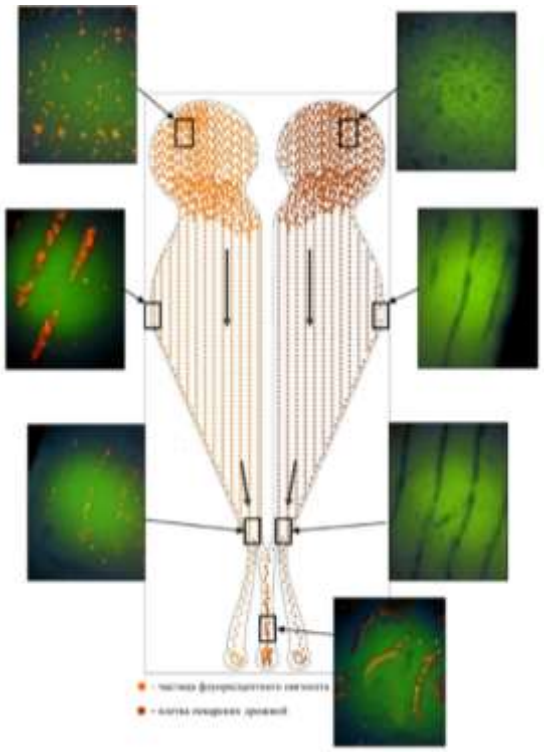


Рис. 5 Схема сепарации с полученными изображениями процесса (прототип С)

Список литературы

1. Yeo, L.Y. and Friend, J.R., 2014. Surface acoustic wave microfluidics. Annual review of fluid mechanics, 46, pp.379-406.
2. Li, P. and Huang, T.J., 2018. Applications of acoustofluidics in bioanalytical chemistry. Analytical chemistry, 91(1), pp.757-767.
3. Wu, M., Ozcelik, A., Rufo, J. et al. Acoustofluidic separation of cells and particles. Microsyst Nanoeng 5, 32 (2019). https://doi.org/10.1038/s41378-019-0064-3
4. Contreras-Naranjo, J. C., Wu, H.-J. & Ugaz, V. M. Microfluidics for exosome isolation and analysis: enabling liquid biopsy for personalized medicine. Lab Chip 17, 3558–3577 (2017).
5. Shields, C. W. IV, Reyes, C. D. & López, G. P. Microfluidic cell sorting: a review of the advances in the separation of cells from debulking to rare cell isolation. Lab Chip 15, 1230–1249 (2015).

АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ СТРЕССА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ С ДАТЧИКА КГР

МИХАЙЛОВ В.А.[1], ФИЛАТОВ А.Ю.[2]

[1]СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
[2] СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Аннотация. Стресс является одним из значимых факторов различных чрезвычайных ситуаций, возникающих на производстве или работе, а также в возникновении многих серьёзных заболеваний. В управлении стрессом могут помочь данные с устройств, измеряющих биосигналы человека. В этой статье описан метод, основанный на последовательной обработке данных КГР, который осуществляет разметку стресса. Большинство существующих решений для разметки КГР на наличие стресса основаны на машинном обучении и достигают точности выше 82%, однако авторы этих исследований мало внимания уделяли тому, что данные КГР весьма сильно зависят от конкретного человека. В этом исследовании предложено усовершенствовать подход [2], использующий алгоритм ADWIN, путём

внедрения анализа дисперсии сигнала, корректировки меток с помощью поиска локальных минимумов и других модификаций, учитывающих специфику данных КГР.

Ключевые слова: стресс, КГР, разметка, выявление стресса, дрейф в данных, ADWIN

Введение

Проблеме выявления стресса уделяется большое внимание в междисциплинарных исследованиях. Это связано с тем, что стресс приводит к различным пагубным физическим и психическим последствиям: например, тревожность, депрессия, сердечные приступы и инсульт [13]. КГР – это изменение кожного сопротивления, которое сообщает о различных эмоциональных и стрессовых реакциях, происходящих в результате изменения деятельности потовых желез. Существующие исследования [1,2] показали, что повышения уровня КГР и ситуации возникновения стрессового состояния имеют высокий положительный коэффициент корреляции. Это делает КГР одним из лучших индикаторов стресса.

В данный момент основным решением поставленной задачи является подход, основанный на машинном обучении с учителем [3, 4, 5, 6, 7]. Однако во всех перечисленных аналогах есть общие недостатки:

1. Показатели КГР у людей очень разные и могут сильно отличаться даже в одинаковых стрессовых ситуациях, что учитывается недостаточно.

2. Модель на вход получает последовательность значений кожной проводимости на отрезке времени, которой присваивается метка «стресс» или «спокойствие», но это не совсем корректно, т.к. последовательность может содержать оба состояния.

Одно исследование предлагает размечать сигнал КГР на предмет стресса последовательно [2], но этот алгоритм демонстрирует погрешность 2.5 минуты, что весьма велико.

Целью данного исследования является разработка точного алгоритма для автоматической разметки данных с устройства измерения кожно-гальванической реакции на наличие стресса, который будет учитывать индивидуальные особенности человека. Для этого необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ существующих подходов к разметке данных КГР.
2. Разработка метода автоматической разметки КГР.
3. Качественное и количественное исследование результатов.

Описание метода решения

1) Этапы обработки исходных данных. На входе у алгоритма временной ряд — необработанный сигнал КГР. Далее применяются следующие шаги обработки:

1. Удаление шума из данных с помощью медианного фильтра.
2. Агрегация данных: из каждого блока данных, соответствующего интервалу времени, равному одной минуте, извлекается среднее значение КГР.
3. Дискретизация временного ряда КГР с помощью символьной агрегатной аппроксимации (SAX).
4. Детектор аномалий (стресса) в данных.

В качестве детектора предлагается использоваться алгоритм под названием ADWIN (ADaptive WINdowing) [11]. Этот алгоритм предназначен для того, чтобы обнаруживать дрейф в данных. Алгоритм работает, как указано на рисунке 1.

И на выходе получается последовательность временных меток в формате *[*начало стресса*; *конец стресса*; *начало стресса*; *конец стресса*; ...]*

ADWIN: ADAPTIVE WINDOWING ALGORITHM

1 Initialize Window W
2 **for** each $t > 0$
3 **do** $W \leftarrow W \cup \{x_t\}$ (i.e., add x_t to the head of W)
4 **repeat** Drop elements from the tail of W
5 **until** $|\hat{\mu}_{W_0} - \hat{\mu}_{W_1}| \geq \epsilon_{cut}$ holds
6 for every split of W into $W = W_0 \cdot W_1$
7 output $\hat{\mu}_W$

$$m = \frac{1}{1/n_0 + 1/n_1} \text{ (harmonic mean of } n_0 \text{ and } n_1\text{)},$$

$$\delta' = \frac{\delta}{n}, \text{ and } \quad \epsilon_{cut} = \sqrt{\frac{1}{2m} \cdot \ln \frac{4}{\delta'}}.$$

Рис. 1. Описание алгоритм ADWIN. δ – входной параметр алгоритма, (обычно равен 0.002).

Такой подход не позволил получить достаточно высокую точность разметки.

2) Выбор порогового значения. Авторы алгоритма ADWIN предлагают [11] на практике использовать другое пороговое значение (на рис. 1 обозначается как ε_{cut}), а именно

$$\varepsilon_{cut} = \sqrt{\frac{2}{m} \cdot \sigma_w^2 \cdot ln\frac{2}{\delta'}} + \frac{2}{3m} ln\frac{2}{\delta'} \qquad (1)$$

Такое предложение следует из того, что исходное пороговое значение не предназначено для распределений с малой дисперсией, а специфика данных КГР заключается как раз в весьма высокой дисперсии, и была запрограммирована реализация с использованием порогового значения, как на рис.1, т.е.:

$$\varepsilon_{cut} = \sqrt{\frac{1}{2m} \cdot ln\frac{4}{\delta'}} \qquad (2)$$

Однако встречались сигналы и с низкой дисперсией (меньше 0.01), для которых было решено использовать более строгое пороговое значение (1), чтобы не было возникало ситуаций, как на рис. 2 — там отмечено несколько моментов стрессовых промежутков, хотя на самом деле сигнал почти не колеблется.

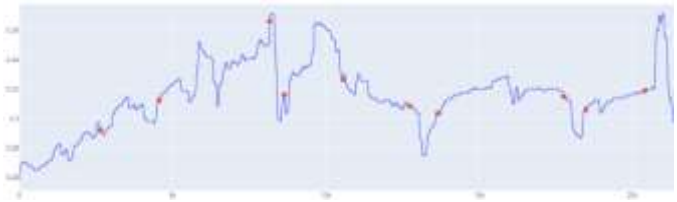


Рис. 2. Сигнал с маленькой дисперсией.

3) Множественное обнаружение «стресса». Такая ситуация показана на рис. 3.

Рис. 3. Первые две красные точки означают начало стресса, вторые две — окончание.

С точки зрения цели исследования вторая точка не имеет смысловой нагрузки и, значит, является лишней. В алгоритм была добавлена бинарная переменная («флаг»), которая принимала значение True, когда нужно игнорировать повышение уровня КГР, и наоборот.

4) Сопоставление полученного результата с исходным временным рядом. Последовательность меток, которая получается на выходе обработки данных, содержит метки, соответствующие агрегированным данным, но нужно определять моменты начала и окончания стресса на исходном сигнале. В связи с этим, необходимо корректно делать обратное преобразование этих меток к исходным данным.

После стандартного преобразования в лучшем случае результат будет получен с точностью до минуты. Поэтому после такого преобразования необходимо скорректировать значение полученной метки. Корректировка производится засчёт поиска локальных минимумов на двухминутной окрестности преобразованной временной метки.

Также измеряются интервалы между моментами окончания одного стресса и началом следующего. Если этот интервал меньше двух минут, то два промежутка стресса объединяются в один.

Таким образом применены следующие изменения: дифференциация сигналов в зависимости от дисперсии, объединение меток начала «стресса» в одну, если их обнаруживается несколько, объединение промежутков «стресса», если расстояние между окончанием одного «стресса» и началом следующего пренебрежимо мало, проработка этапа преобразования меток к исходному сигналу на основе анализа окрестности метки.

Исследование метода решения

Оценка производилась на трёх независимых наборах данных. На каждый временной ряд приходится некоторое количество эталонных точек изменения и некоторое количество предсказанных точек изменения. Под погрешностью можно понимать метрику MAE. Получается следующая формула погрешности:

$$error = \sum_i |r_i - p_i| + k|n - m|,$$

где r_i - эталонные точки, p_i - предсказанные точки, n- количество эталонных точек, m-количество предсказанных точек, k=1000 - коэффициент, который уравняет порядки величин.

Погрешности составили 0.96 минуты и 1.6 минуты для точек начала и точек окончания стресса соответственно. Относительно базовой версии алгоритма ADWIN, погрешность которого составляла 2.5 минуты, модификация показывает более достойный результат.

Заключение

В данной работе была рассмотрена проблема автоматической разметки данных с устройства измерения кожно-гальванической реакции на наличие стресса.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Была проанализирована научная литература по теме обнаружения стресса в данных, измеренных датчиком КГР. В результате выделен наиболее предпочтительный подход к разметке данных КГР — поиск дрейфа в дискретизированном сигнале.

2. Был разработан метод автоматической разметки КГР, основанный на применении алгоритма ADWIN.

3. Проведено исследование результатов.

Таким образом, разработка метода автоматической разметки КГР на наличие стресса была основана на модификации уже предложенной последовательности обработки данных. Были выявлены причины, по которым ADWIN не достигал хорошей точности, и устранены.

Как итог, был создан новый алгоритм разметки сигнала КГР. Проведен количественный анализ результатов работы модифицированного алгоритма. В результате можно сделать вывод, что точность определения стресса была улучшена по сравнению с существующими решениями.

Связь дисперсии и вероятность обнаружения точки изменения в сигнале может быть изучена более детально, что может позволить точнее дифференцировать стресс и спокойствие, если это потребуется.

Разработанный в ходе этого исследования алгоритм определения стресса по данным с датчика КГР может являться инструментом для формирования разметки на наличие стресса.

Список литературы

1. Gaviria, B., Coyne, L., & Thetford, P. E. (1969). CORRELATION OF SKIN POTENTIAL AND SKIN RESISTANCE MEASURES. Psychophysiology, 5(5), 465–477. doi:10.1111/j.1469-8986.1969.tb02850.x
2. Bakker, J., Pechenizkiy, M., & Sidorova, N. (2011). What's Your Current Stress Level? Detection of Stress Patterns from GSR Sensor Data. 2011 IEEE 11th International Conference on Data Mining Workshops.
3. S. Sriramprakash, V. D. Prasanna, and O. V. R. Murthy, ''Stress detection in working people,'' Procedia Comput. Sci., vol. 115, pp. 359–366, Jan. 2017.
4. Iqbal, T.; Elahi, A.; Shahzad, A.; Wijns, W. Review on Classification Techniques used in Biophysiological Stress Monitoring. arXiv 2022, arXiv:2210.16040.
5. Seyed Amir Hossein Aqajari, et al. (2020). GSR Analysis for Stress: Development and Validation of an Open Source Tool for Noisy Naturalistic GSR Data. arXiv preprint arXiv:2005.01834 (2020)
6. N El Haouij and et.al., "Feature extraction and selection of electrodermal reaction towards stress level recognition: Two real-world driving experiences," 47emes Journees de Statistique de la SFdS (JdS), 2015.
7. Hindra andet.al. Kurniawan, "Stress detection from speech and galvanic skin response signals," in IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems. IEEE, 2013.
8. W. Boucsein. Electrodermal Activity. The Springer series in behavioral psychophysiology and medicine. Springer, 2011.
11. A. Bifet and R. Gavalda, "Learning from time-changing data with ` adaptive windowing," in Proc. 2007 SIAM Int. Conf. Data Mining, vol. 7. SIAM, 2007, Conference Proceedings, p. 2007.
13. J. Cacioppo, L. Tassinary, and G. Berntson. Handbook of Psychophysiology. Cambridge University Press, 2000.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С БИОЛОГИЧЕСКИМИ ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ НА БАЗЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА LEGO MINDSTORMS EDUCATION EV3 И БИОСЕНСОРОВ BITRONICS NEUROLAB

А.В. Могильников

ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,

Аннотация. В данной статье исследуется новый тип управляющих систем – биоэлектрических систем управления, в которых связь между живым организмом и различными техническими устройствами осуществляется посредством электрических биосигналов человека, генерируемых различными возбудимыми тканями. Представлены результаты имитационного моделирования и оптимизации спроектированного макета бионической руки на базе сенсоров BiTronics NeuroLab и образовательного конструктора LEGO MINDSTORMS Education EV3: получен график зависимости угла поворота сервомотора от сигнала модуля

для считывания электромиографических импульсов в режиме амплитуды силы при различных пороговых значениях. Рассчитаны оптимальные значения параметров модели для качественного управления робототехнической системой.

Ключевые слова: биоэлектрическая система управления (БЭСУ), бионическая рука, биоэлектрические потенциалы, электромиография (ЭМГ), электроэнцефалография (ЭЭГ), моделирование, оптимизация, пороговое значение, робототехнический комплекс, LEGO MINDSTORMS Education EV3, биосенсоры, Bitronics NeuroLab.

Актуальность исследования

Существенные результаты исследований, достигнутые за последние годы в области биоэлектрического управления, создают предпосылки для решения научных (научно-практических) задач, связанных с использованием биоэлектрических систем для управления различными манипуляционными устройствами робототехнических комплексов [1]. Биоэлектрическое управление (БЭУ) – это управление, использующее в качестве команд или сигналов обратной связи сигналы биоэлектрической активности. Наиболее широкое распространение получили методы БЭУ, в основе которых лежит использование биоэлектрической активности мышц.

Преимущества использования биопотенциалов в качестве управляющих сигналов, как показывает накопленный в электрофизиологии опыт, обусловлены тремя основными причинами:

1. Биоэлектрические потенциалы, генерируемые различными возбудимыми тканями, обладают достаточно высокой информативностью, поскольку отражают изменения состояния как отдельных клеточных структур, так и целых органов, и систем.

2. Биоэлектрические потенциалы позволяют создавать системы управления, обладающие высокой оперативностью, поскольку их изменения предшествуют изменениям ряда других физиологических показателей и отражают сдвиги этих показателей в микроинтервалах времени.

3. Биопотенциалы с технической точки зрения – наиболее удобный вид сигнала в связи с относительной простотой их преобразования в форму, пригодную для управления.

Эти особенности и определили создание нового типа управляющих систем – БЭСУ.

Регистрация и обработка биопотенциалов в задачах управления робототехническими устройствами

Регистрация и обработка биопотенциалов в задачах управления робототехническими устройствами происходит следующим образом. Организм человека представляет собой сложную электромагнитную систему, генерирующую различные биотоки, одними из которых являются биотоки мышц и головного мозга. Эти биотоки регистрируются биосенсорами – датчиками ЭМГ и ЭЭГ соответственно (рисунок 1).

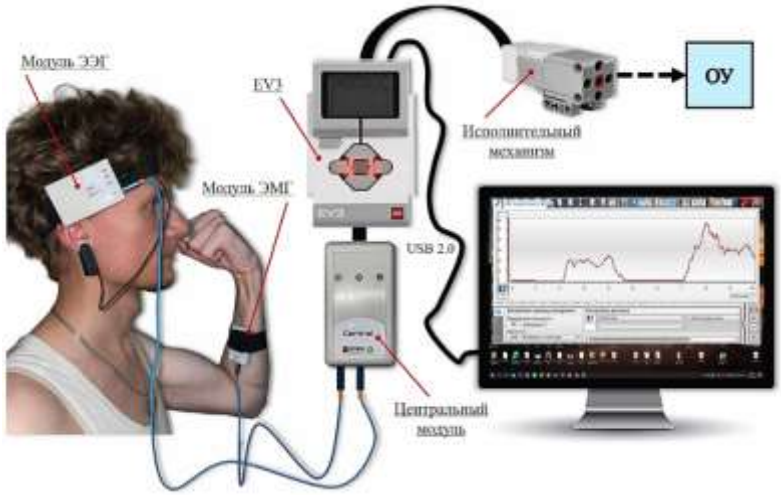


Рис. 1. Регистрация и обработка биопотенциалов с помощью комплекта модулей Bitronics NeuroLab

Для регистрации электрической активности мозга на поверхности головы оператора, в затылочной части, располагают парные электроды, а также на мочке уха – для согласования электрической цепи прибора и тела человека. Для регистрации электрической активности мышц на тело крепятся поверхностные электроды (неинвазивный метод диагностики), два из которых передают электрический сигнал в электромиограф, а третий также служит для согласования электрической цепи прибора с телом человека, в том числе, чтобы обеспечить точность измерений и минимальные помехи. Датчики подключаются через соединительные провода к центральному модулю, который обеспечивает передачу данных от биосенсоров в микроконтроллер EV3. Сопряжение центрального модуля с EV3 осуществляется через порты ввода. Порты вывода используются для подключения исполнительных механизмов, которые уже воздействует на объект управления (ОУ). Связь с персональным компьютером устанавливается через интерфейс USB2.0 или Bluetooth с помощью USB-адаптера. Для отображения и анализа выходных сигналов используется окно осциллографа: показания датчиков можно просматривать в реальном времени в режиме осциллоскопа.

Биоэлектрическая система управления макетом бионической руки [2]

Для конструирования макета бионической руки были использованы следующие детали: микроконтроллер EV3; четыре средних мотора; детали, входящие в состав набора LEGO MINDSTORMS Education EV3; центральный модуль BiTronics NeuroLab; один датчик ЭМГ; соединительные провода.

Модель спроектированного экзоскелета представлена на рисунке 2. Восемь зубчатых колёс, соединённых попарно между четырьмя средними моторами и основаниями спроектированных конечностей и выполняющих функцию пястно-фаланговых суставов, позволяют производить сгибание и разгибание фаланг вокруг фронтальной оси.

Разработана программа для сбора и обработки данных с датчиков в робототехнической системе, которая позволяет выполнять оцифровку получаемых с устройств аналоговых сигналов, что в свою очередь существенно упрощает задачу анализа входных и выходных параметров, характеризующих объект исследования. Подробное описание программы представлено в статье [3].

Рис. 2. Биоэлектрическая система управления макетом бионической руки

Анализ полученных результатов исследования

Анализ полученных результатов исследования позволяет раскрыть особенности механизмов влияния управляющих импульсов на технические характеристики робототехнической системы: выявить зависимости поворотов осей средних моторов, выполняющих функцию управления проксимальными фалангами, в градусах или полных оборотах, от биоэлектрических командных сигналов, циркулирующих в контуре обратной связи (рисунок 3) [3]. Данную зависимость можно также описать формулой (1):

$$\varphi = \mathbf{f}(\mathbf{U}), \quad (1)$$

где φ – угол поворота сервомотора (град.); $\mathbf{U}$ – сигнал модуля ЭМГ в режиме амплитуды силы (в отн. ед.).

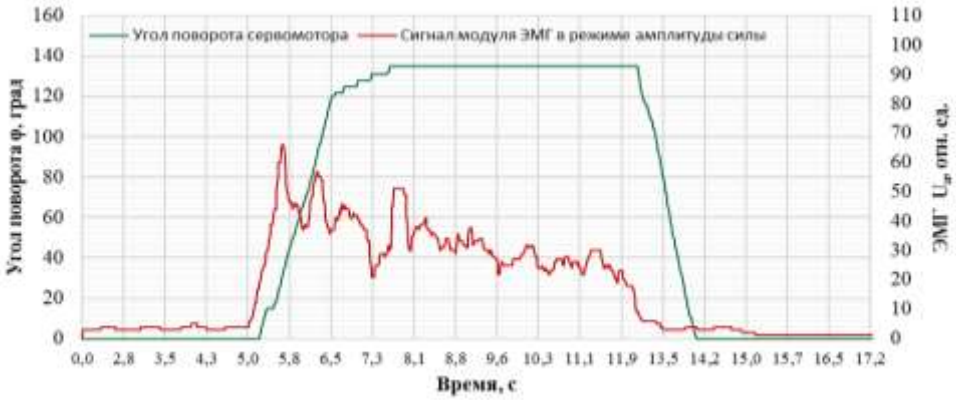


Рис. 3. График зависимости угла поворота сервомотора от сигнала ЭМГ

В представленном на рисунке 2 макете обратная связь осуществляется визуально. При этом оператор, управляющий работой макета, непосредственно следит за положением искусственной кисти руки и в соответствии с результатами наблюдения и с собственными намерениями, напрягает ту или иную мышцу (самостоятельно изменяет интенсивность биопотенциалов). Поэтому данная БЭСУ относится к системе произвольного управления, так как оператор самостоятельно изменяет характеристику управляющего сигнала [4].

На рисунке 4 представлены графики зависимостей углов поворота сервомоторов от выходных сигналов ЭМГ при различных пороговых значениях – $\mathbf{U_п = 30}$ о.е. и $\mathbf{U_п = 50}$ о.е.

Из верхнего графика видно, что оператор затрачивает почти максимальную силу сокращения мышц, чтобы привести механизм экзоскелета кисти руки в действие. Первый пик активности мышц на 3-ей секунде позволяет повернуть (сжать) пальцы макета на 33 градуса. Это составляет около 25% от полного функционирования данной БЭСУ. Второй пик сигнала ЭМГ на 5-ой секунде длится по времени больше, чем первый. Данный

временной интервал позволяет оператору увеличить угол поворота сервомотора на 20 градусов, т. е. плотнее сжать фаланги в кулак, но состояние его мышц должно находиться в постоянном максимальном напряжении, а это в свою очередь влечет за собой определённые энергозатраты организма. Возникшее напряжение не только не приносит пользы (режим функционирования такой системы нерациональный), но ещё и вредит самому организму: возникают мышечные зажимы, спазмы, блоки. Поэтому данная БЭСУ требует оптимизации для улучшения её эффективности, сущность метода которой и заключается в нахождении оптимальных значений параметров модели (уставок срабатывания) для качественного управления робототехнической системой, т.е. система должна работать стабильно при оптимальных изменениях напряжения мышц.

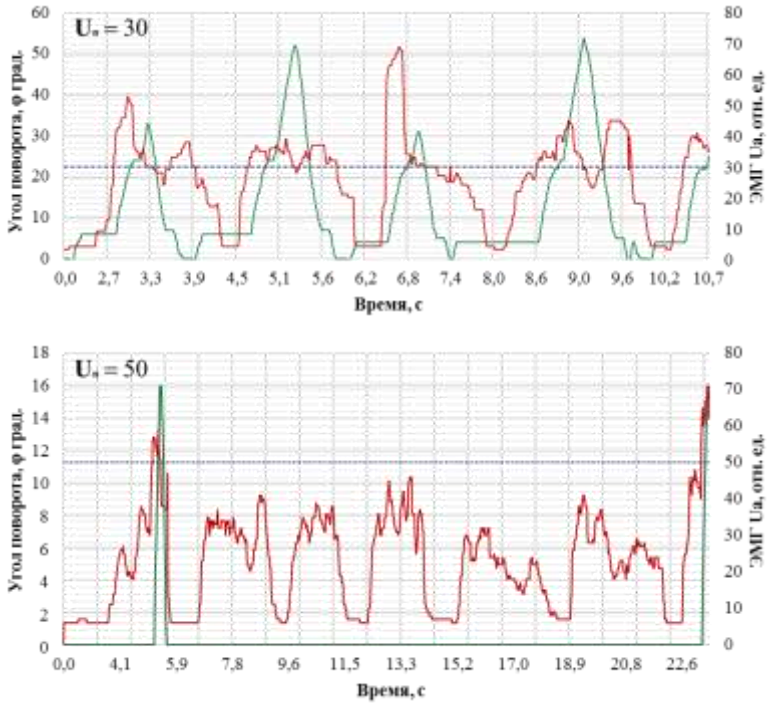


Рис. 4. Графики зависимостей углов поворота сервомотора от выходных сигналов ЭМГ при различных пороговых значениях – $U_п$ = 30 о.е (верхний) и $U_п$ = 50 о.е. (нижний)

Из нижнего графика на рисунке 4 видно, что оператор затрачивает максимальную силу сокращения мышц, чтобы привести механизм экзоскелета кисти руки в действие. Первый пик активности мышц на 5-ой секунде позволяет повернуть (сжать) пальцы макета на 16 градусов. Далее, как видно из графика, усилий оператора уже недостаточно, чтобы БЭСУ функционировала стабильно. Можно сделать вывод, что оптимальное пороговое значение управления БЭСУ лежит в пределах $\mathbf{U_п}$ = **10÷20** о.е.

Научные результаты исследования

Выполненные исследования позволили получить совокупность новых результатов и положений, заключающихся в том, что:

1. Исследованы современные методы и средства управления биоэлектрическими системами с помощью воздействия на них биопотенциалов скелетных мышц и электрической активностью головного мозга человека на примере спроектированной робототехнической модели.

2. Разработана программа для сбора и обработки данных с датчиков в робототехнической системе, которая позволяет выполнять оцифровку получаемых с устройств аналоговых сигналов, что в свою очередь существенно упрощает задачу анализа входных и выходных параметров, характеризующих объект исследования.

3. Произведён анализ биоэлектрических систем управления, который позволяет раскрыть особенности механизмов влияния управляющих импульсов на технические характеристики робототехнических систем: выявить характер зависимости измеряемых величин моторов EV3 (сервомеханизмов с отслеживанием вращения, точным управлением скоростью, мощностью и углом поворота) от биоэлектрических командных сигналов, циркулирующих в контуре обратной связи.

Список литературы

1. Катыс Г.П., Мамиконов Ю.Д., Мельниченко И.К., Ильинский В.М., Карягин О.И. Информационные роботы и манипуляторы. - Москва: Энергия, 1968. - 104 с.
2. BiTronics NeuroLab. Методические рекомендации по использованию комплекта модулей BiTronics NeuroLab. 2020. – 148 с.
3. Исследование биоэлектрической системы управления макетом бионической руки на основе датчиков регистрации биосигналов BiTronics / А. В. Могильников, Н. В. Андриевская // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всерос. науч.-техн. конф. (г. Пермь, 23 мая 2017 г.): в 2 т. Т. 1 / М-во образования и науки Рос. Федерации, Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017. - С. 355-359.
4. Холдин, С. С. Исследование системы управления биоэлектрическим протезом кисти руки / С. С. Холдин, Д. А. Котин // Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов. В 9-ти частях, Новосибирск, 03–07 декабря 2018 года. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2018. – С. 191-192. – EDN VSINDJ

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИБОРА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ В МАНЖЕТЕ ЭНДОТРАХЕАЛЬНОЙ ТРУБКИ С АППАРАТОМ ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЁГКИХ

П.А. МУРАВЬЕВ, А.С. ПОЛЯЕВ, В.П. ЗАХАРОВ

[1]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара
[2]ООО «АИР-СИСТЕМЫ», г. Самара

Аннотация. Разработана система прибора контроля и управления давлением в эндотрахеальных трубках с аппаратом искусственной вентиляции лёгких с помощью датчика потока и давления. Проведены испытания прибора

Ключевые слова: искусственная вентиляция лёгких, эндотрахеальная трубка.

Ежегодно около одного миллиона россиян находятся на искусственной вентиляции лёгких (ИВЛ). Пациент подключается к аппарату ИВЛ посредством эндотрахеальной трубки (ЭТТ). Манжета ЭТТ герметизирует дыхательные пути пациента. ЭТТ напрямую соприкасается со слизистой трахеи и голосовых связок, и уже через 6 часов от начала процедуры ИВЛ начинают развиваться осложнения.[1] Во избежание развития пролежней на голосовых связках на 3-5е сутки ИВЛ реаниматологи вынуждены проводить операцию

на дыхательных путях пациента, чтобы обеспечить возможность провести трубку минуя голосовые связки – трахеостомию.

Авторами предложен прибор снижающий давление в манжете ЭТТ в фазу выдоха пациента. Данная технология позволит снизить риск возникновения осложнений на трахее, нормализовать работу мукоцилярного клиренса.

Прибор состоит из системы управления с интерфейсом, позволяющим задавать режимы работы и отображающей значение давления в манжете ЭТТ, датчика фазы дыхательного цикла, размещенного в дыхательном контуре пациента и пневматического контура. [2]

Пневматический контур включает в себя трубку для подключения ЭТТ, два клапана переключения давления, клапан аварийного сброса давления, датчик давления и воздушный насос. Манжета ЭТТ или ТТ является частью одноразовой ЭТТ или ТТ стороннего производителя, подключаемая к патентуемому аппарату посредством Луер Лок разъёма. Клапан переключения давления представляет собой 3-х ходовой клапан.

Система управления получает данные о фазе дыхания пациента по датчику, расположенному в дыхательном контуре пациента.

В фазу вдоха система управления переключает клапаны регулирования давления на накачку манжеты и включает воздушный насос до тех пор, пока не будет достигнут верхний заданный уровень давления.

В фазу выдоха система управления переключает клапаны регулирования давления на дефляцию манжеты и включает воздушный насос до тех пор, пока не будет достигнут нижний заданный уровень давления.

Для правильной работы прибора необходимо получать данные о фазе дыхательного цикла пациента.

Для определения фазы дыхательного цикла пациента можно использовать данные о потоке или давления дыхательной смеси в контуре пациента. На рисунке 1 приведены временные диаграммы дыхательного цикла пациента на ИВЛ в режиме вентиляции по объёму и их корреляция с показаниями датчика потока и уровня давления манжеты ЭТТ. 1 – давление в манжете ЭТТ, 2 – поток воздуха, 3 - дыхательный объём, 4 – фаза вдоха, 5 – фаза выдоха.

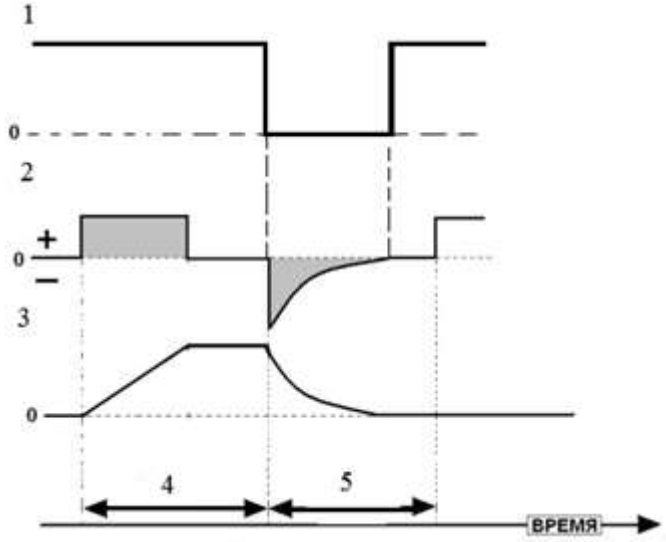


Рисунок 1. Временные диаграммы изменения давления и потока в контуре пациента при ИВЛ

Из кривых потока и давления видно, что наибольшее изменение происходит у параметра потока дыхательной смеси в контуре. Поэтому было принято решение использовать для определения фазы дыхательного цикла сигнал с датчика потока, установленного на У-коннекторе дыхательного контура.

В медицинской реанимационной технике применяют два типа датчиков потока: пневматические и электрические. Электрические датчики потока представляют две нити накала в трубке на которые подаётся напряжение, обдуваемый воздух изменяет сопротивление нитей, что изменяет ток протекаемый через них. Данное изменение тока фиксируется прибором и затем рассчитывается поток воздуха.

Пневматический датчик создаёт разницу давления на выходных магистралях, которая регистрируется дифференциальным датчиком давления.

В работе был выбран пневматический датчик давления, так как его легко можно установить в любой контур пациента, существуют одноразовые и многоразовые датчики, а самое главное использование электрической части в контуре пациента усложняет процедуру государственной регистрации изделия.

В качестве датчика был выбран датчик Гамильтон 260179. Сигнал с датчика потока поступает на дифференциальный датчик давления CF-Sensors XGP6897A. При включении прибора контроля и управления давлением в манжете ЭТТ считывается показание датчика давления, принимаемое за нулевое значение. Обычно примерно 2,5 В. В фазу вдоха показания датчика увеличивается до 4 В (при объёме дыхания 1000 мл), в фазу выдоха снижается до 0,5 В (при объёме дыхания 1000 мл). Далее сигнал с датчика подаётся на АЦП микроконтроллера, для фильтрации и обработки. Разрабатываемый прибор был подключен к аппаратам ИВЛ различных производителей («АВЕНТА-М» (ОАО «УПЗ», РФ), «ТРИТОН МВ-200» (ООО «Тритон-Электроникс», РФ), «Draeger Evita» («Draeger Gmbh», Германия), «MindraySV-300» («Shenzhen Mindray Scientific CO, Ltd», КНР)). В ходе эксперимента была поставлена задача определить граничные параметры работы разрабатываемого прибора. Датчик потока аппарата воспринимает изменение направления потока в контуре пациента при заданном дыхательном объёме от 100 мл, частоты дыхания до 30 вдохов в минуту в режимах вентиляции по объёму и по давлению. Максимальной границы дыхательного объёма зафиксировано не было.

Однако, в ходе демонстрации образца прибора медицинскому сообществу разработчикам было сделано замечание о неудобстве и дороговизне использования датчика потока в клинической практике. Так же в ходе длительной ИВЛ мембраны и линии потока могут покрываться конденсатом, искажающим показания.

Поэтому было принято решение использовать показания давления в контуре. Сигнал давления будет сниматься с порта бактериального фильтра. Данный порт имеют все стандартные бактериальные фильтры для дыхательного контура. Использования фильтра предполагает защиту прибора от инфекций, передаваемых пациентом. Давление в контуре пациента изменяется в диапазоне от -5 (при несинхронизированном вдохе пациента) до 50 см вод.ст. (при кашле пациента). Поэтому в качестве измерительного преобразователя был выбран пьезоэлектрический датчик давления XGZP6847 компании CF-Senors. Данный датчик имеет линейную характеристику в области от 0 до 10кПа. Датчик оснащён встроенным усилителем. Выходной сигнал с датчика был 0,5 – 3,5 В. Далее сигнал с датчика подаётся на АЦП микроконтроллера, для фильтрации и обработки. Для точности измерения в программе МК предусмотрена калибровка нулевого значения датчика давления. В ходе работы была определена сложность по определению фазы выдоха при высоком положительном давлении в конце выдоха (ПДКВ), к тому же врач может менять

данный параметр в течение вентиляции больного. Поэтому было программно организовано измерение среднего минимума сигнала за 1 минуту и присвоение ему значения выдоха.

Для проверки работоспособности технологии был проведен эксперимент аналогичный испытанию датчику потока. Разрабатываемый прибор был подключен к аппаратам ИВЛ различных производителей («АВЕНТА-М» (ОАО «УПЗ», РФ), «ТРИТОН МВ-200» (ООО «Тритон-Электроникс», РФ), «Draeger Evita» («Draeger Gmbh», Германия), «MindraySV-300» («Shenzhen Mindray Scientific CO, Ltd», КНР)). Датчик потока аппарата воспринимает изменение направления потока в контуре пациента при заданном дыхательном объёме от 100 мл, частоте дыхания до 30 вдохов в минуту в режимах вентиляции по объёму и по давлению.

Прибор контроля и управления давлением в манжете ЭТТ Результаты работы прибора не зависят от марки аппарата ИВЛ. Это обусловлено стандартными режимами ИВЛ.

В ходе эксперимента было выявлено предпочтительное определение фазы дыхательного цикла с помощью датчика давления в контуре пациента.

В дальнейшем планируется проведение испытаний прибора на модели дыхательной системы человека для оценки эффективности удаления секрета из дыхательных путей пациента.

Список литературы

1. Паршин, В.Д. Хирургия рубцовых стенозов трахеи / М.: Изд-во РНЦХ, 2003. – 152 с.

2. Патент РФ № 2733 970 C1, МПК A61M 16/04. Система комплексной профилактики осложнений искусственной профилактики лёгких. Опубликовано: 08.10.2020, Бюл. № 28.

АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МОДЕЛИ ФОТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ПРИБОРА

Порядин О.Г.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В данной работе проведена апробация разработанной автором модели фототерапевтического прибора с помощью комплекса для функциональной диагностики состояния организма «Медискрин». Выполнен расчет плотности мощности излучения адресной светодиодной матрицы на рабочем расстоянии от пациента (1 м). Проведено исследование мощностных характеристик светодиодной матрицы при помощи спектрофотометра. Дан анализ полученных результатов и оценена возможность использования прибора в ЛПУ.

Ключевые слова: фототерапия, светодиодная матрица, плотность мощности излучения, электропунктурная диагностика, сбалансированный организм.

Введение

Воздействие на пациента электромагнитной волной видимого спектра (фототерапия) всё чаще и чаще применяется в современной медицине. Это связано с многочисленными исследованиями о полезных действиях света на организм человека. Светом можно лечить ожоговые травмы, заболевания опорно-двигательного аппарата, способствовать восстановлению организма после физической нагрузки, снижать повышенное давление

крови при артериальной гипертензии, стимулировать выработку коллагена в коже, подавлять негативное воздействие ультрафиолетового излучения, ускорять или замедлять протекание ферментативных реакций в клетках, воздействовать на выработку гормонов эпифизом и регулировать состояние нервной системы человека. Данный перечень является неполным и будет пополняться, так как научные исследования в этой области ведутся до сих пор.

Фототерапия является дешевым методом лечения по сравнению с использованием фармакологических средств и препаратов. Широкий спектр применения делает фототерапию практически универсальным способом лечения и реабилитации больных. Также стоит отметить безвредность воздействия света на организм человека и практически полное отсутствие противопоказаний к проведению процедур. Из всего этого следует необходимость увеличения доли фототерапевтического оборудования на российском рынке путем разработки новых и более совершенных моделей.

Модель фототерапевтического прибора

«Мозгом» прибора является микроконтроллер Atmega2560. Передвижение по меню, настройка параметров, включение и выключение процедуры осуществляется с помощью энкодера. Имеется возможность настроить время процедуры (от 0 до 50 минут) и мощность излучения светодиодной матрицы, выбрать цвет воздействия (красный, желтый, зеленый, синий или фиолетовый). Также прибор может использоваться для проведения звукотерапии, однако в этой работе данная функция не рассматривается. Разработанная

модель фототерапевтического прибора представлена на рисунке 1.

Рис. 1. Модель фототерапевтического прибора

К прибору подключается светодиодная матрица, составленная из адресной светодиодной ленты WS2815. Плотность светодиодов: 60 LED/м. Количество светодиодов: 900. Размеры матрицы: 75×34 см.

Расчет плотности мощности излучения светодиодной матрицы

В даташите светодиода 5050 приводится не мощность излучения P, а световой поток $Ф$, который равняется 18 лм для светодиода, горящего на полную яркость (белый свет). От светового потока можно перейти к мощности излучения одного светодиода по следующей формуле [1]:

$$P = Ф/683 = 18/683 = 0,026\ Вт$$

Следовательно, мощность излучения всей матрицы будет равна:

$$P_M = 900 \cdot P = 23,4\ Вт$$

Границы распространения света определяются по крайним светодиодам матрицы, учитывая их угол рассеивания α (для светодиода типа 5050 $\alpha = 120°$). В результате можно утверждать, что на расстоянии 1 м от матрицы свет попадет на прямоугольную область размером 4,22×3,8 м. Площадь этой области равна практически 16 м^2. Тогда плотность мощности излучения (в случае свечения белым цветом) равна:

$$P_S = 23,4/16 \approx 1,46\ Вт/м^2 = 146\ мкВт/см^2$$

Плотность мощности для каждого цвета отдельно должна быть меньше 146 мкВт/см^2.

Исследование мощностных характеристик светодиодной матрицы

Для данного исследования был использован спектрофотометр OHSP-350UVS. Регистрация проводилась для каждого цвета на расстоянии 1 м от матрицы в области её геометрического центра. Результаты данного исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики света на расстоянии 1 м от матрицы

Цвет	λ_{peak}, нм	P_s, мкВт/см^2
Красный	627	58
Зеленый	518	82,5
Синий	461	105,3
Желтый	518, 627	66
Фиолетовый	461, 627	75

Для того, чтобы свет смог пройти через кожный покров, достигнуть внутренних тканей и вызвать терапевтический эффект, плотность мощности должна быть в районе 1000 мкВт/см2 [2]. Как видно из таблицы 1, полученные значения оказались значительно ниже. Таким образом можно сделать вывод о том, что данные светодиоды не подходят для использования в фототерапии кожных покровов ввиду своей маленькой мощности. Получить действительно высокую плотность мощности излучения (1000-2000 мкВт/см2) с помощью ленты WS2815 достаточно сложно. В данной работе эта лента была выбрана из-за её доступности. Качественная и мощная светодиодная лента (например, фирмы Arlight) обошлась бы в приблизительно в 30 тысяч рублей, что является непосильной суммой для автора работы.

Апробация прибора

Апробация проводилась в небольшой белой комнате, лицевая сторона матрицы была направлена на стену с целью получения рассеянного светового потока. В качестве системы, с помощью которой проводилась регистрация изменений параметров человека, был использован автоматизированный комплекс для функциональной диагностики состояния организма «Медискрин». Комплекс включает в себя сам прибор, а также специальное программное обеспечение, позволяющее интерпретировать результаты измерений. В основе комплекса лежит электропунктурная диагностика (ЭПД) по Накатани. И. Накатани – японский врач, который в середине прошлого века, проводя измерения при обследовании больных с заболеваниями внутренних органов, обнаружил последовательность кожных участков с высокой электропроводностью. Дальнейшие исследования показали, что различные заболевания проявляются в виде изменения электрокожного сопротивления в

определенных точках, топографически совпадающих с ходом классических акупунктурных меридианов [3]. В 2002 г. метод Накатани получил официальную регистрацию Минздрава России [4].

На рисунке 2 представлена диагностическая карта одного из испытуемых до и после проведения процедуры. Время воздействия светом – 20 минут. Цвет – зеленый.

Значения, попадающие в коридор Н1 – В1, находятся в пределах нормы. Коридоры Н2 – Н1 и В1 – В2 свидетельствуют о незначительном нарушении в функционировании определенного органа. Значения, выходящие за линии Н2 и В2, сигнализируют об явном нарушении в функционировании органа.

На рисунке 2 видно, что у испытуемого наблюдаются проблемы с тонким кишечником и желчным пузырем, а также наблюдается небольшой дисбаланс между правой и левой сторонами организма. Наибольший интерес представляют 4 нижние характеристики: «Среднее», «Инь/Ян», «Верх/Низ», «Лево/Право». «Среднее» отражает средний энергетический уровень и характеризует сбалансированность вегетативной нервной системы или её дизрегуляцию. У испытуемого данный показатель находится на нижней границе нормы (25 мкА). «Инь/Ян» характеризует метаболизм пациента. В сбалансированном организме у здорового человека этот параметр должен находится в пределах 1,1 – 1,2 мкА. Преобладание показателя «инь» расценивается как анаболизм (замедление обменных процессов), а преобладание показателя «ян» – как катаболизм (ускорение обменных процессов). У испытуемого наблюдается замедление обменных процессов. Отношение «Верх/Низ» характеризует степень психоэмоционального состояния. В сбалансированном организме данный показатель находится в пределах 0,8 – 1,1 мкА у женщин и 0,9 – 1,2 мкА у мужчин. Так как у испытуемого данный параметр повышен, можно утверждать, что он находится в возбужденном состоянии. Соотношение «Лево/Право» характеризует состояние костно-мышечной системы и опорно-двигательного аппарата. У испытуемого данный показатель находится в пределах нормы.

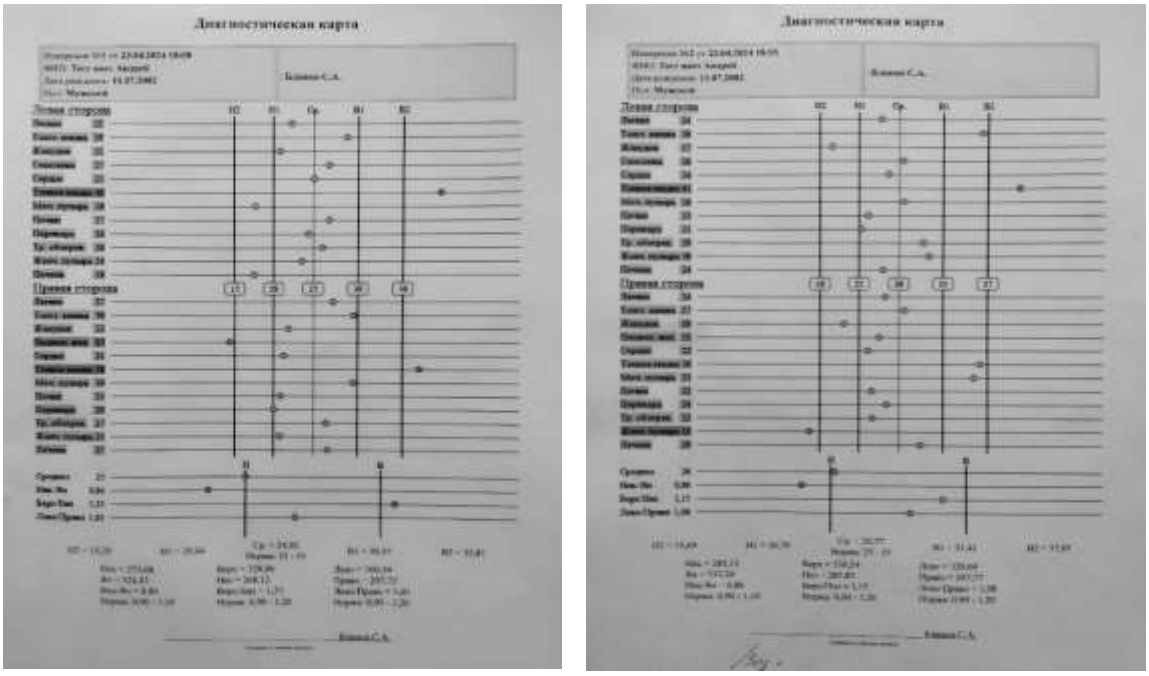


Рис. 2. Диагностическая карта испытуемого (слева – до, справа – после)

Анализируя параметры до и после проведения процедуры, можно заметить, что у испытуемого улучшился средний энергетический уровень, возбужденное состояние сменилось умеренным (испытуемый успокоился). Изменения видны и на диаграмме состояния различных органов. Практически все проблемные точки сдвинулись к центру, что говорит о нормализации состояния организма.

Заключение

Разработанный фототерапевтический прибор может эффективно применяться для визуальной фототерапии. Однако мощности использованного макета светодиодной матрицы недостаточно для эффективного проведения накожной фототерапии. Если исправить этот недостаток, прибор станет недорогим и удобным решением для физиотерапевтических кабинетов ЛПУ.

Список литературы

1. Лейви А.Я. Основы светотехники. Учебное пособие / А.Я. Лейви, А.А. Шульгинов; под ред. А.А. Шульгинова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 71 с.
2. Веселовский А. Б., Гузалов П. И., Кирьянова В. В., Митрофанов А. С., Фефилов Г. Д., Храмов В. Ю. Пространственно-энергетические характеристики светодиодов, используемых в фотохромотерапии // Приборостроение. 2013. №9. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/prostranst venno-energeticheskie-harakteristiki-svetodiodov-ispolzuemyh-v-fotohromoterapii (дата обращения: 11.03.2024).
3. Портнов Ф.Г. Электропунктурная рефлексотерапия. – Рига: Зинатне, 1988 – 352 с.
4. Гаврилова Н.А. и др. Электропунктурная диагностика по методу И. Накатани. Методические рекомендации МЗ РФ № 2002/34. -М.: ФНКЭЦ ТМДЛ МЗ РФ, 2003 – 28 с.

ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ СХЕМ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ В КРОВОТОКЕ

ТЕРЕЩЕНКОВА М.С.[1], БУЛЯНИЦА А.Л.[2]

[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ),

[2]Институт аналитического приборостроения Российской академии наук (ИАП РАН)

Аннотация. Адресная доставка лекарств моделируется перемещением трехкомпонентной смеси сферических частиц с разными зарядами (-2, -4, -10) под действием гидравлического продольного и электрического поперечного полей. В двух местах канала приложены две пары электродов, создающие поперек канала разности потенциалов порядка 5-10 В для перемещения частиц на противоположные стенки сосуда (зоны доставки). Численное решение проводится с использованием среды COMSOL Multiphysics. Показана высокая чувствительность процесса доставки к изменениям потенциалов. Найдены условия, обеспечивающие наибольшую эффективность доставки (около 85%)

Ключевые слова: таргетная доставка, постоянное электрическое поле, численное моделирование

Введение

Система адресной доставки лекарств – сложная биотехническая система, включающая в себя техническую подсистему, обеспечивающую целевой транспорт лекарственных средств в биологической подсистеме организма.

Приложение внешних полей позволяет сместить действие препарата в целевой регион и уменьшить его негативные эффекты в критических областях организма. Для концентрирования и активации препаратов используются акустические волны, электрические поля, магнитные поля и электромагнитное излучение [1].

В данном исследовании биологическая подсистема кровеносных сосудов производит перенос частиц от места введения по всей кровеносной системе организма. Известно, что некоторые виды лекарственных средств лучше проходят через клеточную мембрану при приложении переменного электрического поля с напряженностями порядка *1-10 кВ/м* [2].

Такое воздействие увеличивает проницаемость клеточной мембраны, не разрушая при этом структуру клетки. Однако частицы лекарства должны находиться в непосредственной близости к целевым клеткам. В данном исследовании предлагается рассмотреть дополнительное осаждение лекарственных частиц в целевом месте с помощью приложения электродов.

Описание модели

Для моделирования используется среда Comsol Multiphysics [3]. Кровеносный сосуд представляет собой цилиндрический канал жесткими стенками, ось которого направлена по *x*. Внутри цилиндра в направлении оси *x* протекает жидкость, моделирующая кровь, с динамической вязкостью *3 мПа·с* и скоростью порядка *10 мкм/с*. Диаметр канала равен *100 мкм*, и течение жидкости в таких условиях является ламинарным, т.к. число Рейнольдса *Re<<1*. Электрическое поле прикладывается поперек канала вдоль оси *z*. Рассматривается вариант, когда частицы лекарства необходимо доставить сразу в две области, расположенные на противоположных стенках сосуда, следовательно, в области канала на расстоянии нескольких мкм от него прикладывается две пары плоских электродов. Сначала выполняется численное моделирование полей, описанных выше, а затем рассчитываются траектории движения сферических заряженных частиц (модели частиц лекарства), введенных вдоль оси *x* и перемещающихся в поле скоростей жидкости и поперечном электрическом поле электродов.

Согласно оценке Стокса-Эйнштейна для сферического приближения коэффициент диффузии частиц D примерно равным 10^{-13} $м^2/с$, тогда в рассматриваемых условиях число Пекле для частиц с диаметром порядка *2 мкм* равно *300000*, т.е. движение частиц в жидкости имеет конвективный характер, диффузией можно пренебречь и единственный механизм перемещения частиц поперек канала – смещение под действием электрического поля.

Для проверки эффективности управления частицами с помощью электрического поля в областях электродов формируются встречно направленные поля таким образом, чтобы в отрицательно заряженные частицы сначала двигались в направлении *–z* и осаждались на нижнюю стенку канала, а затем во второй области смещались обратно в направлении *z*, проходя дополнительное расстояние, приобретенное в первой области. Таким образом, возможно определить, какие смеси частиц с разным зарядом и одинаковым объемом перспективны для осаждения в разных медицинских случаях.

Результаты

В результате моделирования получены траектории движения частиц в жидкости под действием поперечного электрического поля. На рисунке 1 зафиксировано положение частиц трехкомпонентной смеси частиц (по 1200 штук каждого вида) на 68 секунде от начала движения. В области первой пары электродов заметно скопление частиц, осевших на стенку. В области второй пары электродов наблюдается обратное смещение частиц, не осевших в первой области. На рисунке 2 отражены временные зависимости осаждения

частиц, запущенных в канал с начальной скоростью жидкости *7 мкм/с* и разностью потенциалов *9,8 В* и *5,8 В* на первом и втором участке соответственно.

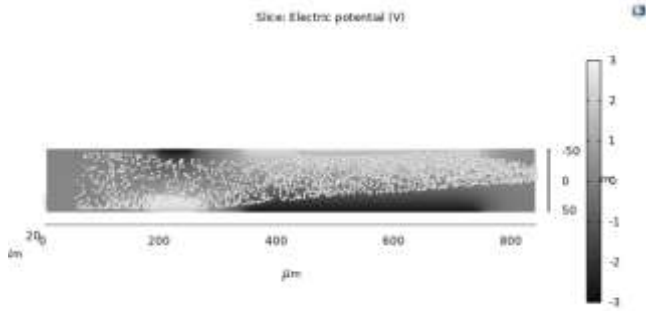


Рис. 1. Траектории движения частиц в электрическом поле при скорости жидкости 7 мкм/с

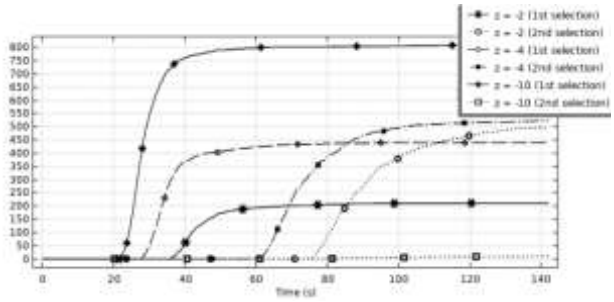


Рисунок 2. Зависимость количества осажденных частиц от времени

В таблице 1 приведены данные для осаждения трехкомпонентной смеси частиц и найден режим (9В; 5,8В), при котором сильно заряженные частицы осаждаются в первой целевой области и практически проходят мимо второй, не успевая сместиться к противоположной стенке, в то время как большее количество слабо заряженных частиц, наоборот, оседает во второй области. Суммарная доля осажденных частиц с зарядом -2 составила 60%, для частиц с зарядом -4 – 80% и частиц с зарядом -10 – 67%. Суммарно по всей смеси доля осажденных частиц примерно немного менее 70%.

Таблица 1

Количество осажденных частиц с зарядами -2, -4 и -10 спустя 90 секунд от начала движения при разных потенциалах на электродах

Заряд	-2		-4		-10	
Разности потенциалов на электродах	Количество частиц, осажденных в соответствующих областях					
	1 область	2 область	1 область	2 область	1 область	2 область
6 В; 6 В	128	621	271	749	620	253
9 В; 5,8 В	189	528	387	570	791	11
9,8 В; 5,8 В	217	469	430	503	792	0

Заключение

Исходя из полученных результатов численного моделирования можно сделать выводы, что осаждение потока заряженных лекарственных частиц может повысить эффективность адресной доставки препаратов. При этом существует возможность выбора режимов осаждения для потоков с одинаковым зарядом частиц, где необходимо увеличивать суммарное количество осажденных частиц, и для смеси частиц с разными зарядами, в которых, благодаря обнаруженной высокой чувствительности к изменению приложенных

разностей потенциалов на электродах, можно контролировать не только долю осажденных частиц, но и менять целевой участок осаждения. Также найден режим, при котором эффективность доставки одного из компонентов смеси максимальна и достигает 85 процентов. Достигнутая эффективность доставки осаждаемых частиц к двум областям примерно 70%, что сопоставимо со значением 75%, указанном в [4], где предложена более сложная схема доставки биоактивных веществ.

Список литературы

1. Mirvakili, S.M., Langer, R. Wireless on-demand drug delivery. Nat Electron 4, 464–477 (2021)
2. Kolosnjaj-Tabi J, Gibot L, Fourquaux I, Golzio M, Rols MP. Electric field-responsive nanoparticles and electric fields: physical, chemical, biological mechanisms and therapeutic prospects. Adv Drug Deliv Rev. 2019 Jan 1;138:56-67.
3. COMSOL Multiphysics. - COMSOL - https://www.comsol.ru/ (дата обращения - 17.04.2024)
4. Зюзин М. В. Светочувствительные неорганические наноматериалы для терапии, диагностики и доставки биоактивных веществ, механизмы их взаимодействия с биологическими объектами : автореф. дис. … д-ра физ.-мат. наук : 1.5.2. Санкт-Петербург, 2023. 40 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИК ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ СОСУДОВ ЧЕЛОВЕКА

Д.С. Якименко, Н.В. Ремизов

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

Аннотация. Рассмотрено применение метода визуализации вен на живых испытуемых. Разработан макет визуализатора вен. Проведены исследования применения различных источников излучения на биологической ткани.

Ключевые слова: визуализация сосудов, гемоглобин, биоткани, ИК-излучение, светодиодный источник, лазерный диод.

Данная статья посвящена вопросу неинвазивной визуализации сосудов человека. Современные лабораторные медицинские методы диагностики зачастую требуют взятия крови из вены. Однако в ряде случаев вены не видны невооруженным глазом, что может стать причиной ошибки при взятии крови и, соответственно, привести к ошибкам при интерпретации анализов.

В последнее время также наблюдается интерес в спортивной среде к наблюдению за состоянием вен. Пауэрлифтинг, популярный вид спорта, может способствовать развитию варикозных вен на ногах из-за высокого давления, которое оказывается на вены ног во время выполнения упражнений с тяжелыми весами. Возможность отслеживать изменения в состоянии вен становится все более важной для спортсменов и тренеров.

Растет востребованность приборов для неинвазивной визуализации вен. Современные методы оптической визуализации вен имеют перспективы, но сталкиваются с ограничениями, такими как недостаточная визуализации и отсутствие единого стандарта параметров устройств. В данной работе представлен макет визуализатора вен со сменными

элементами для экспериментов с техническими параметрами. Исследовано применение различных источников излучения.

Целью настоящей работы является исследование взаимодействия излучения различных ИК-источников с венами различных испытуемых, имеющих различную структуру биологических тканей.

В основе прибора лежат инфракрасный источник, оптический инфракрасный фильтр, детектор излучения, блок обработки данных и вывод изображения. Прибор активирует инфракрасный источник, детектор затем регистрирует отраженное от пациента излучение через оптический инфракрасный фильтр, после чего изображение обрабатывается и отображается на экране. В данной модели используется свойство гемоглобина крови и биологической ткани поглощать различные диапазоны света по-разному.

Общий принцип метода базируется на дифференциальном поглощении ИК-излучения гемоглобином крови и окружающими тканями. Прибор в своей основе содержит ИК-источник, оптический ИК-фильтр, детектор излучения, блок обработки и вывод изображения. Прибор начинает задействовать ИК-источник, далее детектор регистрирует отраженное от тканей пациента излучение через оптический ИК фильтр, в то время как часть излучения будет поглощено венами. Затем это изображение обрабатывается и выводится на дисплей.

Рассмотрено применение следующих источников:

Источники на базе светодиодов: BL-L314IRCC (850 нм), L-7113SF4C (880 нм), L-7113F3C (940 нм).

Источники на базе лазерных диодов: SLD238VL (784 нм), QL94R6SA (940 нм).

Все источники включены по типичной схеме стабилизатора тока на базе микросхемы КР142ЕН12А (LM317). Для каждой печатной платы источника оценено количество излучающих элементов и номинал токозадающего резистора.

Для регистрации отраженного излучения использовалась КМОП-матрица Sony IMX335, с установленным на объективе длинноволновым абсорбционным фильтром HWB780 (780 нм).

Конечный вид экспериментального стенда визуализатора вен представлен на рисунке 1.

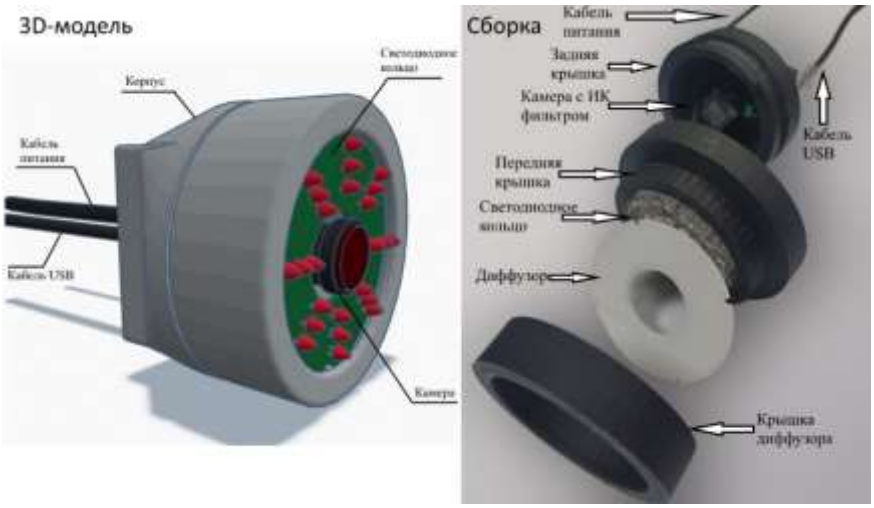


Рисунок 1 – Экспериментальный стенд визуализатора вен

С помощью стенда получены снимки предплечий 40 добровольцев в возрасте 20-25 лет и 20 добровольцев в возрасте 35-45 лет. При регистрации изображений использовались различные источники ИК излучения.

Для сравнения результатов выполнялась оценка контрастности вен относительно кожи: на предплечьях испытуемых выделялись схожие области, для этих областей рассчитывалось среднее квадратическое значение контрастности [1, 2].

Полученные цифровые фотографии предплечий испытуемых представлены на рисунке 2.

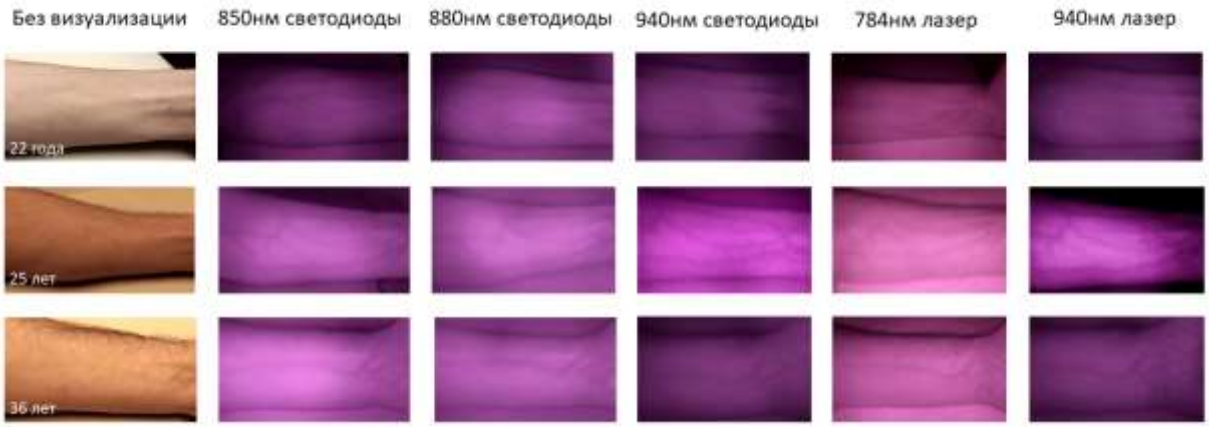


Рисунок 2 – Цифровые фотографии предплечий испытуемых

В результате было получено, что лазерный источник излучения в диапазоне 784 нм обеспечивает наименьшую эффективность визуализации для всех испытуемых. Особых различий между источниками 850 и 880 нм замечено не было. В 27 случаях наибольшая эффективность визуализации была достигнута в диапазоне 850-880 нм, в 33 случаях - в диапазоне 940 нм. При этом, применение источника монохроматичного излучения в диапазоне 940 нм позволило получить незначительно большую контрастность в 53 случаях, по сравнению со светодиодным источником в том же диапазоне.

Список литературы

1. Peli, E. Contrast in complex images / E. Peli // J. Opt. Soc. Am. A., 1990, v. 7, pp. 2032-2040.

2. Remizov, N.V. 3D Printed Modular Vein Viewing System Based on Differential Light Absorption in the Near Infrared Range / N.V. Remizov, E.M. Bataeva, D.P. Stramousov, A.A. Shatskaya, D.N. Artemyev // JBPE, 2023, v. 9, №2.

STUDYING THE UTILIZATION OF PARACOCCUS DENITRIFICANS IN DUAL-CHAMBER MICROBIAL FUEL CELLS

Citra Desiana Erin[1], Muhamad Albani Rizki[2], Nelli R. Molodkina[3]

[123]Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University)

Abstract. The global pursuit of sustainable energy solutions intensifies amidst mounting environmental challenges and depletion of traditional energy resources. Renewable energy sources, including water, sunlight, wind, and biomass, are increasingly explored for eco-friendly electricity generation. In recent years, focus has shifted to bioelectrochemical utilization, notably microbial fuel cell technology, offering simultaneous waste management and power generation solutions. This study analyzes the performance of a dual-chamber microbial fuel cell employing *Paracoccus denitrificans* microorganisms, aiming to deepen understanding and practical applications in sustainable energy generation. The study underscores the importance of biocatalysts and reactor design in optimizing microbial fuel cell efficiency, positioning dual-chamber microbial fuel cell as a viable solution in the renewable energy landscape.

Key words: sustainable energy, bioelectrochemical, microbial fuel cell, dual-chamber microbial fuel cell, Paracoccus denitrificans.

Introduction

Amid escalating challenges of environmental degradation and traditional energy resource depletion, the global quest for sustainable energy solutions intensifies. The advent of the industrial revolution and rapid urbanization has spurred a significant surge in global energy consumption. While traditional non-renewable energy resources have long dominated, their slow depletion and severe environmental impacts have necessitated a shift towards sustainable alternatives. In the dynamic realm of sustainable energy, researcher continuously explore innovative methods to harness nature's power for efficient and eco-friendly electricity generation [1].

Sustainable electricity generation involves harnessing energy sources that have minimal environmental impact and are readily available. Various renewable energy sources such as water, sunlight, geothermal heat, wind, tides, and biomass have been extensively explored for electricity generation [2]. In recent years, there has been a growing focus on bioelectrochemical utilization, particularly through microbial fuel cell (MFC) technology, as a greener alternative for electricity generation [3]. This approach not only offers eco-friendly power generation but also addresses waste management challenges simultaneously.

Bioelectrochemical using MFC technology present a compelling avenue by harnessing microorganisms' metabolic activities to convert organic compound into electrical energy [4]. Two primary factors significantly influence the MFC: biocatalysts and reactor design. Biocatalysts, or microorganisms, are pivotal in energy generation within MFC as they drive biochemical reactions. The selection of microorganisms should prioritize their ability to efficiently transfer electrons from the substrate to the anode. Conversely, reactor design directly impacts electricity production, cost-effectiveness, and overall cell efficiency. Various MFC reactor designs exist, including double chamber, single chamber, stacked and upflow configurations [5]. By carefully considering these factors, the performance of MFC can be optimized.

This study aims to analysis the performance of a dual-chamber MFC employing *Paracoccus denitrificans* microorganisms. Further exploration into the utilization of *Paracoccus denitrificans* as a biocatalyst in MFC systems is warranted, given its capacity to develop indispensable biofilms crucial for MFC functionality [6]. The selection of the dual-

chamber MFC configuration is based on its widespread adoption, attributed to features such as ion exchange membranes, segregated chambers, and high energy output. Consequently, this research endeavors to investigate the influence of *Paracoccus denitrificans* microorganisms as biocatalysts on the performance of dual-chamber MFC.

This research is profoundly significant as it not only deepens our fundamental understanding of bioelectrochemical system but also delves into practical applications in sustainable energy generation. The insight garnered from this research analysis are positioned to stimulate advancement in the design, operation, and optimization of dual chamber MFC, thereby reinforcing the position as a viable solution in the renewable energy landscape.

Development of Dual Chamber Microbial Fuel Cell

This research aims to be analyze the performance of MFC, especially dual chamber MFC. The main thing that distinguishes dual chamber MFC from other MFC reactor designs is the separate chamber design, in contrast to other MFC reactors designs that have chamber that are not completely separated. This chamber separation has several advantages which provide better control over reaction condition in each chamber and reduce the possibility of pollution between electrodes and microorganisms. In addition, chamber separation also helps prevent direct reaction between oxidants and reductants, thereby increasing energy conversion efficiency. For more details on how the dual chamber design has been developed, see figure 1.

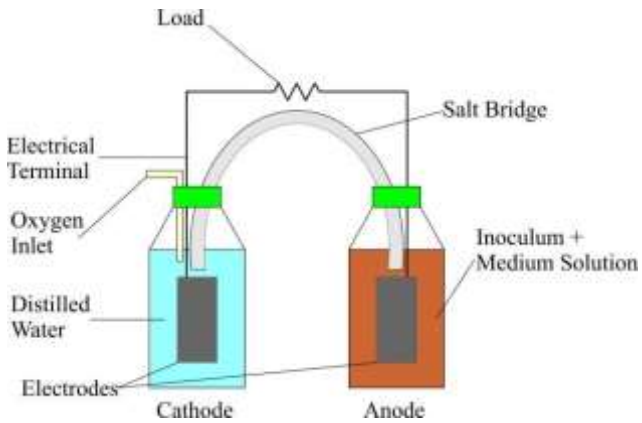


Fig. 1. Design of dual chamber microbial fuel cell

As seen in figure 1, there are several important parts that need to be considered in order to develop a dual chamber MFC. Some of these parts include the following: two separate chambers (as a cathode and anode separator), electrodes, distilled water, oxygen inlet, electrical terminal, load, salt bridge, and inoculum with medium solution.

Development of *Paracoccus Denitrificans* as Biocatalyst in Microbial Fuel Cell

Paracoccus species are gram-negative Alphaproteobacteria often present in soil, activated sludges, and aerobic granular sludges [6]. One of the most studied Paracoccus species is *Paracoccus denitrificans*. Paracoccus has the ability to form biofilms which is important for developing bioreactors such as in MFC technology. Based on research [7], *Paracoccus denitrificans* found on MFC anodes can form biofilms that can generate electricity using formic acid as an electron giver. Microorganisms such as *Paracoccus denitrificans* as a biocatalyst may be able to optimize the performance of MFC technology. Therefore, research on the use of *Paracoccus denitrificans* as a biocatalyst in MFC technology needs to be continuously developed.

In MFC, microorganisms such as *Paracoccus denitrificans* are in the anode chamber along with the medium solution. In this study, the volume of medium solution put into the anode

chamber is 800 ml. While the volume of inoculum (*Paracoccus denitrificans*) is 200 ml. So that the total medium solution plus inoculum put into the anode chamber is 1000 ml.

To be able to grow and increase the number of *Paracoccus denitrificans* that will be used in MFC, the microorganisms need to be prepared first. The compositions used include:

- 200 ml of medium solution.
- 1.5 – 2 ml of inoculum (*Paracoccus denitrificans*) / 1 eppendorf tube.

The 2 compositions will be combined into 500 ml tube and then shaken using an automatic shaker machine for a certain time. For more details, please see figure 2.

Fig. 2. Growing Paracoccus denitrificans from Eppendorf tube to 200 ml bottle

After the growing process is complete, 200 ml of inoculum containing *Paracoccus denitrificans* microorganism can be inserted into the anode chamber.

Dual Chamber Microbial Fuel Cell Employing *Paracoccus denitrificans* as Biocatalyst

After preparing the two main factors that affect the microbial fuel cell technology, namely reactor design and biocatalyst, the dual chamber MFC using *Paracoccus denitrificans* has been developed. Figure 3 shows how the dual chamber MFC that has been developed in this research looks like.

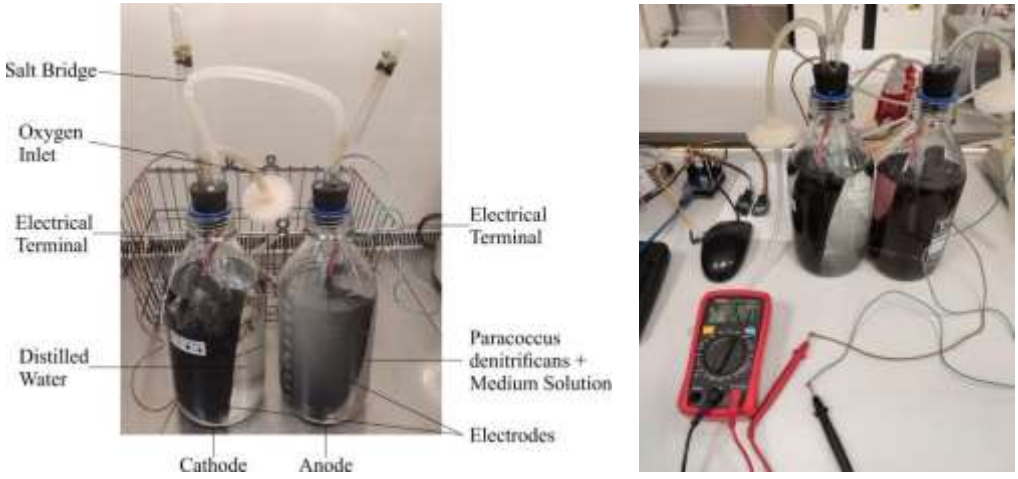


Fig. 3. Dual chamber MFC employing Paraccocus denitrificans as biocatalyst

After the dual chamber MFC is developed, it is necessary to wait for some time so that the *Paracoccus denitrificans* microorganism forms biofilm on the electrode (anode) so that the

electrical energy generation process can take place. In this study, to be able to determine the amount of electricity generated by this dual chamber, measurements were taken using a multimeter. The voltage produced will increase from time to time along with the formation of biofilm on the electrode. In the research process of dual chamber MFC using *Paracoccus denitrificans*, there are several obstacles found. These obstacles resulted in the process of generating electrical energy from the reactor being not optimal, like fragile salt bridge and contaminated *Paracoccus denitrificans*.

Conclusion

The escalating environmental crisis and dwindling traditional energy resources paint a stark picture: sustainable solutions are no longer an option, but a necessity. This study delves into the promising potential of bioelectrochemical systems, particularly dual-chamber MFC utilizing *Paracoccus denitrificans*, as a greener alternative for electricity generation.

The research demonstrates that MFC offer numerous advantages over conventional energy sources. They tap into renewable resources like organic waste, contributing to bioremediation while simultaneously producing clean electricity. However, optimizing their performance depends on key factors like biocatalyst selection and reactor design. This study emphasizes the crucial role of *Paracoccus denitrificans* as a promising biocatalyst, paving the way for further exploration of its potential.

The research on dual chamber microbial fuel cell utilizing *Paracoccus denitrificans* has encountered significant obstacles hindering the optimal generation of electrical energy from the reactor. These obstacles primarily include a fragile salt bridge and contaminated *Paracoccus denitrificans*. The fragile construction of the salt bridge led to frequent damage, reducing the efficiency of ion transfer between chambers. Additionally, contamination of the *Paracoccus denitrificans* solution compromised its performance, hindering biofilm development on the electrodes essential for optimal MFC operation. Addressing these issues in future research is crucial, emphasizing the need for sturdier salt bridge construction and creation of aseptic conditions for growth of bacteria along with rigorous sterilization procedures to prevent contamination and ensure optimal MFC performance.

References

1. N. Teli, S. Bhalerao, V. Didwana, and Deepa. Verma, “Microbial Fuel Cell: A Source of Sustainable Energy,” *International journal of biological research.*, vol. 4/5, no. April, 2016.

2. A. Androniceanu and O. M. Sabie, “Overview of Green Energy as a Real Strategic Option for Sustainable Development,” *Energies*, vol. 15, no. 22. 2022. doi: 10.3390/en15228573. 3. M. S. Ayilara and O. O. Babalola, “Bioremediation of environmental wastes: the role of microorganisms,” *Frontiers in Agronomy*, vol. 5. 2023. doi: 10.3389/fagro.2023.1183691.

4. S. Sevda, P. Jyoti Sarma, K. Mohanty, T. R. Sreekrishnan, and D. Pant, “Microbial Fuel Cell Technology for

Bioelectricity Generation from Wastewaters,” in *Energy, Environment, and Sustainability*, 2018. doi: 10.1007/978981-10-7431-8_11.

5. A. Nawaz *et al.*, “Microbial fuel cells: Insight into simultaneous wastewater treatment and bioelectricity generation,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 161. 2022. doi: 10.1016/j.psep.2022.03.039. 6. K. Morinaga, K. Yoshida, K. Takahashi, N. Nomura, and M. Toyofuku, “Peculiarities of biofilm formation by Paracoccus denitrificans,” *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 104, no. 6. 2020. doi: 10.1007/s00253020-10400-w. 7. P. D. Kiely, D. F. Call, M. D. Yates, J. M. Regan, and B. E. Logan, “Anodic biofilms in microbial fuel cells harbor low numbers of higher-power-producing bacteria than abundant genera,” *Appl Microbiol Biotechnol*, vol. 88, no. 1, 2010, doi: 10.1007/s00253-010-2757-2.

СЕКЦИЯ ИННОВАЦИОННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ: ОТ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ К ЦИФРОВЫМ ДВОЙНИКАМ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИИ АКСЕЛЕРАЦИОННЫХ ПРОГРАММ, КАК ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ХОРЕВ К.Е.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)»

Аннотация. В тезисах рассмотрен вопрос оценки качества проведения акселерационных программ в высших учебных заведениях в условиях формирования цифровых экосистем в экономике, соответствия целям устойчивого развития, реализации миссии университета в становлении технологического предпринимательства, процессов цифровизации. Акселерационные программы, реализуемые в университетах в текущих экономических условиях, являются одними из фундаментальных факторов формирования технологического суверенитета российской экономики и создания малых инновационных предприятий. В тезисах приведен анализ опыта организации акселерационной программы на базе СПбГЭТУ «ЛЭТИ», выявлены основные категории и критерии качества, определяющие эффективность работы акселерационной программы

Ключевые слова: акселерационная программа, стартап, высокотехнологичная услуга, акселератор, качество, цель устойчивого развития, университет

Разработка и стабильное функционирование технологических систем, которые сегодня могут привлечь внимание инвесторов, обеспечить технологический и научный суверенитет государства [5]. Основываясь на данном принципе Правительство РФ установило вектор на формирование широкого круга технологических предпринимателей, ведущих свою деятельность на территории страны. Для этих целей ряд фондов стали выделять гранты на поддержку стартап-студий и акселераторов. За 2022 год в России совместными усилиями было проведено 151 акселерационных программ, где суммарно стали участниками более 81 тысяч человек.

В процессе сотрудничества технологическая экосистема и университеты все более тесно реализуют свои направления работы, выполняют миссию университета, как двигателя экономики, и интегрируют больше программ, где объединены бизнес и образование.

Целью исследования является анализ работы университетских акселерационных программ для повышения эффективности и качества своей деятельности, а также повышения их конкурентоспособности с формированием фундаментальной основы для дальнейшего развития экосистемы.

В качестве методов исследования были использованы анализ опыта проведения акселерационных программ, наблюдение за процессом работы участников акселерационной программы «Стартапы LETI», эксперимент, заключающийся в организации акселератора, опрос участников и экспертов, изучение документов и результатов деятельности акселераторов, систематизация опыта реализации программы «Стартапы LETI».

Основное внимание в работе посвящено оценке качества акселерационных программ, проводимых в высших учебных заведениях.

В исследовании использовалась методика проведения анализа эффективности и качества предоставления высокотехнологичных услуг в рамках университетских акселерационных программ по трем категориям: 1) полезность для клиентов 2) полезность для экосистемы 3) общая привлекательность акселерационных программ.

Осенью 2023 года в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» прошла акселерационная программа «Стартапы LETI», организаторами которой, в том числе, выступали авторы исследования. На акселерационную программу «Стартапы LETI» было подано 398 заявок, проект собрал участников из 10 ведущих университетов России. Участники 2,5 месяца работали над своими проектами [4].

В 2023 году по итогам 3 потока конкурса «Студенческий стартап» на получение гранта 1 млн рублей были отобраны 1235 стартапов. В число победителей конкурса вошли 6 команд-выпускников акселератора «Стартапы LETI» со своими разработками. Стартапы выпускников акселерационной программы «ЛЭТИ» отвечали требованиям эффективности и уникальности используемых технологий, высокого коммерческого потенциала идеи, а также соответствия тематики проекта для ключевых научных и технологических задач.

Одним из основных критериев эффективности образовательной программы является востребованность её выпускников в высокотехнологичных компаниях и уровень их прибыли относительно средней по рынку [3];.

В результате проведенных опросов, аналитической работы, экспериментальной деятельности удалось выявить 7 подкатегорий эффективности и качества в трех направлениях, касающихся ценности для экосистемы и клиента, а также общей привлекательности акселератора. В состав 7 подкатегорий входят:

1. Развитие экономики: число рабочих мест; сумма выручки; число международных партнеров и спонсоров;

2. Удержание талантов: процент иногородних участников программы; число заявок из других городов; количество заявок в стартап-студию по итогам акселератора;

3. Развитие компетенций: количество часов тренингов; процент использования этих тренингов компаниями; количество семинаров, воркшопов для стартапов; число экспертов и менторов;

4. Доступность финансовых ресурсов: объем инвестиций; средний размер; инвестиции; количество контактов с инвесторами; процент клиентов, которые получили финансирование; количество инвесторов, которые инвестировали в стартапы;

5. Доступность рынка: партнерства с корпорациями, государственными структурами и исследовательскими центрами; число организованных мероприятий; число национальных спонсоров и партнеров; число выпускников

6. Ценностное предложение: инвестиции полученные стартапами от акселератора; количеств полученных заявок; сотрудники университетов; адаптация программ; выпускники

7. Пост-акселерационная эффективность: число компаний, вышедших на IPO; процент резидентов, которые растут и прибыльны; процент функционирующих стартапов; процент погасших стартапов.

В связи с этим были сформулированы рекомендации для повышения эффективности и качества проведения акселерационных программ в университетах:

1. Обеспечить измерений ключевых и релевантных показателей эффективности с их систематической оценкой;

2. Многоканально работать над повышением узнаваемости. Данный аспект способствует увеличению числа совершаемых сделок и повышению их качества, а также позволяет потенциально развивать партнерскую и спонсорскую сеть [2];

3. Отдавать высокий процент усилий и времени в поддержку связей с другими стартап-студиями и акселерационными программами, отраслевыми формированиями, объединениями инвесторов и корпоративных спонсоров;

4. Разрабатывать и поддерживать в объединении инновационную предпринимательскую культуру. Развивать резидентов и вкладывать силы в новые стартапы и направления [1].

Основываясь на результатах данного исследования можно выявить заключение о том, что качественно организованные и продуманные программы развития технологического предпринимательства и совершенствования бизнес-экосистем имеют очень тесную корреляционную связь с экономическим ростом. Это, в свою очередь, способствует достижению целей устойчивого развития. Очевиден факт, что акселерационные программы университетов сталкиваются с определенным кругом препятствий, где наиболее явной представлена труднодоступность финансовых ресурсов. С учетом выдающегося качества работы передовых российских акселераторов, другим программам особенно рекомендуется перенимать их опыт. Данные действия позволят нивелировать разрыв между университетскими российскими и глобальными акселерационными программами и обеспечить отечественным экосистемам большую конкурентоспособность на инновационном рынке.

Список литературы

1. Акселерационная программа / Центра ГРАНИ. [Электронный ресурс]. URL: https://grany-center.org/uploads/files/akseleracionnaya-programma.pdf (дата обращения 20.03.2024).
2. Воробьева Е. В. Особенности организации онлайн – мероприятия // Вестник образовательного консорциума среднерусский университет. Серия: экономика и управление. — 2020. — № 15. — С. 121–122
3. Румянцев Д., Франкель Н. Event-маркетинг. Все об организации и продвижении событий. – Питер. 2017
4. «Стартапы LETI» / Интернет-сайт. [Электронный ресурс]. URL: http://стартаплэти.рф/#contacts (дата обращения: 15.03.2024).
5. Тебекин, А. В. Менеджмент организации [Текст]: учеб.для вузов по экономическим специальностям // А. В. Тебекин, Б. С. Касаев . – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : КноРус, 2014. – 420 с.

UTILIZING ENTERPRISE ARCHITECTURE MANAGEMENT TECHNOLOGIES FOR RESOLVING CORPORATE GOVERNANCE CHALLENGES

VAHID MIRIDASHTAKI, ARTEM R. DENISOV

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

Аннотация. The report will present the results of an analysis of publications in leading international journals and conference collections on the topic "Enterprise Architecture". As a result of the analysis, typical topics (clusters) were identified. It is shown that in the corpus of analyzed texts (72 articles) there are no publications in which solutions for managing the implementation of new business models within the framework of strategic

development processes are proposed. The general principles of solving this problem using enterprise architecture management methods are proposed.

Ключевые слова: Digital Enterprise, Enterprise Architecture, Strategy planning, Digital business models

A digital enterprise uses technologies like cloud computing, IoT, AI, and big data to boost efficiency, transform operations, and deliver new value to customers. Digital infrastructure is vital for achieving business goals and facilitating successful digital transformation, driving innovation, improving decision-making, and enhancing collaboration. Strategic planning is guided by digital infrastructure, requiring alignment with business objectives and incentives for technology adoption. Ensuring IT and data strategies align with overall business goals is crucial. Some articles suggest using enterprise architecture management as the primary project management technique.

Enterprise Architecture (EA) integrates business planning, operations, and technology infrastructure into a unified framework, facilitating strategic development planning and implementation control in digital enterprises. EA aligns business objectives and information systems, ensuring efficient execution and monitoring of strategic plans, leading to improved alignment between business goals and IT for enhanced digital transformation. However, comprehensive studies on strategy development through EA are still pending. [1] After analyzing 72 articles it was found that there are 15 topics that are related to the theme of enterprise architecture management, such as:

Digital transformation and digitalization: Digital transformation integrates digital technology into businesses, fundamentally changing operations to drive growth and create value. It's a strategic process leveraging technology for innovation and competitiveness.[1, 2, 3, 4]

Digitalization uses digital technologies to transform business models, create revenue streams, and enhance processes and customer experiences by digitizing data and information.

Enterprise Architecture (EA) plays a crucial role in both processes, aligning digital initiatives with business goals and identifying needed digital capabilities. It helps design architectures to capture, store, manage, and share data effectively. Thus, EA is a key enabler of both digital transformation and digitalization.[1, 2, 3, 4]

Business Management (BM): BM involves directing and optimizing an organization's resources to achieve goals efficiently, including planning, organizing, leading, and controlling various aspects like human resources, finances, and operations. Its primary aim is to create value for stakeholders. BM and EA optimize resource utilization for organizational goals. Business Management sets strategic direction, while EA aligns resources with goals, enabling informed decisions and agility in response to digitalization.[5]

Digital technologies: Digital technologies are computer-based tools for generating, storing, processing, and communicating data. They play a crucial role in creating and managing enterprise architecture, influencing structure, management, and decision-making. International standards integrate engineering, management, and IT, providing frameworks for optimal resource integration.[4, 6, 7, 8]

Information Technology and systems: IT includes hardware, software, and telecommunication facilities for handling electronic data. Information Systems (IS) are interconnected components for processing and distributing information to support organizational decision-making. EA links business objectives with IT capabilities, providing a long-term view of company processes and systems. Both IT and IS are crucial for aligning IT resources with business needs in enterprise architecture development.[5, 8, 9]

Digital strategy: Digital strategy involves leveraging technology to maximize potential and gain competitive advantage, while enterprise architecture standardizes IT infrastructure to align with business goals. Though not directly related, both concepts deal with aligning IT infrastructure and business goals, making them complementary.[6, 10]

Digital business models: Digital business models result from adapting traditional models to digital practices, while enterprise architecture involves organizing design, technological infrastructure, and process management. Enterprise architecture helps establish digital business models by aligning business objectives and technological infrastructure, enabling digitization.[11]

Strategy planning and its process: Strategy planning is crucial for Enterprise Architecture, involving formulating strategies based on internal and external analyses. Executives make decisions based on this analysis, aligning organizational goals with strategy execution. EA ensures alignment between organizational goals and strategy implementation, linking existing architecture with strategic planning.[7, 12]

Strategic Management: Strategic Management balances long-term objectives with environmental demands. EA facilitates strategy execution by optimizing IT investments and aligning strategic objectives and technology elements. It provides standards for best practices in strategic planning, capital planning, and IT standards.[5, 9, 12, 13]

Business strategy: Business strategy is an organization's plan to achieve objectives, while EA aligns business strategies with IT systems and develops IT architecture roadmaps to bridge gaps.[5, 8, 9, 13]

Data architecture modeling and design: Data architecture modeling and design, integral to EA, involves moving data, describing data stores, groups, elements, and mapping data artifacts. EA ensures all enterprise components work cohesively to achieve organizational goals, making data architecture modeling and design essential parts of EA.[6, 12, 14]

IT strategy: IT strategy aligns business goals with technical solutions, facilitated by enterprise architecture's holistic view. Developed together, they ensure technology aligns with business goals and facilitate discussions on technology investments. Enterprise architecture's clear languages drive and influence IT strategy.[10]

IT architecture and management: It encompass designing, implementing, and supervising IT systems, integral to enterprise architecture. It contributes to enterprise architecture management (EAM), focused on realizing company goals through a coherent vision and strategy.[6, 14]

Enterprise architecture management: EA is a holistic approach to managing IT complexity from a business perspective. EAM extends traditional IT management to include enterprise-wide resources and capabilities for executing strategy. EAM involves managing and governing EA, including its development, maintenance, and continuous improvement. Therefore, enterprise architecture management is crucial for effective EA implementation and evolution.

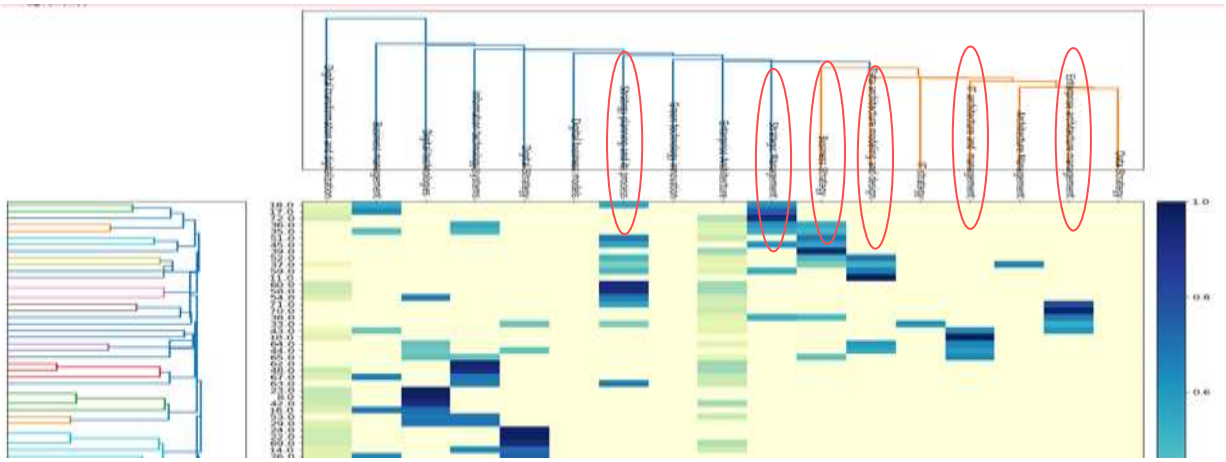
Data strategy: Data strategy is an organization's comprehensive plan to leverage data assets for achieving business objectives, encompassing data collection, storage, analysis, and utilization to drive decision-making, innovation, and competitive advantage.

EA aligns data capabilities with strategic goals, assessing current data landscapes, defining future objectives, and developing roadmaps for strategic data initiatives.

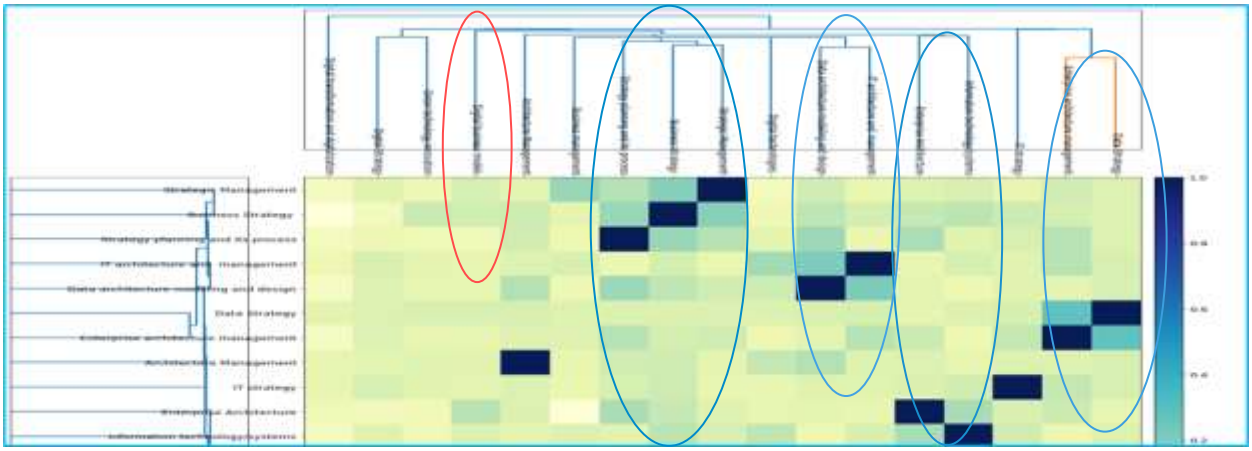
A heatmap analysis illustrates how enterprise architecture management tools address information support for strategic development processes. Some topics, such as EA management, IT architecture, data modeling, business strategy, and strategic management, are extensively discussed (Pic 1 and 2). However, there's a notable gap concerning digital business models, which indicates an area requiring further exploration. Also, Pic 3 shows the relation of articles on strategic

planning to other topics. In Pic 3 it can be seen that out of 72 articles 60 articles did not discuss the digital technologies and 12 did, out of 60 articles 49 did not discuss digital business models and 11 did and out of 7 articles none of them discussed enterprise architecture which shows again there is a gap related to the “Digital business models” for enterprise architecture.

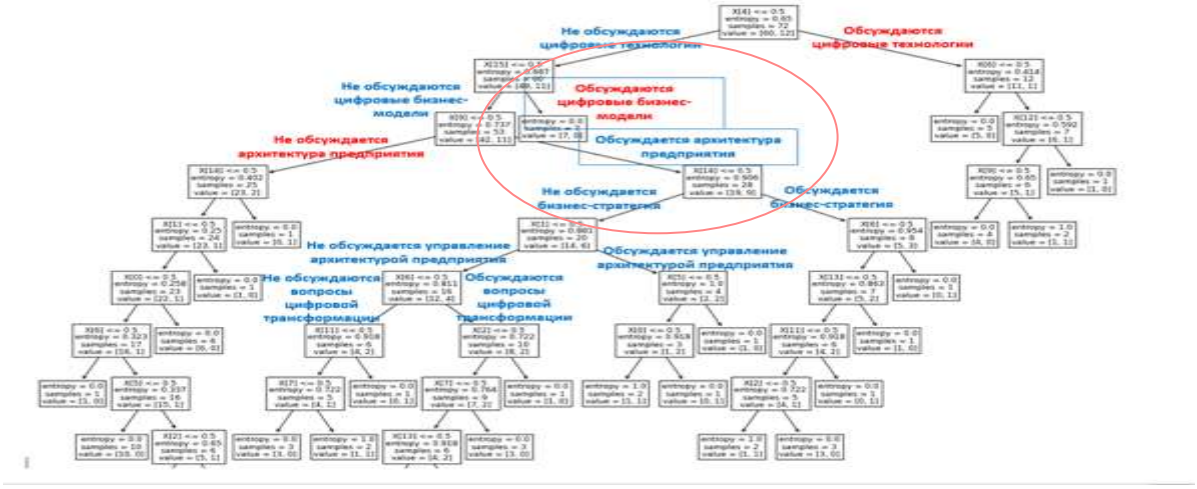
Conclusion: The results of the analysis show that the issues of information support for the processes of strategic development of enterprises through the introduction of new business models are poorly covered in the literature. In order to solve such problems, tools should be created to effectively manage digital business transformation using Enterprise Architecture Management methods.



Pic 1: TF-IDF matrix in heat map format



Pic 2: Correlation between topics in heat map format



Pic 3: Relation of articles on strategic planning to other topics [Blue related to the strategic planning topics and Red not related to the strategic planning topics]

Список литературы

1. Soto Setzke, D., Riasanow, T., Böhm, M. Pathways to Digital Service Innovation: The Role of Digital Transformation Strategies in Established Organizations. Inf Syst Front 25, 1017–1037 (2023). https://doi.org/10.1007/s10796-021-10112-0
2. Sui, B., & Yao, L. (2023). The impact of digital transformation on corporate financialization. Innovation and Green Development, 2, 100032.
3. M. I. Sarwar, S. M. Ahsan-Ul-Haq, and A. Alsharif, “Digital Transformation of Public Sector Governance With ITSM—A Pilot Study,” International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 11, p. 23, 2023.
4. J. J. Korhonen and M. Halén, "Enterprise Architecture for Digital Transformation," 2017 IEEE 19th Conference on Business Informatics (CBI), Thessaloniki, Greece, 2017, pp. 349-358, doi: 10.1109/CBI.2017.45.
5. Behrouz, F., & Fathollah, M. (2016). A systematic approach to enterprise architecture using axiomatic design. Procedia CIRP, 53, 158-165. doi: 10.1016/j.procir.2016.07.012.
6. Zimmermann, A., Schmidt, R., Alt, R., Masuda, Y., & Chehri, A. (2021). Digital Strategy and Architecture for Human-Centered Intelligent Systems. In Buchmann, R.A., Polini, A., Johansson, B., Karagiannis, D. (Eds.), BIR 2021. LNBIP, vol 430, pp. 150–164. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87205-2_10
7. The New York Academy of Science, “Infrastructure Architecture Framework”, A multi-sector approach to enterprise systems engineering and management,2021.
8. Targowski, Andrew. (2003). Electronic Enterprise: Strategy and Architecture.
9. Gallegos-Baeza,"Alignment of Business Strategy and Information Technology in Special Economic Zones: The Case of the Co-Working Space Business in Batam, Indonesia" (2021).
10. Xu, W., Li, J., Chen, Q., & Li, G. (2022). A High-Level Planning Methodology of Enterprise Application Architecture. Advances in Economics and Management Research ICMSMI 2022, 3(1), 157-166. DOI: 10.56028/aemr.3.1.157.
11. Menchini, F., Russo, P.T., Slavov, T.N.B. and Souza, R.P. (2022), "Strategic capabilities for business model digitalization", Revista de Gestão, Vol. 29 No. 1, pp. 2-16. https://doi.org/10.1108/REGE-10-2020-0086
12. Vries, Marne & Rensburg (2009). Evaluating and refining the 'Enterprise Architecture as strategy' approach and artefacts. The South African Journal of Industrial Engineering. 20. 10.7166/20-1-81.
13. Kitsios, F. and Kamariotou, M. (2019). Business Strategy Modelling based on Enterprise Architecture: A State-of-the-Art Review, Business Process Management Journal, 25 (4), pp. 606-624. [see: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/BPMJ-05-2017-0122/full/html]
14. Dr. Paula J. Hagan, W900, The MITRE Corporation, 2004, Guide to the (Evolving) Enterprise Architecture Body of Knowledge (draft), Case No. 04-0104, 04-0105.

РОБОТИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКЕ

Н.С.Акатьева, М.К. Салтыков, И.Г. Фомина

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)

Аннотация. С каждым годом в мире появляется все больше новых технологий и разработок, которые помогают предприятиям автоматизировать процессы на всех уровнях, в том числе и логистические. В данной статье мы разберем почему предприятия должны стремиться к развитию и внедрению инноваций, а также какие технологии сейчас наиболее востребованы и эффективны в складской логистике. В первой части статьи будут рассмотрены основные преимущества роботизации процессов, чем она будет выгодна для предприятий и с какими препятствиями они могут столкнуться. Важно заметить, что к таковым относится и время, потому что логистика является одной из быстроразвивающихся сфер и требует изобретения срочных логистических решений. Только так можно достичь своих целей и закрепиться на вершине конкуренции. К счастью, крупные российские предприятия успешно развивают эти тенденции и ничем не уступают зарубежным. Об этом также будет идти речь во второй части статьи, рассмотрим опыт роботизации складских операций в отечественных компаниях. Нынешние обстоятельства в России дают возможность подумать о перспективах развития роботизации в средних и малых компаниях.

Ключевые слова: роботизация, компания, складская логистика, процессы.

В условиях постоянных перемен очень важно быть в курсе всего происходящего, чтобы оставаться на плаву и не понести убытки. Руководству компаний необходимо обратить внимание на свои процессы, поскольку, если они не налажены и не автоматизированы, могут возникнуть сложности, связанные не только с финансами, но и с производством и логистикой. Последняя, в свою очередь, сейчас очень быстро развивается. Многие крупные компании уже перешли на роботизированные склады, где трудоемкие операции, забирающие много времени и усилий у работника, полностью выполняют роботы. Специалисты по всему миру разработали множество различных роботов, способных справиться с высокой нагрузкой и большой тяжестью, при этом сокращая время на выполнение операции, что не может сделать человек даже с дополнительным оборудованием или машиной. Также роботы имеют свой встроенный программный код, благодаря которому они исправно работают без вмешательства человека. Все это исключает ошибки, связанные с «человеческим фактором».

Роботы позволяют повысить производительность без необходимости перестраивать предприятие. Более того, появляется еще больше места для хранения товаров. Роботы умеют автономно передвигаться по рядам со стеллажами, расстояние между которыми выделено с учетом габаритов паллетов.

Внедрение роботов бесспорно подразумевает больших денежных вложений, однако в то же время помогает компании сэкономить на рабочих местах и прочих затратах. К слову, в России достаточно осторожно относятся к роботизации. Это обусловлено тем, что уже есть некий традиционный подход к ведению бизнеса, где ведущую роль исполнителя занимает непосредственно человек. С одной стороны это хорошо, так как есть рабочие места, а с другой - всегда есть предел управляемости процесса человеком. Те компании, которые сейчас находятся на этом рубеже, начинают проявлять больше интереса к роботизации и автоматизации.

Другими причинами могут выступать недостаточные ресурсы, ведь многие компании не могут себе позволить дорогостоящих роботов; сопротивление персонала, которого еще нужно обучить работе с новыми технологиями, а также недоступность тех же роботов ввиду

политической и экономической ситуации в мире, не позволяющая сотрудничать с крупными зарубежными разработчиками, мешает российскому рынку робототехники динамично развиваться в ногу со временем. Без должной гибкости управленческих и производственных процессов, сложно говорить о внедрении инноваций и быстром росте эффективности. Для решения этих проблем, в первую очередь, следует запустить информационную систему, которая будет регулировать всю работу предприятия, а также хранить все данные в безопасности и предоставлять к ним доступ для всего персонала. После этого нужно лишь поддерживать ИС на постоянной основе и следить за ее надежностью и эффективностью, что значительно облегчит жизнь сотрудникам и руководству.

В производственной сфере уже давно пользуются популярностью автоматизированные решения, но в складской логистике подавляющее большинство операций по-прежнему выполняется вручную из-за сложности задач. Тем не менее, компания DHL решила приобрести несколько коллаборативных роботов RethinkRobotics, таких как модели Sawyer и Baxter, которые способны работать вместе с людьми, повышая производительность. Эти роботы оснащены датчиками и камерами, что позволяет им выполнять функции, недоступные другим моделям, такие как расфасовка продукции [1].

Существуют новые системы в области складской логистики, которые не требуют встраивания карты склада, так как они основаны на компьютерном зрении и искусственном интеллекте, например, система ToruCube от компании Magazino [2]. Эти системы позволяют роботам ориентироваться и выполнять задачи автоматически. Роботы-паллетайзеры, которые являются промышленными манипуляторами, предназначены для автоматической укладки товаров на паллеты. Они выполняют трудоемкую функцию формирования правильного параллелепипеда из продукции на поддоне. Эти роботы могут работать на нескольких производственных линиях одновременно благодаря своей универсальной оснастке захвата. Вместе с высокой производительностью и возможностью перепрограммирования они обладают и высокой стоимостью.

В 2016 году на Тимашевском молочном комбинате в Краснодарском крае внедрили роботов-паллетайзеров для оптимизации складских операций [3]. Такие роботы похожи на современные роботы-пылесосы и могут автономно перемещаться по складу со скоростью до 8 км/ч, а также перевозить грузы весом до 317 кг. Оборудованный двумя камерами, робот может считывать штрихкоды на полу склада и на стеллажах. Он также использует инфракрасные сенсоры и датчики столкновений для ориентации в пространстве. Стоимость комплексного решения для склада площадью 10 тыс. кв. м составила более $4 млн.

Компания "Газпромнефть" стала одной из первых российских нефтегазовых компаний, которая активно применяет технологии виртуальной и дополненной реальности в своих производственных процессах. Например, они использовали платформенное решение видео-аналитики для цифрового измерения материально-технических ресурсов на складах с помощью системы, похожей на ToruCube, о которой мы говорили ранее. Также в нефтепереработке появились виртуальные анализаторы качества, позволяющие прогнозировать показатели измерений на основе предыдущих тестов без необходимости проведения их фактических измерений. Централизация управления производством и логистикой стала значительным шагом к автоматизации. Проекты по внедрению таких цифровых технологий как блокчейн и интернет вещей обеспечивают стабильную связь информационной системы с реальными процессами, например, закупкой или поставкой. Помимо этого, они регулируют трансакционные издержки и документооборот.

В нефтегазовой отрасли наблюдается расширение применения роботизированных технологий, при этом роботы становятся все более интеллектуальными, но это не исключает участие человека в цепочке поставок. Менеджмент компании "Газпромнефть" заинтересован в сотрудничестве с разработчиками роботов, учитывающими специфику логистических процессов отрасли. На складах используются миниатюрные роботизированные кубические тележки, которые перемещаются по рельсам, сортируют и складируют грузы, учитывая особенности нефтегазовой отрасли [4].

Российская компания RoboCV с 2012 года занимается разработкой различной автоматизированной и беспилотной техники. Так некоторыми из их проектов являются автономные тягачи и погрузчики для складов, справляющиеся с любым типом груза. Эти решения включают в себя четырехколесные автономные платформы, которые могут использоваться для беспилотных автомобилей, но в настоящее время применяются как складская техника. Автономные тягачи эффективно выполняют погрузочно-разгрузочные работы, а паллетные тележки, работающие в автономном режиме, могут перемещать грузы и поднимать их на нужную высоту без необходимости вручную подключать их к тягачу [5].

Одним из перспективных направлений является применение беспилотного транспорта, предназначенного для грузоперевозок. В настоящее время уже существует множество моделей беспилотных автомобилей, фур и самолетов, активно пользующиеся спросом, но технологии не стоят на месте и в будущем транспортный комплекс будет включать в себя роботизированные поезда, самолеты, корабли, дроны и совмещенные робогрузовики, объединенные в «дорожные поезда». Конечно, не будем забывать о нашей повседневной жизни, ожидаются разработки автономных автобусов, робокаров и даже магазинов. Также будут использоваться средства доставки на "последней миле", такие как логистические коптеры и малые беспилотные самолеты, а также наземные робокурьеры.

Это показывает, что возможности робототехники в логистике, особенно при выполнении операций для специфических клиентов, таких как военные, очень разнообразны. Комплексные решения с помощью робототехники помогут значительно повысить качество и снизить затраты на логистику. Для достижения этих целей необходимо постоянно проводить исследования на основе новых пилотных логистических проектов, чтобы определить возможные недоработки текущих технических решений и предложить новые, учитывая вероятность внедрения роботизированных логистических операций.

Список литературы

1. Baxter — интеллектуальный промышленный робот // robocraft.ru URL: http://robocraft.ru/blog/robots/1031.html (дата обращения: 13.03.2024)
2. Складские роботы // robotrends.ru URL: http://robotrends.ru/robopedia/skladskie-roboty (дата обращения: 13.03.2024)
3. Молочные реки Кубани // gelpriboy.ru URL: https://gelpriboy.ru/obshchestvo/1654-molochnye-reki-kubani/ (дата обращения: 13.03.2024)
4. Цифровая трансформация нефтегазовой отрасли: популярный миф или объективная реальность? // oilandgasforum.ru URL: http://oilandgasforum.ru/data/files/Digest%20site/DAIDJEST%20WEB2.pdf (дата обращения: 13.03.2024)
5. Роботы начали захватывать склады // Хайтек URL: https://hightech.fm/2018/02/01/warehouse_robots-2 (дата обращения: 13.03.2024)

ИЗУЧЕНИЕ ПОДХОДОВ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ КОНКУРЕНТНЫХ ЦЕН НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

АЛКАЕВ Д.О.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В статье рассматриваются подходы к прогнозированию цен на сырьевых рынках, включая их применимость в предсказании цены на электроэнергию в России. Определены факторы влияющие на цену электроэнергии и проведен сравнительный анализ двух подходов к прогнозированию цены: регрессионный и нейросетевой.

Ключевые слова: Электроэнергетика, генерирующая компания, искусственный интеллект, нейросети, регрессионный анализ, уравнение регрессии, электроэнергия и мощность

Цена на электроэнергию являются одним из индикаторов развитости экономики страны, так как является отражением спроса и предложения на энергию. Высокие цены на электроэнергию могут указывать на высокий спрос, объясняемый развитой промышленностью и значительным уровнем потребления энергии в домашних условиях. Низкие цены на электроэнергию могут указывать на наличие достаточной инфраструктуры и минимальные затраты на производство и доставку энергии. И несомненно высокие цены на электроэнергию являются индикатором для входа инвесторов в отрасль, что способствует ее развитию и росту экономики страны.

Вопрос прогнозирования цен крайне важен и волнителен для каждого в современном мире. Особую остроту этот вопрос имеет на конкурентных рынках, где динамика цен зависит не только от инфляционных ожиданий, которых было бы вполне достаточно, скажем, для плановой экономики. Набор признаков, который профессиональный участник выберет для предсказания цены зависит от срока прогноза и подхода к анализу.

На биржевом рынке общеизвестными являются два подхода к прогнозированию цен: технический и фундаментальный. Фундаментальный анализ фокусируется на макроэкономических показателях государства (ВВП, инвестиции, инфляция, государственный долг, численность населения и т.д.), а также на внутренних финансовых показателях конкретных игроков рынка или рейтинге профессиональных аналитиков [2]. Фундаментальный анализ подходит для среднесрочного и долгосрочного планирования, а технический – для операционного (краткосрочного).

Преимуществом фундаментального анализа является возможность построения прогнозов на длительный срок, недостатком – субъективизм в интерпретации причин изменения цен, который может розниться с мнениями других аналитиков.

Преимуществом технического анализа является его универсальность с точки зрения применимости к любому рынку (фондовый, сырьевой, валютный). Анализ базируется на ретроспективных данных и позволяет наложить тренды прошлого на текущую картину рынка. Удобство технического анализа кроется в его графическом представлении данных, понятном для восприятия, а заложенный в анализ математический аппарат позволяет легко автоматизировать его. Недостатком технического анализа являются его успешная применимость только на высоко ликвидных рынках и проверенная работоспособность только на временных рядах.

На практике для получения наилучшего результата следует совмещать оба варианта анализа, тем более, когда речь идет о такой разновидности сырьевого рынка, как рынок электроэнергии.

На российском рынке электроэнергии представлена торговля двумя товарами, по аналогии с Великобританией, электроэнергией и мощностью. Реализация первого товара связана с возмещением переменных затрат производителя электроэнергии, второго – с компенсацией постоянных затрат, включая инвестиции в модернизацию и новое строительство. Рынок мощности представлен в виде ежегодных долгосрочных аукционов, на которых отбирается генерирующие оборудование, готовое производить электроэнергию, и формируется маржинальная цена на мощность, не превышающая установленное предельное значение (price-cap). Построение прогноза цены мощности базируется на фундаментальной модели, для которой на вход подаются заранее известные условия и ограничения, макроэкономические показатели и экспертная оценка поведения участников, основанная на опыте прошлых аукционов и расчетах условно-постоянных затрат.

Наиболее сложным и интересным является ценообразование на рынке электроэнергии, которая организована в непрерывном режиме каждый час. Более 70% всей электроэнергии распродается на рынке на сутки вперед (РСВ), где формируются плановые графики производства и потребления электроэнергия, а от отклонения от плановых графиков (около 2% всех объемов) расторговываются на балансирующем рынке по факту поставки и потребления электроэнергии. Остальной объем электроэнергии продается населению и приравненным к нему категориям потребителей по утвержденным антимонопольным органом тарифам.

Расчетная модель РСВ описана Приложением №7 Договора о присоединении к торговой системе оптового рынка [3], и при достаточных уровнях экономической и математической грамотности, а также при наличии необходимых статистических данных по рынку и программно-технических средств данную модель можно реализовать на практике как фундаментальную и использовать для моделирования рыночных ситуаций в конкретный час. Подобная система предложена на отечественном рынке компанией ООО «СКМ Маркет Предиктор».

Для построения среднесрочных (до 3 лет) и долгосрочных моделей РСВ необходимо использовать ретроспективные данные по рынку, строить электрические балансы спроса и предложения, выявлять зависимости между результативным и влияющими признаками. Наиболее распространенным способом для формирования такого прогноза является корреляционно-регрессионный анализ с построением уравнения регрессии. Для этого следует описать ряд факторов, влияющих на ценообразование на рынке электроэнергии.

Около 60% всей произведенной электроэнергии в стране вырабатывается тепловыми электростанциями, где около 80% занимает газовая электрогенерация, поэтому основным драйвером движения цены электроэнергии являются цены на топливо (газ, уголь, мазут). Отсутствие либерализованного рынка газа в стране и ежегодная индексация цен на «голубое топливо» предопределяет растущий тренд цен на электроэнергию. Однако, разнообразие тепловой генерации по уровню эффективности, вводы альтернативных генерирующих мощностей, ограничения пропускной способности электрических сетей, уровень резерва, и наконец используемая стратегия каждого участника вносят отклонения в общую динамику цены электроэнергии. На рынке существуют ограничения в виде контроля антимонопольного органа над максимальным уровнем цен в заявках участников рынка, но контроля над нижней границей нет, поэтому в условиях избытка предложения не

редки случаи подачи заявок с ценой ниже себестоимости производства вплоть до нуля – такие заявки называют ценопринимающие. Наличие большого объёма ценопринимания на рынке (около 80% всего предложения) включает всех тех, чья загрузка идет в приоритете: атомная и гидрогенерация, электростанций ВИЭ, теплофикационные объемы ТЭЦ, технологические минимумы тепловой генерации и, наконец, объемы по нулевой цене, – увеличивает риск формирования нулевых цен, и такое происходит, как правило в ночные часы, когда снижается спрос на электроэнергию.

Некоммерческое партнерство «Совет рынка» в своей «Методике построения прогнозов свободных (нерегулируемых) цен на электрическую энергию в субъектах РФ» выделяет показатель kPrice, который характеризует долю удовлетворенного ценового предложения тепловой электрогенерации в общем объеме ценового предложения [4]:

$$kPrice = \frac{\text{Отобранный объем ТЭС} - \text{Ценопринимание ТЭС}}{\text{Общий объем ТЭС} - \text{Ценопринимание ТЭС}}$$

В условиях относительной определенности цен на газ и структуры включенной тепловой генерации данный показатель максимально описывает цену РСВ, и его удельный вес влияния на результирующий признак в уравнении регрессии достигает практически 90%. Остальные 10% цены описываются прочими факторами такими, как структура предложения, сетевые ограничения. Однако, kPrice не учитывает наклон кривой ценового предложения, который изменяется во времени и зависит от себестоимости производства электроэнергии, поэтому на рынках с непостоянными ценами на топливо и рынках одного товара (без рынка мощности) этот показатель уже не будет иметь большого веса.

Для демонстрации работы модели, построенной на базе регрессионного анализа, были взяты почасовые данные РСВ по ценовым зонам из общедоступного источника, сайта АО «АТС»: данные кривой спроса и предложения, равновесных цен, объемов потребления и производства электроэнергии, почасовые графики нагрузки генерирующего оборудования.

На основании исходных данных был вычислен показатель kPrice и определен набор прочих нормализованных показателей, которые, как предполагается, имеют влияние на результирующий признак. Для устранения воздействия топливных затрат на результат цена РСВ была приведена к начальной дате статистической выборки за счет дисконтирования на темпы роста цен на топливо. Таким образом, совокупный объем сформированной двумерной таблицы составил 63271 строк и 5 столбцов или более 300 тыс. значений.

Построение уравнения регрессии можно реализовать на разных информационных платформах. С учетом объема данных наиболее удобным здесь будет инструментом Python и библиотека с различными статистическими моделями Statsmodels [5]. В нашем случае был выбран традиционный метод наименьших квадратов, и результаты построения модели оказались достойными:

- отобранные для модели факторы описали ее на 93%, о чем свидетельствует коэффициент детерминации R-squared;
- расчетные уровни значимости коэффициента детерминации Prob (F-statistic) и коэффициентов регрессии P>|t| не превысили пороговое значение в 0.05, следовательно подтвердили свою значимость в модели;
- доверительные интервалы коэффициентов регрессии [0.025 0.975] не включили в себя точку 0 и т.д.

Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.931
Dependent Variable:	Price	AIC:	666487.8873
Date:	2023-12-11 08:13	BIC:	666533.1632
No. Observations:	63271	Log-Likelihood:	-3.3324e+05
Df Model:	4	F-statistic:	2.122e+05
Df Residuals:	63266	Prob (F-statistic):	0.00
R-squared:	0.931	Scale:	2199.3

	Coef.	Std.Err.	t	P>|t|	[0.025	0.975]
const	1012.1886	7.1896	140.7848	0.0000	998.0969	1026.2802
kprice	891.6610	0.9830	907.0530	0.0000	889.7343	893.5878
%_CCGP	-722.4085	9.1007	-79.3791	0.0000	-740.2460	-704.5711
%_cheap	-499.8325	13.9954	-35.7141	0.0000	-527.2634	-472.4015
%_heat	-911.0363	8.5706	-106.2978	0.0000	-927.8347	-894.2379

Omnibus:	10015.267	Durbin-Watson:	0.399
Prob(Omnibus):	0.000	Jarque-Bera (JB):	41269.272
Skew:	-0.739	Prob(JB):	0.000
Kurtosis:	6.670	Condition No.:	122

Рис. 1. Результаты регрессионного анализа в библиотеке Statsmodels

Графическое представление результатов анализа показывает недостаточную работоспособность модели, которая усредняет ретроспективные данные и сужает волатильность цены в течение суток.

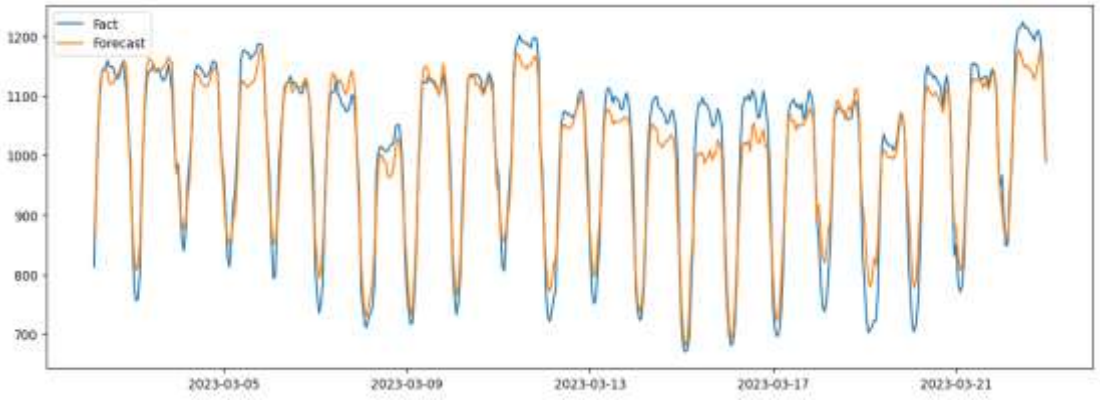


Рис. 2. Сравнение эмпирических и расчетных данных по ценам РСВ регрессии

Альтернативным решением в таком случае может стать простая нейросетевая модель, построенная на полносвязных слоях Dense с числом нейронов, варьирующихся на каждом слое от 64 до 1024 единиц [6]. В результате получилась модель с 198 тыс. вычисляемых параметров.

```
_________________________________________________________________
 Layer (type)                Output Shape              Param #
=================================================================
 input_2 (InputLayer)        [(None, 4)]               0

 dense_4 (Dense)             (None, 64)                320

 dense_5 (Dense)             (None, 1024)              66560

 dropout_1 (Dropout)         (None, 1024)              0

 dense_6 (Dense)             (None, 128)               131200

 dense_7 (Dense)             (None, 1)                 129

=================================================================
Total params: 198209 (774.25 KB)
Trainable params: 198209 (774.25 KB)
Non-trainable params: 0 (0.00 Byte)
```

Рис. 3. Нейросеть на базе исходных данных для регрессии

Результаты обучения превзошли показатели уравнения линейной регрессии: коэффициент детерминации вырос до 98%, а ошибка модели сократилась практически в 2,5 раза, с 5,4% до 2,1%. На графиках сравнения с фактическими данными видно, что нейросетевая модель максимально повторяет профиль цены внутри суток, и регрессионная модель существенно уступает по показателям.

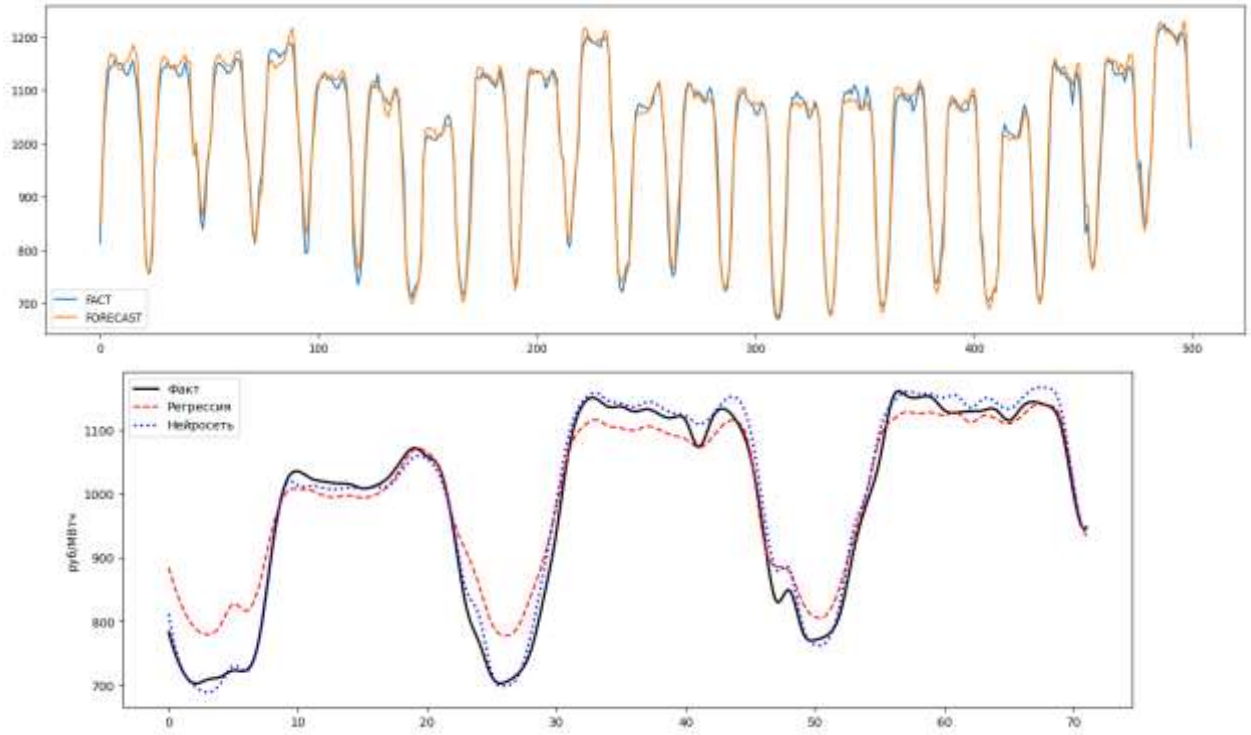


Рис. 5. Сравнение эмпирических и расчетных данных по ценам РСВ в нейросети

Опыт применения нейросетевых технологий в прогнозировании цены на электроэнергию показал высокую результативность. Безусловно конечный результат во многом зависит от качества исходных данных и предлагаемых сценарных условий, архитектуры и параметризации сети, вычислительных компьютерных мощностей, а также соответствующих компетенций. Но расширение области применения искусственного интеллекта в электроэнергетике выведет отрасль на новый уровень, позволит внедрить новые инструменты торговли электроэнергией, обеспечит безопасное и эффективное энергоснабжение с минимальными энергетическими потерями.

Список литературы

1. Статистики по мировым ценам на энергоносители / [Электронный ресурс] // GlobalPetrolPrices : [сайт]. — URL: http://globalpetrolprices.com

2. Чем отличается технический анализ от фундаментального и когда его применять / [Электронный ресурс] // Финам : [сайт]. — URL: https://www.finam.ru/publications/item/chem-otlichaetsya-texnicheskiiy-analiz-ot-fundamentalnogo-i-kogda-ego-primenyat-20210505-13360/

3. Приложение 7. Регламент проведения конкурентного отбора ценовых заявок на сутки вперед / [Электронный ресурс] // Ассоциация «НП Совет рынка» : [сайт]. — URL: https://www.np-sr.ru/ru/regulation/joining/reglaments/1970

4. Методика построения прогнозов свободных (нерегулируемых) цен на электрическую энергию в субъектах РФ / [Электронный ресурс] // Ассоциация «НП Совет рынка» : [сайт]. — URL: https://www.np-sr.ru/sites/default/files/metodika_postroeniya_prognoza_snc_elektroenergiya_0.pdf

5. Statistical models, hypothesis tests, and data exploration / [Электронный ресурс] // StatModels : [сайт]. — URL: https://www.statsmodels.org/stable/index.html
6. Документация Keras / [Электронный ресурс] // Keras : [сайт]. — URL: https://keras.io/

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СОЦИОКИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

АНАНЬЕВА В.Я.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В данной статье описан подход к построению сложных распределенных социокиберфизических систем с использованием цифровых двойников. Социокиберфизическая система рассматривается как "система систем", цифровой двойник - как элемент системы цифровых двойников. Представлена обобщенная структура цифровых двойников, структура системы моделей. Рассмотрены различные варианты поддержания модели в актуальном состоянии.

Ключевые слова: цифровой двойник, киберфизическая система, социокиберфизическая система, система систем

Введение

Современный этап развития общества характеризуется стремительным развитием техники и технологии и характеризуется появлением антропогенных систем принципиально нового уровня сложности. Это привело к появлению киберфизических (КФС), а позднее и социокиберфизических систем [1].

В настоящее время представляется целесообразным рассмотреть специфику применения ЦД-технологий с учетом современных реалий, т.е. каким образом ЦД могут использоваться в крупномасштабных интеллектуальных социокиберфизических системах, построенных по принципу системы систем и реализующих идеи гибридного интеллекта.

Социокиберфизические системы

Социокиберфизические системы (Human cyber-physical systems, СКФС) – это системы, которые включают в себя интегрированные кибернетические компоненты: вычислительную, коммуникационную, физическую части, людей и их группы.

Значимую часть СКФС составляют крупномасштабные интеллектуальные системы, которые можно рассматривать как "системы систем" (System of Systems, SoS) [2]. Это обусловлено тем, что существует значительное количество сложных КФС, которые можно объединить в SoS.

СКФС можно представить, как множество подсистем (динамических миров), каждую из которых можно рассматривать как SoS. Элементы этих миров могут обмениваться энергией, материей, данными, информацией, знаниями (ДИЗ) и общаться на естественных языках. Миры в общем случае постоянно эволюционируют, в частности, миры могут исчезать и могут появляться новые.

Цифровые двойники

Наиболее общим и широко используемым определением ЦД является определение, предложенное в 2020 году Digital Twin Consortium. Согласно этому определению, *"Цифровой двойник - это виртуальное представление объектов и процессов реального мира, синхронизированное с заданной частотой и точностью"* [3].

Цифровые двойники и социокиберфизические системы

Цифровой двойник – это один из элементов, которые могут быть использованы для построения систем гибридного интеллекта [4]. Гибридный интеллект, согласно общепринятому определению, представляет собой симбиоз человеческого и машинного интеллекта, взаимодополняющих друг друга и позволяющих достигать целей, которые недоступны ни для людей, ни для машин по отдельности. Однако практическая реализация этой концепции сталкивается с проблемой создания платформы, на которой агенты, представляющие людей и другие сущности, могут эффективно взаимодействовать между собой. Ключевым моментом в этом случае является использование ЦД, который интегрируется в соответствующего агента. Под агентом подразумевается что-то, что действует [5], при этом работает автономно, воспринимает окружающую среду, сохраняет свое существование в течение длительного периода времени, приспосабливается к изменениям, устанавливает и преследует определенные цели.

Важно отметить, что само по себе использование ЦД не решает проблемы гибридного интеллекта, такие как реализация механизмов абстрактного мышления и автоматического построения интерпретируемых символических моделей. ЦД-технологии именно обеспечивают платформу для реализации систем гибридного интеллекта.

Поддержание моделей ЦД в актуальном состоянии

Развиваемый подход основан на следующих принципах:

1) ЦД изначально рассматривается как элемент системы ЦД (СЦД);

2) ЦД рассматривается как элемент кортежа ЦД, относящихся к разным этапам и фазам ЖЦ системы;

3) в основе ЦД лежат модели: ЦД наблюдаемой сущности, модель контекста и модели внешних сущностей;

4) перечисленные выше модели являются динамическими.

Если традиционные ЦД основаны на мономодели и предназначены в основном для использования на этапе производства, то современные ЦД должны быть построены на базе системы моделей и должны быть ориентированы на использование также на этапах функционирования и модернизации, т.е. работать в режиме времени выполнения (ВВ).

ЦД можно определить, как:

ЦД = <S-процессор, Q-процессор, Репозитарий моделей, Интерфейсы>,

где **S-процессор** – процессор, отвечающий за синхронизацию модели наблюдаемой системы и состояния самой наблюдаемой системы; **Q-процессор** – процессор обработки запросов; **Репозитарий моделей** – для хранения моделей трех типов: модель наблюдаемой системы, модели некоторых внешних сущностей и контекстная модель.

Интерфейсы:

– S2MI – интерфейс взаимодействия S-процессора с репозитарием моделей;

– Q2MI – интерфейс взаимодействия Q-процессора с репозитарием моделей;

– S2AI – интерфейс взаимодействия S-процессора с наблюдаемой системой;

– S2PI – интерфейс взаимодействия S-процессора с внешними сущностями.

Заинтересованные стороны могут взаимодействовать с ЦД посредством доменно-ориентированных языков (Domain Specific Languages, DSL).

Обобщенная структура ЦД представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Обобщенная структура ЦД

Для оценки качества модели ЦД (ЦДМ) можно рассмотреть следующие показатели: полнота, т.е. наличие ДИЗ, необходимых для формирования ответов на все запросы пользователей, время задержки при формировании ответов на запросы пользователя и показатели доступности модели.

Цель моделирования – определение оптимальной стратегии работы с ЦДМ. Структура системы моделей показана на рисунке 2, где M_0 – корневой элемент, M_i – промежуточные элементы, M_n – терминальные элементы, D_i – управляемые устройства, которые выдают события. На корневой элемент M_0 и промежуточные элементы M_i поступают запросы Queries (Q), на терминальные элементы M_n поступает информация о событиях Events (E). Каждому запросу Q соответствует дерево векторов состояний. Вектор содержит ссылки на подмодели и описывает их состояния в терминах актуальна-неактуальна.

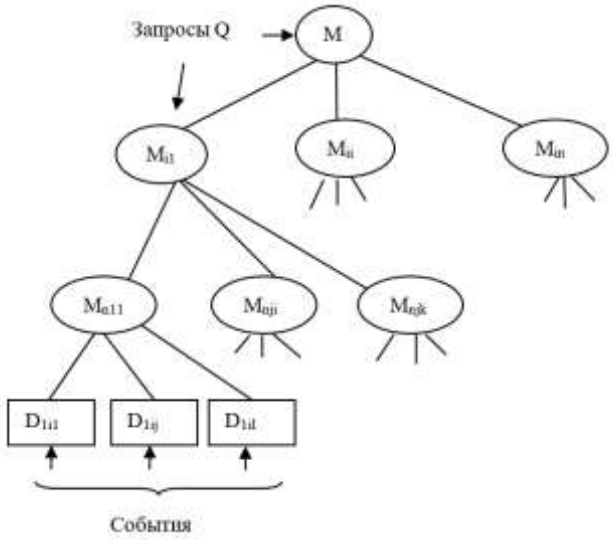


Рисунок 2 – Структура системы моделей

Рассмотрим 3 варианта поддержания моделей ЦД в актуальном состоянии: а) немедленная обработка событий; б) отложенная обработка событий; в) поддержание моделей в фоновом режиме.

Сравним их с точки зрения времени обработки запросов при различных значениях параметров модели (рисунок 3).

Среднее время между событиями для первого случая и среднее время между запросами для второго случая принято равным 50 тактов. Время обработки запросов при изменении

количества времени между запросами и событиями практически не изменяется. В среднем второй вариант (отложенная обработка событий) при заданных параметрах (изменение статуса события и всех вышестоящих узлов происходит моментально; время модернизации статусов всех узлов поддерева составляет 10 тактов; при обработке запроса если запрашиваемая модель актуальна, то время обработки запроса 20-50 тактов, если неактуальна, то 50-60 тактов) показывает немного более высокую скорость обработки запросов.

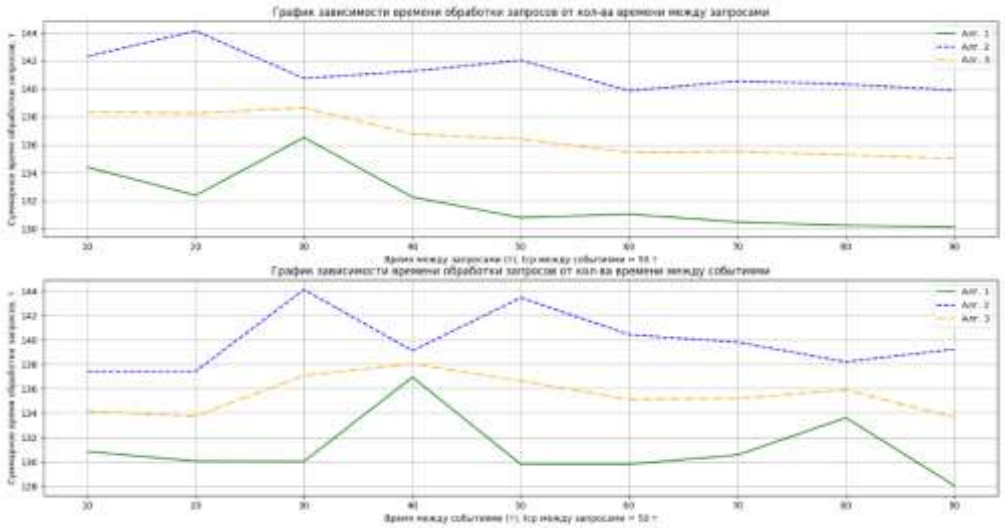


Рисунок 3 – Зависимость времени обработки запросов от количества времени (в тактах) между запросами и событиями

Заключение

Таким образом, предложен подход по поддержанию моделей ЦД, используемых в социокиберфизических системах, в актуальном состоянии.

Немедленная обработка событий позволяет уменьшить время обработки запросов, но если запросов мало, а событий много, то постоянное перестроение моделей может быть неэффективным, и целесообразнее создать их заново.

Отложенная обработка может быть эффективна, когда событий очень много, а запросов мало.

Поддержание отдельных моделей в фоновом режиме может быть полезно в случае, когда можно ранжировать модели по важности быстрого выполнения запроса.

Список литературы

1. Calinescu R., Cámara J., Paterson C. Socio-cyber-physical systems: Models, opportunities, open challenges // 2019 IEEE/ACM 5th International Workshop on Software Engineering for Smart Cyber-Physical Systems (SEsCPS).
2. Jamshidi M. System of systems engineering: innovations for the 21st century. – Deakin University, 2008.
3. Digital Twin Consortium Defines Digital Twin // Digital Twin Consortium. URL: https://www.digitaltwinconsortium.org/2020/12/digital-twinconsortium-defines-digital-twin/ (дата обращения: 25.04.2024)
4. Krinkin K., Shichkina Y., Ignatyev A. Co-evolutionary hybrid intelligence // 2021 5th Scientific School Dynamics of Complex Networks and their Applications (DCNA). – IEEE, 2021. – С. 112-115.
5. Gopalakrishnan A., Chapter 2: Digital Twin As an Architectural Pattern // Digital Twin Hands on, 2021.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ В IT-ПРОЕКТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SCRUM

ВДОВЕНКО В.А. [1], ЛЕВИНА В.М. [2]

[1]*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

[2]*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

Аннотация. В статье рассмотрена проблема автоматизации управления IT-проектами. Проведен сравнительный анализ современных инструментов автоматизации управления проектами. Для успешной реализации и управления IT-проектами применяют разные методологии и системы автоматизации бизнес-процессов, которые быстро адаптируются к изменениям. Научной новизной исследования является разработка комплексного подхода с применением методологии SCRUM к автоматизации управления IT-проектами в компаниях. Комплексный подход с применением методологии SCRUM разработан и апробирован в компании АО «ИнфоТеКС» на проекте по разработке программно-аппаратного комплекса. Предложенное решение может тиражироваться в данной компании при выполнении иных проектов, или использоваться в других компаниях, реализующих IT-проекты.

Ключевые слова: автоматизация, бизнес-процессы, SCRUM, IT-проекты

Переход к управлению проектами с использованием гибких методологий (Agile) является основным трендом в проектном управлении уже на протяжении нескольких лет. По данным ежегодного исследования StateofAgile, на сегодняшний день agile-методологии используют 97% респондентов: в 22% из них agile-методологии используются только всеми командами компании; в 26% более чем половиной команд и в 48% компаний менее половины команд применяют agile-практики в своей работе [1].

Среди гибких методологий управления IT-проектами можно выделить: «Быстрая разработка приложений» (*RapidApplicationDevelopment*, RAD) (Аппело, 2011); эволюционное управление разработкой (*Evo*) (1988); *Scrum* (1995); методы разработки динамических систем (*DSDM*) (1995): методы *Crystal* (1997); экстремальное программирование (XP) (1999); адаптивная разработка ПО (ASD) (2000).

Наиболее популярным фреймворком является Scrum – его используют 54% респондентов. 32% компаний используют комбинированные методики, состоящие из нескольких различных методологий:

8% респондентов используют гибрид Scrum и Kanban (Srcumban);

10% респондентов используют гибрид Scrum и XP (ExtremeProgramming);

14% респондентов используют гибрид из нескольких гибких методологий.

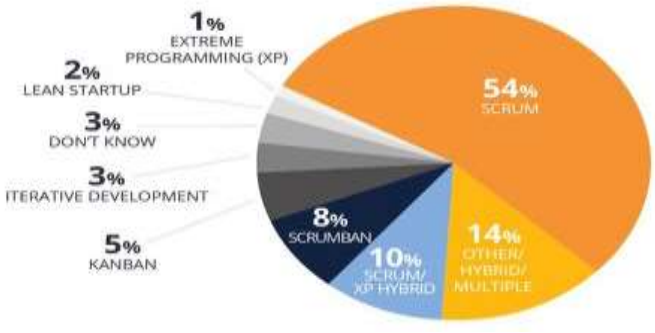


Рисунок 1. Распределение респондентов по используемым методологиям [2]

Фреймворк SCRUM – это гибкий подход к управлению IT-проектами, основой которого является процесс разработки по спринтам, в ходе которых выполняются задачи из бэклога. Спринтами называются 1-4 - недельные отрезки времени, на которые разбивается проект, длительность спринтов определяется командой в зависимости от масштабов и сложности проекта. В начале недели команда определяет список задач, который будет реализован в ходе спринта. Список задач набирается из бэклога – приоритизированный и упорядоченный набор задач, из которого разработчики выбирают себе работу на спринт. Для синхронизации работы всех участников проекта, в SCRUM используются ежедневные встречи (стендапы). Стендап представляет собой встречу в начале рабочего дня в онлайн или офлайн формате на 15 минут, чтобы каждый член команды ответил на три вопроса: «Чем занимался вчера?», «Чем будет заниматься до следующего стендапа?» и «Какие есть трудности, мешающие работе над задачами?» [3].

В сфере разработки программно-аппаратных комплексов (ПАК), где скорость, эффективность и точность играют решающую роль в развитии проекта, методология SCRUM с автоматизированными системами управления становится незаменимым инструментом для достижения успеха. Проекты ПАК включают в себя сложные процессы, требующие тщательного и внимательного подхода к деталям, быстрой адаптации к изменениям и эффективного взаимодействия между членами команды [4].

Рассмотрим, как SCRUM помогает автоматизировать процесс управление проекта, на примере внедрения фреймворка в проект по разработке средства виртуализации компании АО «ИнфоТеКС». Виртуализация сама по себе не является программно-аппаратным комплексом, но для ее реализации и эффективной работы необходим именно ПАК, состоящий из следующих компонентов:

Аппаратная часть: серверы; системы хранения данных; сетевое оборудование.

Программная часть: гипервизор (монитор виртуальных машин); система управления виртуализацией; инструменты для виртуализации отдельных компонентов.

Таким образом, виртуализация является комплексным решением, требующим тесного взаимодействия аппаратного и программного обеспечения. Именно поэтому для ее реализации необходим программно-аппаратный комплекс.

В результате проведенного исследования был разработан поэтапный план внедрения SCRUM в проект по разработке программно-аппаратного комплекса. Команда рассматриваемого проекта состоит из 18 человек: 6 разработчиков, 5 тестировщиков, аналитик, UX/UI дизайнер, технический писатель, локализатор, менеджер проекта, менеджер продукта (заказчик) и администратор проекта – автор статьи.

План внедрения:

1. Обучение и подготовка команды:

1.1 Обучение основам SCRUM. Проведение обучение для всей команды проекта, включая разработчиков, тестировщиков и заказчика, чтобы все понимали принципы и роли SCRUM. Организация общей встречи, для которой была составлена презентация, которую представили менеджер и администратор проекта. Команда задала интересующие вопросы, и обсудили основные моменты.

1.2 Формирование SCRUM-команды. На первой встрече определение ролей: Scrum Master – администратор проекта, Product Owner – менеджер проекта и Development Team – вся команда разработки и тестирования.

1.3 Подготовка бэклога продукта. Product Owner совместно с командой сформировали бэклог продукта, определили основные функции и требования к средству виртуализации. Задачи в бэклоге приоритизировали по способу оценки задач – Story points.

2. Планирование и организация работы:

2.1 Планирование спринтов. Проведение встречи по планированию спринтов, определение длительность спринтов - 2 недели, обозначение цели и задачи на первый спринт, которые команда возьмет на себя.

2.2 Организация рабочего пространства. Создание информационной доски в виртуальном исполнении для визуализации процесса разработки, использование доски задач - Kanban. Определение инструментов с помощью, которого будет визуализирована доска и продемонстрирована команде (Jira). убедились в доступности доски для команды.

3. Выполнение спринтов:

3.1 Ежедневные SCRUM-собрания. Обсудили ежедневное время начала стендапов - 15-минутные встречи. Члены команды находятся в разных городах и разных часовых поясах, поэтому выбрали видеоформат встреч и определили время 10:30 утра по МСК. Составили памятку, которая поможет команде укладываться в отведенное время. Памятку разместили на портале проекта в корпоративной сети, чтобы каждый член команды в любое время имел доступ. Scrum Master отслеживает соблюдение временных рамок стендапа.

3.2 Разработка и тестирование. Команда работает над задачами спринта, следует принципам непрерывной интеграции и доставки. Делится прогрессом на ежедневных встречах, сообщает о блокирующих работу событиях и проблемах.

3.3 Демонстрация результатов. Средство виртуализации включает в себя разработку сложных и объемных функции, поэтому за один спринт не всегда виден результат – готовая функциональность. Именно поэтому демонстрация работающих функций для заказчика и заинтересованных сторон проводится один или два раза в месяц, в зависимости от готовности работ.

3.4 Ретроспектива спринта. По окончанию каждого спринта организовывается встреча, чтобы проанализировать прошедший спринт, выявить проблемы и предложить улучшения для следующих двух недель разработки. Scrum Master фиксирует результаты ретроспективы, чтобы отслеживать соблюдение всех рекомендаций и не допускать повторных проблем.

4. Непрерывное совершенствование:

4.1 Адаптация процесса. Основываясь на результатах ретроспектив, вносятся корректировки в процесс SCRUM, чтобы оптимизировать его под особенности проекта и команды. Именно поэтому было принято решение, разбивать большие функциональности на небольшие части, чтобы укладывать в двухнедельные спринты. Также было принято демонстрировать заказчику результат работы по спринтам один или два раза в месяц, когда функциональность полностью реализована и протестирована.

4.2 Отслеживание метрик. Для быстрого принятия управленческих решений по процессу разработки продукта было принято использовать метрики и визуальные элементы. К визуальным элементам, которые применялись при работе со SCRUM относятся: Dashboard в Power BI; Microsoft Project для составления планов; Jira для доски проекта и страниц по спринтам. Визуальные элементы и используемые в них метрики помогают отслеживать прогресс и эффективность команды.

SCRUM, как гибкая методология управления проектами, способствует автоматизации ряда процессов, что приводит к повышению эффективности и качества разработки. На

разобранном в статье примере видно, какие процессы удалось автоматизировать, при разработке средства виртуализации:

1. Управление задачами и бэклогом:

1.1 Создание и приоритизация задач: Инструмент управления проектами (Jira) позволил автоматизировать процесс создания задач, присваивания им приоритеты и отслеживание их статуса.

1.2 Обновление бэклога продукта: Изменения в бэклоге продукта автоматически отражаются в инструментах управления проектами, обеспечивая прозрачность и актуальность информации для всей команды.

2. Планирование и отслеживание спринтов:

2.1 Планирование спринта: Инструменты (Jira, Microsoft Project) позволили автоматизировать процесс планирования спринта, распределения задач между участниками команды и оценки трудозатрат.

2.2 Отслеживание прогресса: Power BI, доска в Jira и другие визуальные инструменты позволили автоматически отслеживать прогресс выполнения спринта и прогнозировать его завершение.

Внедрение фреймворка SCRUM в управление проектом позволило получить ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными методами управления проектами в IT-сфере [5]. Эти преимущества оказали положительное влияние на различные аспекты разработки и привели к следующим результатам:

- Прозрачность: прогресс по проекту стал всегда доступен и понятен для заказчика, каждый спринт направлен на реализацию какой-либо фичи, поэтому результат виден в конце каждого спринта.

- Гибкость: SCRUM позволил вносить коррективы в техническое задание (ТЗ) в процессе реализации проекта, без ущерба процесса разработки.

- Контроль: ежедневные стендапы позволил четко контролировать ход работы проекта, и обеспечил более гибкое отслеживание бюджета.

- Скорость: фреймворк позволил увеличить скорость процесса разработки и вывести продукт на рынок раньше, что также сокращает расходы компании на заработную плату сотрудникам.

- Качество: внедрение гибкого процесса разработки позволило увеличить качество продукта в разы.

Таким образом, внедрение SCRUM в процесс разработки средства виртуализации позволил не только значительно повысить эффективность и качество разработки, сократить сроки выхода на рынок, но и автоматизировать ряд процессов.

Список литературы

1. Евдокимов А.Д., Рогачев С.А. Отчет об исследовании Agile в России 2021.
2. Хенрик Книберг. Scrum и XP: заметки с передовой.
3. Завертайлов В.В. Настольная книга Project-менеджера.
4. Filipa Sofio. The Scrum Framework for Agile Hardware Development.
5. Анохина М.Е., Сулимова Е.А., Кустова С.А. Внедрение методологии Scrum и ее влияние на эффективность работы компаний

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАБОТЫ С ЧАТ-БОТОМ ДЛЯ УЧЕТА И КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

ВЕСЕЛОВА Д.Д.[1], ЛЕВИНА В.М.[2]

[1]СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

[2]СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Аннотация. В статье рассматривается роль чат-ботов в современном бизнесе и подчеркивается их значимость как инструмента автоматизации и удобного способа взаимодействия с клиентами. Основываясь на исследовании Accenture Digital, отмечен высокий уровень внедрения чат-ботов в коммерческую деятельность. Описываются различные типы чат-ботов и их функциональность, включая использование искусственного интеллекта для адаптации к предпочтениям пользователей. Предложено решение по разработке "умного" чат-бота с использованием искусственного интеллекта для программы "Рубль за метр", направленной на реставрацию объектов культурного наследия. Для реализации предлагается использовать платформу в социальной сети и рекомендуется язык программирования Python, учитывая его популярность и наличие большого количества открытых библиотек и решений. Подчеркнута коммерческая значимость проекта.

Ключевые слова: чат-бот, объекты культурного наследия, искусственный интеллект.

За последние несколько лет боты стали неотъемлемой частью многих компаний. За счет такого инструмента компании могут автоматизировать рутинную работу и позволить пользователю быстро и удобно получить необходимую ему информацию. В связи с этим сфера их разработки очень популярна и продолжает развиваться дальше. Accenture Digital провело исследование в сфере использования чат-ботов коммерческими компаниями и по его итогам 77% компаний уже внедрили и активно используют чат-бота в поддержке клиентов и пост-продажах.[1] Это говорит о том, что уже сейчас необходимо внедрять этот инструмент в коммерческую деятельность, чтобы адаптироваться под новые условия современного бизнеса и в дальнейшем быть на одном уровне с конкурентами.

На сегодняшний день существует множество чат-ботов, которые активно внедряют в свой функционал использование искусственного интеллекта. Используя алгоритмы машинного обучения и нейронные сети, они способны обрабатывать запросы пользователей и адаптироваться к их предпочтениям и потребностям.

Также ботов используют в качестве сбора информации о пользователях, ответов на часто задаваемые вопросы и в роли технической поддержки, заменяя операторов или помогая наиболее четко сформулировать вопрос для его дальнейшего решения. Таким образом, этот инструмент позволяет снизить нагрузку на сотрудников, перейти на самообслуживание и повысить качество обслуживания клиентов, так как работает в любое время и отвечает мгновенно. На рисунке 1 представлена классификация чат-ботов в коммерческой деятельности способу общения с пользователями и функциональности.

Рисунок 1. Виды чат-ботов в коммерческой сфере (составлено автором)

Данная разработка может существенно помочь компаниям в привлечении клиентов, их удержании, понижении издержек и повышении качества обслуживания, а в случае с государственной программой «Рубль за метр», целью которой является реставрация объектов культурного наследия, находящихся в неудовлетворительном состоянии, в привлечении потенциальных инвесторов и их сопровождении. Идея заключается в том, чтобы создать «умного» чат-бота с использованием искусственного интеллекта, который может по запросу в чате генерировать изображение уже отреставрированного объекта культурного наследия в том виде реализации, в котором хочет его видеть инвестор. Это может быть отель, арт-пространство, ресторан и любой другой вариант использования отреставрированных объектов. Таким образом, это послужит инвестору хорошим средством визуализации его потенциальных идей и упростит дальнейшую работу над проектированием.

Работа над созданием чат-бота начинается с выбора площадки, на которой он будет функционировать. На рисунке 2 представлены виды платформ, на которых можно реализовать чат-бота. Чтобы выбрать подходящую платформу, нужно учитывать следующие факторы: аудитория, функциональность, интеграции, удобство использования и бюджет. Аудитория под вышеописанную задачу – потенциальные инвесторы, которые готовы вложить средства в объект культурного наследия. Функциональность должна включать в себя кнопки для выбора. Также должна быть возможность интеграции искусственного интеллекта. Бюджет минимальный. У программы «Рубль за метр» нет собственного сайта и приложения, и, исходя из этих факторов, больше всего подходит платформа в социальной сети, так как она проста в разработке и использовании, имеет широкий функционал и практически не требует вложений.

Рис. 2. Виды платформ для размещения чат-бота (составлено автором)

Если выбирать между существующими платформами, то самая удобная платформа для реализации чат-бота с возможностью интеграции в него искусственного интеллекта – Telegram, особенно благодаря широкому спектру инструментов и библиотек, доступных для разработчиков. Для внедрения искусственного интеллекта достаточно использовать Telegram API и API выбранной платформы для создания связи между ботом в Telegram и агентом.

Следующим шагом является выбор языка программирования. Чат-бот можно написать на любом языке программирования, но самым популярным считается Python, потому что в его экосистеме много открытых библиотек и готовых решений.[2] Индекс PYPL подтверждает популярность выбранного языка программирования. Индекс языка программирования PYPL создается путем анализа того, как часто языковые учебники ищутся в Google.

US, May 2024 :

Rank	Change	Language	Share	1-year trend
1		Python	34.03 %	+2.6 %
2		Java	14.8 %	+1.3 %
3	↑	R	8.76 %	+1.4 %
4	↑	C/C++	7.73 %	+2.2 %
5	↓↓	JavaScript	7.39 %	-0.9 %
6		C#	6.04 %	+0.8 %
7		Swift	5.77 %	+1.3 %

Рис. 3. Рейтинг языков программирования по популярности [3]

Далее необходимо прописать структуру. В случае чат-бота, который будет генерировать изображения объекта культурного наследия по запросу инвестора, структура будет довольно простая. Она представлена на рисунке 4.

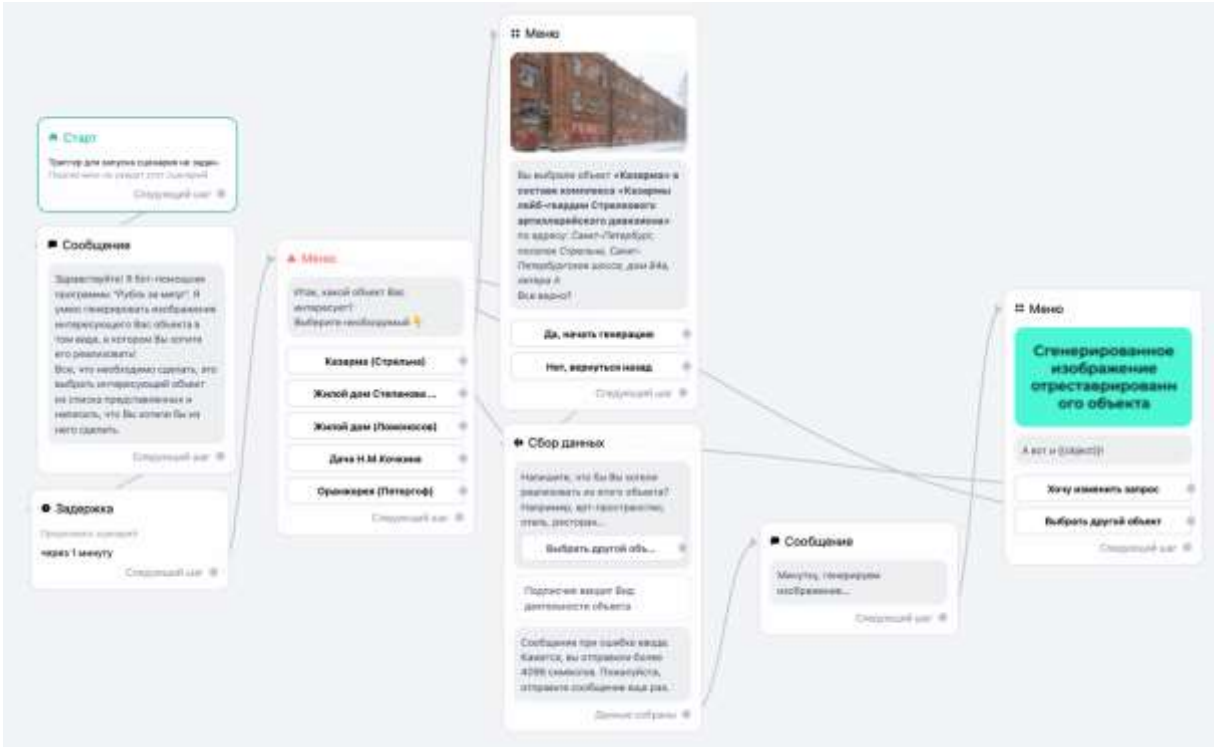


Рис. 4. Структура чат-бота (составлено автором)

После описания структуры бота можно приступать к написанию кода. Для создания искусственного интеллекта, способного генерировать изображения, можно использовать различные библиотеки и фреймворки глубокого обучения, такие как TensorFlow, PyTorch или DALL-E от OpenAI.

Первым делом необходимо установить необходимые библиотеки, такие как python-telegram-bot и выбранная библиотека с искусственным интеллектом. TensorFlow предоставляет широкий набор инструментов для разработки моделей машинного обучения и глубокого обучения и содержит множество предобученных моделей, включая такие, которые способны генерировать изображения на основе других изображений. На рисунке 5 представлена часть кода, где описана установка необходимых библиотек.

```python
import tensorflow as tf
import tensorflow_hub as hub

# Загрузка предобученной модели генерации изображений
model = hub.load("https://tfhub.dev/google/magenta/arbitrary-image-stylization-v1

# Загрузка исходного изображения
content_image = tf.keras.preprocessing.image.load_img("content_image.jpg")
content_image = tf.keras.preprocessing.image.img_to_array(content_image)

# Загрузка изображения стиля
style_image = tf.keras.preprocessing.image.load_img("style_image.jpg")
style_image = tf.keras.preprocessing.image.img_to_array(style_image)

# Преобразование изображений к формату [0, 1] и изменение размеров до 256x256
content_image = content_image / 255.0
style_image = style_image / 255.0
content_image = tf.image.resize(content_image, (256, 256))
style_image = tf.image.resize(style_image, (256, 256))

# Генерация стилизованного изображения
stylized_image = model(tf.constant(content_image), tf.constant(style_image))[0]
```

Рис. 5. Часть кода для чат-бота (составлено автором)

К сожалению, доступные бесплатные нейронные сети не могут качественно обработать изображение и решить поставленную задачу. Поэтому качественная генерация изображений может быть доступна только с использованием платных библиотек API.

Последним шагом является написание кода для описанной выше структуры (рис.4). Здесь будут использоваться команды из установленных библиотек.

Таким образом потенциальный инвестор с помощью чат-бота сможет сгенерировать изображение объекта культурного наследия в том виде, в котором ему было бы интересно его реализовать. На рисунке 6 представлена часть возможного диалога с чат-ботом.

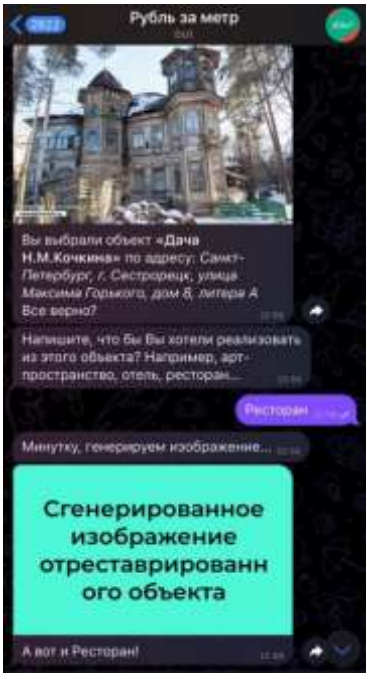


Рис. 6. Скрин из чат-бота в Telegram

Реализация такого инструмента позволит повысить заинтересованность инвесторов к программе, а также выйти на новый уровень работу государственных учреждений.

Список литературы

6. Carrot quest // Будущее чат-ботов: 10 исследований и прогнозы экспертов // Электронный ресурс. URL: https://www.carrotquest.io/chatbot/future-of-chatbots/
7. Журнал Тинькофф // Как самостоятельно сделать бота в «Телеграме» без навыков программирования // Электронный ресурс. URL: https://clck.ru/3AUGsJ
8. PYPL Популярность языка программирования // Электронный ресурс. URL: https://pypl.github.io/PYPL.html?country=US
9. Официальный сайт ГБУ «ГУИОН» // Программа «Рубль за метр» // Электронный ресурс. URL: https://guion.spb.ru/services/rubl

ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРЕССИВНЫХ ИННОВАЦИЙ

Покровская Н.Н.[1], Винюков А.А.[1]
[1]ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. Статья представляет вызовы и стратегии в современном маркетинге, связанные с требовательностью потребителей и необходимостью индивидуализации предложений. Рассматриваются прогрессивные инновации, такие как искусственный интеллект и реверсивный инжиниринг, используемые для создания персонализированных продуктов и услуг. Примеры из Китая и мировых компаний демонстрируют эффективность этих подходов, однако в контексте России присутствуют особенности, требующие дополнительного внимания.

Ключевые слова: маркетинг, индивидуализация, прогрессивный маркетинг, инновации, реверсивный инжиниринг.

Современный маркетинг все чаще сталкивается, с одной стороны, с приятным явлением – потребитель становится умнее и требовательнее, осознаннее относится к потреблению продукции. Для маркетинга это может быть проблемой, ведь приходится разрабатывать и применять прогрессивные инновации для индивидуализации и дифференциации предложения [2].

Под индивидуализацией предложения мы понимаем подход, ориентированный на то, чтобы предоставлять товары и услуги, максимально соответствующие индивидуальным потребностям, вкусам и предпочтениям каждого клиента. В век информационных технологий и глобализации, когда потребители имеют доступ к беспрецедентному количеству информации и вариантов, способность компаний адаптировать свои предложения под конкретного человека становится жизненно важной.

Индивидуализация предложения – это маркетинговая стратегия, направленная на создание уникального опыта для каждого клиента. Она подразумевает глубокое понимание потребностей, желаний и мотивации каждого человека, а также использование этой информации для разработки персонализированных продуктов, услуг и предложений [11искусс].

В современном мире, где потребители имеют доступ к огромному выбору товаров и услуг, их ожидания от компаний постоянно растут. Люди хотят, чтобы к ним относились как к индивидуальностям, а не как к безликим массам. Индивидуализация предложения позволяет компаниям увеличить продажи и лояльность клиентов, повысить конкурентоспособность, улучшить имидж бренда, в конце концов - создать более крепкие отношения с клиентами.

Прогрессивные инновации представляют собой новые идеи, технологии и подходы, которые позволяют компаниям выйти за рамки традиционных методов и создать по-настоящему уникальные продукты и услуги для каждого клиента. Они играют ключевую роль в реализации стратегии индивидуализации предложения. Новые технологии (искусственный интеллект, интернет вещей, большие данные и 3D-печать) открывают новые возможности для создания персонализированных продуктов и услуг [8].

Существует пять основных типов прогрессивных инноваций, которые могут быть использованы для индивидуализации предложения [7]:

- Инновации в продукте: создание новых продуктов или улучшение существующих для удовлетворения индивидуальных потребностей клиентов;
- Инновации в процессе: разработка новых методов производства, доставки или обслуживания клиентов для обеспечения максимального удобства и персонализации;
- Инновации в маркетинге: использование новых каналов и методов коммуникации для прямого взаимодействия с клиентами и создания персонализированных маркетинговых кампаний;
- Инновации в организации: создание новой структуры или культуры в компании, которая ориентирована на клиента и способствует индивидуализации предложения;
- Инновации в бизнес-модели: разработка новых способов ведения бизнеса, которые позволяют компаниям предлагать клиентам уникальные и персонализированные решения.

Для применения прогрессивных инноваций необходимо выбрать инструмент оценки имеющейся продукции, понять, нужно ли вообще что-то менять. Реверсивный инжиниринг – это метод изучения и анализа существующих продуктов, услуг или процессов с целью понимания их работы и разработки на их основе новых, улучшенных или персонализированных решений. В контексте индивидуализации предложения реверсивный инжиниринг может быть использован как мощный инструмент для адаптации продуктов и услуг к предпочтениям и потребностям клиентов [1].

Рассмотрим несколько примеров в маркетинговом поле современного Китая. Автопром КНР является одним из наиболее ярких примеров успешного использования реверсивного инжиниринга для индивидуализации предложения [6]. Так, китайские автопроизводители изучают вкусы и потребности местных потребителей, анализируют популярные модели иностранных брендов, пазрабатывают собственные автомобили, адаптированные к местным условиям и предпочтениям, педлагают широкий выбор персонализированных функций и опций, а также используют онлайн-платформы для взаимодействия с потребителями и сбора их отзывов. В результате этой стратегии китайские автопроизводители добились значительных успехов на внутреннем и мировом рынках [4].

Компании по всему миру активно используют прогрессивные инновации и реверсивный инжиниринг для индивидуализации предложения в различных отраслях. Например, Amazon использует рекомендательные системы на основе искусственного интеллекта, чтобы предлагать клиентам персонализированные товары, Wells Fargo предлагает персонализированные финансовые планы на основе анализа данных о клиентах, а Airbnb и вовсе позволяет путешественникам бронировать уникальные жилые помещения по всему миру. В сфере образовательных услуг Khan Academy предлагает бесплатные онлайн-курсы по различным предметам, Duolingo использует игровую механику для персонализации процесса изучения языков [10].

Нельзя сказать, что в России не применяются такие подходы к индивидуализации предложения. В то же время российский рынок имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при разработке стратегии индивидуализации предложения. Так, нужно понимать, что Россия – огромная страна с разнообразными климатическими, культурными и экономическими условиями. Поскольку современные технологии связаны с Интернетом, очень важным фактором является его покрытие на самых труднодоступных территориях. Однако в некоторых регионах России доступ к интернету все еще ограничен, что ограничивает возможности использования онлайн-каналов для индивидуализации предложения [5].

Надо заметить, что онлайн-покупки далеко не всегда вызывают у потребителя доверия, а ведь это один из главных факторов развития онлайн-торговли – по сути, магистрального направления индивидуализации предложения для потребителя. Многие российские потребители предпочитают совершать покупки в офлайн-магазинах, что осложняет сбор данных о клиентах и персонализацию предложений [8].

Несмотря на это, количество онлайн-покупателей в России быстро растет, что открывает новые возможности для использования онлайн-каналов для индивидуализации предложения. Новые технологии могут быть использованы для сбора данных о клиентах и персонализации предложений. Российские потребители становятся все более требовательными и ожидают от компаний персонализированного подхода [9].

Ряд российских компаний уже успешно внедряют стратегии индивидуализации предложения. Так, Сбербанк использует искусственный интеллект для персонализации кредитных предложений и инвестиционных рекомендаций. Wildberries предлагает персонализированные рекомендации товаров на основе истории покупок каждого клиента [12]. Ozon использует чат-ботов для обслуживания клиентов и ответов на их вопросы. Эти компании показывают, что индивидуализация предложения – это эффективная стратегия, которая может быть успешно применена в России [3].

В этой статье мы рассмотрели, что такое индивидуализация предложения, почему она имеет такое значение в современном мире, и как компании могут использовать прогрессивные инновации и реверсивный инжиниринг для ее реализации. Индивидуализация предложения – это не просто тренд, это будущее бизнеса. Компании, которые смогут успешно внедрить эту стратегию, будут процветать в этом динамичном и конкурентном мире. В дополнение к вышесказанному, важно отметить, что индивидуализация предложения должна соответствовать этическим нормам и не нарушать конфиденциальность клиентов.

Список литературы:

1. Артамонова А. С. Тенденции развития маркетинга в эпоху цифровой экономики в России // Стратегическое управление: теория, практика и проблемы. – 2020. – С. 28-33.
2. Богомолова И. П. и др. Управление конкурентоспособностью предприятий на основе современных маркетинговых технологий // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2021. – Т. 11. – №. 5-1. – С. 167-173.
3. Вахрушев Д. С., Волков А. Ю., Кальсин А. Е. Цифровизация банковского бизнеса: основные тренды, риски и перспективы // Устойчивое развитие цифровой экономики и кластерных структур: теория и практика. – 2020. – С. 417-436.
4. Гончарова И. В. Проблемы и перспективы совершенствования управления современным маркетингом // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2021. – №. 1. – С. 59-67.
5. Денисенко И. А., Шашло Н. В., Кузубов А. В. Маркетинговые коммуникации на рынке инновационных товаров // Сервис plus. – 2021. – Т. 15. – №. 1. – С. 58-66.
6. Кухаренко Е. Г., Синьянь Ц. Применение digital-инструментов в маркетинговой деятельности операторов подвижной связи КНР // Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом. – 2021. – С. 54-58.
7. Решетникова М. С., Пугачева И. А., Лукина Ю. Д. Тенденции развития технологий искусственного интеллекта в КНР // Вопросы инновационной экономики. – 2021. – Т. 11. – №. 1. – С. 333-350.
8. Слицкая А. Е. Применение искусственного интеллекта в маркетинге // Практический маркетинг. – 2023. – №. 12. – С. 77-80.
9. Тяньтянь Л. Создание ценностного предложения для потребителей старших возрастов во въездном туризме (на примере КНР) // Туристский сезон 2021: проблемы и перспективы. – 2021. – С. 82-84.
10. Яненко М. Б., Яненко М. Е. Маркетинговая деятельность в условиях цифровой трансформации: проблемы формализации и построение описательных алгоритмов // Практический маркетинг. – 2020. – №. 2 (276). – С. 14-19.
11. Покровская Н.Н., Тюлин А.В. Психологические вопросы формирования регулятивных механизмов в цифровой среде // Технологии в инфосфере. 2021. Т. 2. No 2 (3). С. 106–125. DOI: 10.48417/technolang.2021.02.11.
12. Brusakova I.A., Haj Bara B.A., Ababkova M.Yu., Pokrovskaia N.N., Korban A.A. Artificial intelligence for advertising and media: Machine learning and neural networks // Proc. 2022 Conf. of Russian young researchers in electrical and electronic engineering – ElConRus. (St. Petersburg, 25–28 January, 2022). Piscataway, NJ: IEEE, 2022. P. 8–11. DOI: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755590.

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

ДАГБАЛДАЙ Э.Г.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В данной статье проведен анализ реализованных современных систем поддержки принятия решений, предложена матрица сегментации СППР. Рассмотрены основные цели, которые достигаются внедрением систем поддержки принятия решений и оценены возможности создания таких систем с нуля.

Ключевые слова: Система поддержки принятия решений, СППР

Система поддержки принятия решений — это совокупность компьютерных программ, которая подсказывает лицам, принимающим решения, к каким управленческим воздействиям следует прибегнуть в текущей ситуации. Используя анализ данных, машинное обучение, статистический анализ, моделирование, визуализацию и многое

другое, СППР может помочь человеку быстрее и эффективнее принять решение, может снизить вероятность ошибок.

Выгоды от использования СППР[1]:

- Улучшается качество принимаемых решений. СППР помогает обрабатывать и анализировать большие объемы данных.
- Сокращается время на принятие решения. Автоматизация процесса анализа данных и расчетов позволяет сократить время человека на размышления.
- Повышается эффективность использования ресурсов. СППР предлагает решения с максимально эффективным использованием имеющихся ресурсов (материалов, трудовых ресурсов и денег).
- Улучшается коммуникация между лицами, принимающими решения. В рамках одной системы над одной задачей могут работать несколько участников, что увеличивает производительность всего коллектива.
- Улучшается прозрачность процесса принятия решений. СППР дает возможность отслеживать каждый этап принятия решений, что позволяет избежать злоупотреблений и коррупции.

Что касается архитектуры систем поддержки принятия решений, то она состоит из 3 слоев [2]: данные, модели и пользовательский интерфейс.

Слой данных предполагает работу с базами данных и с организацией потока данных. Здесь же реализуется сбор данных с сенсоров (датчиков), производится их первичная обработка и формализация. Применяется инструментарий Python, Azure Data Lake, IBM Watson, MongoDB, MySQL, SAP и другие.

Слой моделей занимает статистическое и процессное моделирование, машинное обучение, нейросети и т. д. Инструментарий: Python, R, Jupyter, SPSS, STATISTICA, SAS, MATLAB.

Слой интерфейса отвечает за визуализацию и интерактивность. Здесь применяются различные инструменты создания дашбордов: Power BI, Grafana, Flask, Tableau и другие.

В дополнение к множеству классификаций СППР, их можно разделить на 4 сегмента, в каждом из которых будут свои ключевые метрики (требования) [3]. Построим матрицу «проработанность — развертываемость, акцент на модели — акцент на окружении» (рис.1), получим 4 квадранта и распределение ключевых метрик.

«Проработанность» означает глубину архитектуры и сложность самой системы поддержки принятия решений; «развертываемость» - доступность для организаций в сжатые сроки с меньшими усилиями начать продуктивное использование продукта; «акцент на модели» подразумевает, что большая часть внимания в продукте уделено созданию моделей; «акцент на окружении» подразумевает, что система «подточена» на работу со сложными данными.

Квадрант «сложность системы» подразумевает детальную проработку СППР, в котором заложены отлаженные модели. Здесь ключевыми метриками являются «точность», «интерпретируемость» и «скорость отклика» системы.

Квадрант «гибкость инжиниринга» имеет в качестве требований «компактность» «масштабируемость», «гибкость», «встраиваемость» и предполагает, что продукт может быть использован в разных сферах для решения нетривиальных задач.

Квадрант «доступность системы» сосредотачивает в себе те системы поддержки принятия решений, которые несложны в разработке и использовании. Ключевые метрики: «скорость разработки», «легкость расчетов» и «независимость от экспертов».

Квадрант «сложность данных» содержит в себе требования «толерантность к сложности данных», «толерантность к шумам в данных», «толерантность к разреженным данным», «кривая обучения», что говорит о специфических условиях, в которых будет использоваться СППР.

Рисунок 1 — Сегментация систем поддержки принятия решений

Используя подобную матрицу сегментации, организации могут сравнить СППР и выбрать для себя подходящий продукт.

Но что, если организация захочет создать свою систему поддержки принятия решений с нуля? Создание собственной СППР требует следования определенным шагам[3]:

1. Анализ места, в котором будет использоваться СППР;
2. Сбор данных;
3. Анализ данных;
4. Выбор моделей;
5. Интерпретация моделей (экспертный анализ);
6. Внедрение моделей;
7. Оценка СППР;
8. Внедрение СППР;

9. Сбор обратной связи.

Например, распишем шаги для создания очень примитивной системы поддержки принятия решений. Пусть имеется некоторая сеть булочных с централизованным производством продукции и распределением. Ответственному за логистику ставится задача обеспечить оптимальную доставку продукции до точек сбыта. Систему поддержки принятия решений можно создать следующим образом:

1. Определяем целевые значения (например, количество списаний продукции);
2. Собираем данные (выгрузки из корпоративных информационных систем, накладные, план-факт производства, план-факт продаж и т. д.);
3. Детализируем процессы, создаем витрины данных;
4. Выбираем подходящий тип моделей и обучаем ее;
5. Определяем ключевые важные признаки;
6. Создаем механизмы автоматического обновления и анализа данных;
7. Проверяем адекватность работы моделей (можно сравнить с историческими данными);
8. Создаем интерфейс (дашборд) в любой удобной среде

Теперь ответственный за логистику получит «подсказки» от созданной СППР и будет принимать более эффективные решения.

Правильно построенный процесс поддержки принятия решений управления позволяет организации более эффективно управлять своими ресурсами, оптимизировать бизнес-процессы и достигать заданных целей.

СППР являются важным инструментом для принятия решений в современном мире, где информация и сложность задач постоянно растут. Они помогают людям лучше использовать свои знания и ресурсы для принятия обоснованных решений.

Список литературы

1. Сравнение Системы поддержки принятия решений управления (СППР). URL:https://soware.ru/categories/executive-decision-support-systems (дата обращения 19.03.2024) // электронный ресурс.
2. Системы поддержки принятия решений как новый рубеж для бизнеса и для программистов. URL: https://habr.com/ru/companies/ibs/articles/759482/ (дата обращения 19.03.2024) // электронный ресурс.
3. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений. URL:https://habr.com/ru/companies/ods/articles/359188/ (дата обращения 19.03.2024) // электронный ресурс.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ АВАРИЙНОГО КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ БПЛА НА БАЗЕ ТЕЛЕФОННЫХ КАНАЛОВ КОММЕРЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ

А.Д. Лавриенко, В.В. Каштанов, Ю.В. Алферов

Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск РЭБ (учебный и испытательный) Тамбов, Россия

Аннотация: В статье отражена проблема применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в условиях сложной сигнальной обстановки. Приведен вариант аварийного канала управления БПЛА.

Ключевые слова: канал управления, БПЛА.

Беспилотные летательные аппараты на сегодняшний день плотно вошли в систему боевого применения на всех уровнях военного конфликта. Применение БПЛА способствует достижению превосходства над противником за счет расширения возможностей разведки и дистанционного нанесения ударов без риска потери личного состава в ходе выполнения боевых задач. Этим обуславливается постоянный рост качества и количества комплексов, осуществляющих противодействие их применению. Сегодня осуществление самолетовождения автопилотом при полном отсутствии связи между бортом летательного аппарата и наземным пунктом управления стало возможным. При этом летное задание выполняется в автономном режиме. Тем не менее, это не позволяет говорить о том, что радиолиния управления может быть исключена из состава БПЛА. В силу повышенной сложности и стоимости комплекса при его эксплуатации требуется постоянный контроль за состоянием находящегося в воздухе летательного аппарата. Кроме того, в ходе боевого применения постоянно возникает необходимость корректировки параметров полета БПЛА.

Наиболее эффективным способом противодействия БПЛА на сегодняшний день является создание радиопомех каналам управления, передачи данных и спутниковых радионавигационных систем (СРНС). При этом для противодействия применению БПЛА данным способом обычно не требуется информация о классе, протоколах передачи и задачах БПЛА, поскольку выполняется методом зонального прикрытия конкретных объектов и заградительного излучения радиопомех во всех возможных диапазонах в моменты обнаружения БПЛА противника в воздухе. Однако, включение заградительных радиопомех препятствует применению своих комплексов БПЛА, при этом приоритет защиты объектов, обычно, выше сохранения отдельного борта, этим обуславливается риск потери своего БПЛА в ходе выполнения боевых задач.

В ходе боевого применения необходимо учитывать возможность воздействия радиопомехами и методами специального воздействия со стороны противника, а также наличие непреднамеренных шумовых радиопомех. Одной из приоритетных задач на сегодняшний день является повышение живучести БПЛА во всех вариантах боевого применения. Одним из способов решения этой задачи является применение резервных каналов управления.

Основная задача аварийного канала определяется как выведение БПЛА из зоны помех и (или) совершение посадку в безопасной зоне в случае обрыва связи по основному каналу.

Исходя из опыта применения БПЛА в условиях сложной сигнальной обстановки к основным поражаемым радиоэлектронными помехами системам БПЛА можно отнести:

- приемники управляющих сигналов от пункта управления (ретрансляторов);
- приемники спутниковых радионавигационных систем.

Дублирование данных систем упрощенными аналогами, функционирующими в других диапазонах, может существенно повысить живучесть БПЛА.

Для выбора варианта аварийного канала можно обратиться к опыту авиамоделизма. Для полноценного упрощенного управления БПЛА самолетного типа нужно не менее четырех каналов управления, при этом на два двухкоординатных джойстика могут выводиться функции управления рулем высоты, направления, элеронами и газом двигателя. Конкретная раскладка функций по джойстикам может быть двух типов: Тип 1 - руль высоты слева по вертикали и руль направления по горизонтали, газ справа по вертикали и крен по горизонтали; Тип 2 - газ слева по вертикали и руль направления по горизонтали, руль высоты справа по вертикали и крен по горизонтали [1].

Для полноценного упрощенного управления БПЛА вертолетного типа также нужно не менее четырех каналов в соответствии с имеющимися плоскостями управления: 1-ая плоскость управления – движение вверх и вниз – управляется одним рычагом и отвечает за плавность взлета и посадки, а также перемещения вверх-вниз; 2-ая плоскость управления – повороты (вращение) вправо (по часовой стрелке) и влево (против часовой стрелки) – управляется одним рычагом и позволяет корректировать направление полета; 3-ья плоскость управления – движение вперед и назад – управляется одним рычагом и позволяет двигаться вперед или назад (обычно движение вперед/назад реализуется одним из двух способов: при помощи хвостовых винтов (его вращение задирает вертолет вперед или назад) либо за счет автомата перекоса (когда специальные сервомашинки наклоняют один ряд лопастей вперед/назад, задавая нужное направление движения); 4-ая плоскость управления – движение по крену (движения вбок – влево или вправо) управляется одним рычагом и позволяет без разворотов управлять движением вертолета по бокам [2].

Таким образом, для осуществления управления БПЛА необходима, по меньшей мере, передача данных по четырем каналам, информация в которых будет определять положение органов управления БПЛА на данный момент.

Основным требованием при создании системы связи с БПЛА является обеспечение возможности передачи данных с заданной скоростью и вероятностью ошибки при больших расстояниях между летательным аппаратом и наземным пунктом управления. Типовое значение необходимой скорости передачи телеметрических данных с борта летательного аппарата на землю составляет 115200 бит/сек при вероятности битовой ошибки не более 10^{-6} ... 10^{-8}. В некоторых случаях допустимо снижение скорости до 38400 бит/сек для поддержания вероятности битовой ошибки на том же уровне [1]. Такая скорость передачи данных соответствует современным системам факсимильной связи.

В качестве аварийного канала для передачи сигналов управления БПЛА рассмотрим телефонные сети общего пользования с полосой пропускания 0,3 Гц-3,4 кГц. В этом случае аварийный канал может быть организован в голосовом диапазоне с возможностью осуществления сеансов «звонков» посредством сетей сотовой, спутниковой или транкинговой радиосвязи и передачи сигнала управления через них на целевой БПЛА.

К преимуществам данного метода можно отнести:

- высокую скрытность резервного канала управления БПЛА, возможность использовать частотные диапазоны других стандартов;

- универсальность, при невозможности использовании одной сети связи на местности возможен переход на другую без утраты функциональности;

- широкий охват системами коммерческой связи большей части территории.

Основой для построения аварийного канала управления БПЛА целесообразно считать сети GSM. Основным их преимуществом является тот факт, что GSM-модули на сегодняшний день являются очень распространенным и недорогим устройством в оборудовании связи. С помощью них можно реализовывать такие функции как отправка сообщений, голосовой вызов, чтение сообщений, попытка вызова (дозвон) и т.д. Примером таких устройств являются модули SIM900 GSM Shield, SIM800L широко представленные на рынке [3].

В радиоуправлении возможно применение для каждого канала дискретной двухуровневой модуляции. Тип модуляции на начальном этапе разработки может быть амплитудным (AM (Amplitude Modulation)), либо частотным (FM (Frequency Modulation)). В варианте AM несущая может иметь либо максимальный, либо нулевой уровень. В варианте FM может излучаться сигнал постоянной амплитуды, либо с частотой F, либо с чуть смещенной частотой F+df. В одинаковых помеховых условиях FM сигнал имеет принципиально большую помехозащищенность, чем AM сигнал, поэтому для дальнейшего использования будем рассматривать его.

В качестве примера реализации канала управления можно рассмотреть принцип организации факсимильной связи протоколов V.21, Bell 103J. Протокол V.21 является дуплексным и использует частотную модуляцию и частотное разделение каналов. Полоса частот телефонного канала тональной частоты делится на два подканала. Один из них (нижний) используется вызывающим модемом для передачи своих данных, а другой (верхний) — для передачи информации от отвечающего модема. При этом в нижнем подканале "1" передается с частотой 980 Гц, а "0" — 1180 Гц. В верхнем подканале "1" передается частотой 1650 Гц, а "0" — 1850 Гц

Протокол Bell 103J соответствует протоколу V.21 с точностью до номиналов используемых частот. В нижнем подканале логический "0" передается частотой 1070 Гц, а "1" - 1270Гц, в верхнем подканале: "0"- 2025 Гц, "1" - 2225 Гц соответственно. Скорость модуляции и скорость передачи данных в этом случае равны 300 Бод и 300 бит/с соответственно [4].

Современные протоколы факсимильной связи дополняют сигнал различными видами сигнально-кодовых конструкций и относительной фазовой модуляции, таких как QPSK, QAM-16, QAM-64. Их применение позволяет за единицу времени передавать большее количество бит информации, что существенно увеличивает скорость передачи. Стандарт протокола факсимильной связи V.92, утвержденный Международным Союзом Электросвязи (ITU) в ноябре 2000 года, имеет скорость передачи в телефонном канале до 56000 бит/с.

Частотные составляющие аварийного канала можно разместить так же, как частоты факсимильной связи протокола V.21 для четырех каналов управления. Вариант реализации такого канала представлен на Рис. 1.

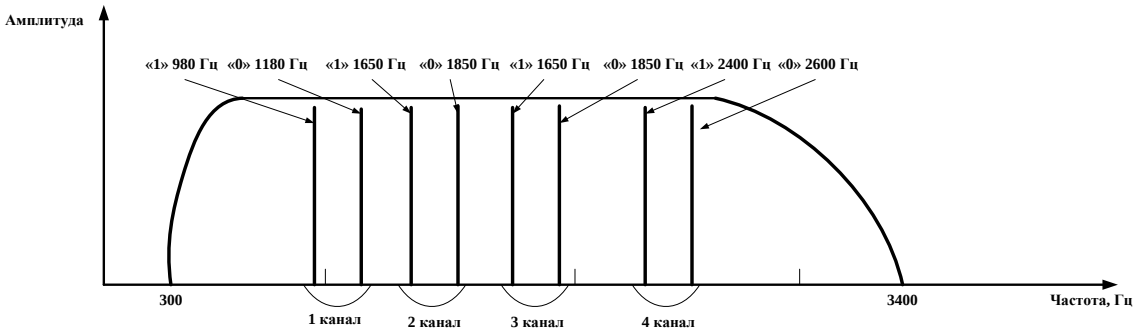


Рисунок 1. Вариант реализации

Помимо передачи команд управления для функционирования системы управления оператору необходим инструмент оценки текущего положения БПЛА, поскольку в условиях радиопомех нельзя полагаться на показания системы СРНС. Исходя из опыта боевого применения, для организации эвакуации БПЛА из зоны радиопомех достаточно сведений о текущей высоте и дистанции до наземного пункта управления. Сведения о текущей высоте могут считываться с барометрических датчиков БПЛА и передаваться по телефонному каналу, поскольку он работает в дуплексном режиме. Для определения дальности до БПЛА может быть использован комплект дополнительных радиомаяков с принципом работы аналогичным готовым коммерческим решениям, например nano LOC Ranging Kit II с расширенной дальностью и меньшей точностью определения дистанции [5].

Для исключения влияния человеческого фактора процесс возвращения БПЛА из зоны радиопомех по аварийному телефонному каналу должен быть автоматизирован за счет разработки программного модуля управления. Входными данными для такого модуля будут постоянно меняющиеся текущая дальность до БПЛА и высота БПЛА. Выходные данные: показания каналов управления в каждый момент времени.

Список литературы

1. Васильков В., Пузрин В. Аппаратура радиоуправления. Часть 1. Передатчики: [Электронный ресурс]. URL: http://www.rcdesign.ru/articles/radio/tx_intro
2. Радиоуправляемые электрические вертолеты LAMA V4, COMANCHE, ROBONSON 22, LAMA V3 // Руководство по использованию
3. Обзор платы GSM GPRS SIM900 Shield, подключение и пример ее использования в проекте на базе Arduino: [Электронный ресурс]. URL: https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/gsm-gprs-sim900-shield/
4. Информационные сети и телекоммуникационные каналы. Протоколы модуляции в модемах: [Электронный ресурс]. URL: http://bourabai.ru/telecom/6.htm
5. Описание и характеристики KNRKII - nanoLOC Ranging Kit II: [Электронный ресурс]. URL: https://www.nanotronshop.com/nanoloc-ranging-kit-ii-p-17527.html

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ОСНОВЕ НАНОКЕРАМИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЫ

А.В. Лёдова, В.М. Левина

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург, РФ.

Аннотация. Предложена схема устройства для очистки воды с мембраной из нанокерамики. Приводится экономическая целесообразность использования инновационного способа фильтрации в качестве основного или дополнительного к уже существующим способам водоподготовки и водоочистки.

Ключевые слова: *инновационная технология водоподготовки, нанокерамические алюминиевые пластины, наноматериалы, мембраны.*

Введение. Сегодня весьма актуальной проблемой остается вопрос качественной очистки воды от «грязных» примесей: солей кальция, калия, магния, фосфатов, железа, ртути, удалить пестициды, патогенные организмы, вирусы, а также улучшить запах, вкус и цвет воды. В настоящее время существует множество различных способов водоочистки известных как обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация, микрофильтрация, которые на сегодняшний день успешно используются как по отдельности, так и в совокупности в современных системах водоподготовки. Рабочим элементом в устройствах очистки являются фильтрующие мембраны и степень очистки воды в основном определяются свойствами материалов, образующих мембраны. В зависимости от размера удалённых частиц технологию очистки воды условно разделяют на обратный осмос (удаляются частицы размером порядка 1 нм), нанофильтрацию (более 1нм), ультрофильтрацию (более 100 нм) и микрофильтрацию (более 500 нм) [1-2]. Данные технологию широко применяют не только для очистки воды, но и в разных областях промышленности: в нефтехимической, пищевой, лакокрасочной и других. Нанофильтрация а нанофильтрация удерживает в основном двухвалентные соли, такие как сульфат натрия [2]. Фильтрующие мембраны могут иметь различные формы: трубчатую, плоскорамную, поливолоконную, рулонную и другие, они также могут изготоавливаться из различных материалов таких, как гидрофильные полимеры, полиамиды и производные целлюлозы, мембраны из органических полимеров могут состоят из нескольких слоев разных материалов. Однако. как показывает анализ современных фильтрующих систем, процесс очистки воды высокой степени с применением самых разнообразных по форме и материалам мембран обязательно является многоступенчатым, с использованием каскада мембран. До настоящего времени невозможно было произвести очистку жесткой воды удалив все частицы от 50 нм используя только одну мембрану. Предлагаемое нами устройство с мембраной из нанокерамического материала, является первым устройством позволяющим заменить весь многоступенчатый процесс очистки воды одноступенчатым, не понижая при этом степень очистки воды. На рисунке 1 приведено типичное устройство с многоступенчатым процессом очистки жёсткой воды из скважины:

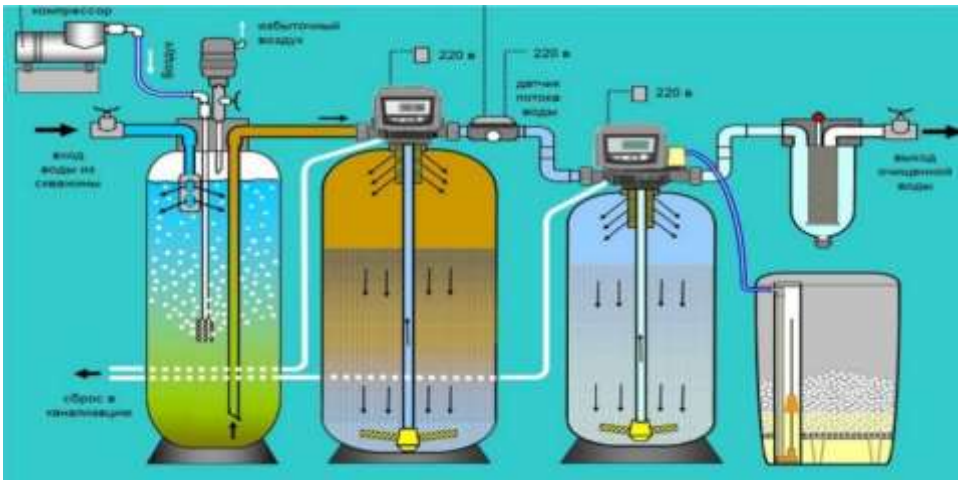


Рисунок 1. Устройство с многоступенчатым процессом очистки воды.

Как видно из рисунка 1 в устройстве используется каскад мембран из разных материалов.

Предлагаемое нами устройство заменяет каскад мембран из рисунка 1 и содержит всего одну мембрану, схематически на рисунке 2. Предлагаемое нами устройство для водоочистки состоит из пластикового корпуса, который состоит из двух частей верхней 1. и нижней 2., соединяемых резьбой 5. В верхнюю часть корпуса входит труба 1, которая обеспечивает вход воды. Из нижней части корпуса выходит труба 2 для выхода очищенной воды. Между верхней и нижней частями корпуса расположена мягкая резиновая прокладка, в которую вставляется нанокермическая пластина 3, изготовленная в форме круга. В приведенном на рисунке 2 устройстве в качестве фильтрующей мембраны предлагается использовать новый материал обладающий инновационными свойствами - нанокерамическую пластину.

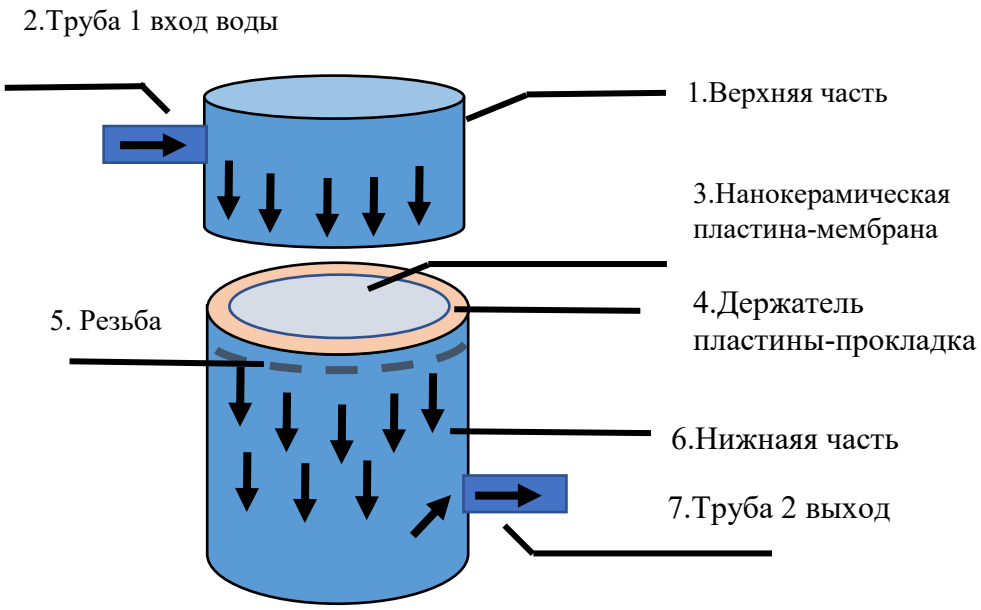


Рисунок 2. Устройство с нанокерамической мембраной.

Главным свойством которой является способность задерживать на поверхности все «удалённый» частицы разного размера на поверхности пластины. Это свойство делает возможным, во-первых, заменить каскадные мембраны одной нанокерамической пластиной. Во-вторых, сама пластина легко очищается от загрязнения простыми способами очистки, что позволяет многоразовое использование мембраны, в отличии от других фильтров. Наконец, уникальная технология изготовления нанокерамического материала позволяет точно регулировать размер тех частиц, которые будут фильтроваться. В нашем устройстве в качестве мембраны предлагается нанокерамическая пластины из оксида алюминия. Подробно все этапы процесса получения нанокерамической мембраны описываются в работах [3-6]. Рассмотрим её фильтрующие свойства. Исследование проведённые в работе [4] показали, что толщины мембран от 3мм до 6 мм позволяют фильтровать шахтную воду со скоростью от 5 до 15 л/м^2 в час. Таким образом, элемент 3 на рисунке 2 ограничен по толщине, которая составит не более 6 мм, оптимальную толщину необходимо определить в ходе экспериментальных исследований фильтра. Стоит отметить. что радиус мембраны также ограничен по величине, его точный рабочий размер предстоит выяснить в ходе эксперимента. Свойства фильтрации, полученных алюминиевых мембран проверялись производителем пластин [4]. Производитель гарантирует высокую степень очистку воды, удаление из неё всех твердых частиц, размером 50 нм и более, химический состав которой приведен на рисунке 3.

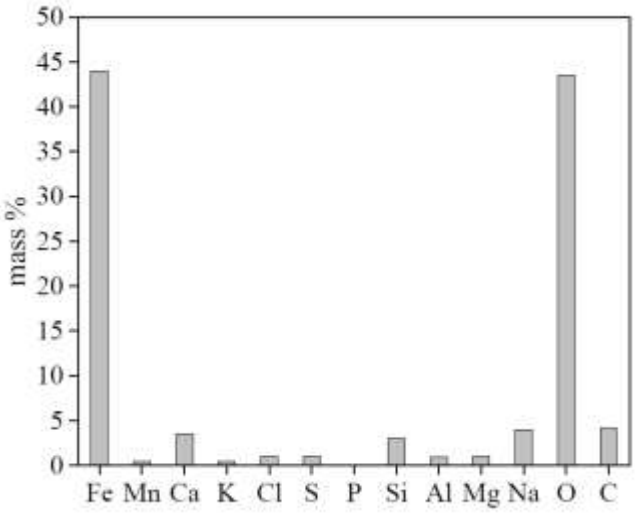


Рисунок 3. Химический состав воды до очистки.

Очистку пластин от отходов фильтрации предлагаем проводить следующим способом - извлекаем пластину из устройства и обрабатываем загрязнённую поверхность раствором лимонной кислоты.

Таким образом, проведено моделирование работы устройства водоочистки с нанокерамической мембраной. Предложена схема устройства водоочистки и способ регенерации мембраны.

Список литературы

[1] Нанофильтрация воды для предприятий АПК. Т1: Современные способы водоочистки**. –** 2008. **–** 237с.

[2] Шатрова Е.В., Зайцева Н.А., Современный метод очистки воды-нанофильтрация //

XIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых **«**Россия молодая», 20-23 апреля 2021 г., 062806.

[3] М.И. Алымов Консолидированные порошковые нанматериалы (обзор) // Авиационные материалы и технологии, №S4 С.34-39, (2014).

[4] С.Ю. Прилипко, Ю.А. Кудрявцев, И.И. Брюханова Физика и техника высоких давлений Т. 32, № 4, С.83 (2022).

[5] Лямина, А.Е. Илела, Е.С. Двилис и др. Российские нанотехнологии Т. 13, № 5-6, С. 124 (2018).

[6] Мэттьюз Ф. Композитные материалы: Механика и технология. 407 с (2004).

ПРОЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОТЕНЦИАЛ ПЕРЕХОДА К ЦИФРОВЫМ ДВОЙНИКАМ В РАМКАХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Лучин Д.А.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Аннотация. В статье рассматривается проект автоматизации обнаружения, локализации и классификации дефектов текстильных материалов для предприятия легкой промышленности в рамках прохождения четвертой промышленной революции; в качестве технологии обнаружения дефектов представляется нейросетевой подход. Также рассматривается потенциал использования наработанного опыта для моделирования цифровых двойников оборудования и производственного процесса.

Ключевые слова: дефекты, качество, автоматизация, цифровизация, нейросетевой подход, цифровые двойники

Введение

В настоящее время в связи с прохождением четвертой промышленной революции (Индустрии 4.0) особую актуальность на предприятиях легкой промышленности приобрели проекты, нацеленные на цифровизацию, автоматизацию, роботизацию различных производственных процессов, бизнес-процессов [1]. Развитие технологий и увеличение вычислительных мощностей позволили рассматривать и внедрять инновационные проекты, в основе которых лежат современные информационные модули, например технологии глубокого обучения, машинного обучения, в том числе нейросетевые модели. Поскольку сердцем любого промышленного предприятия является его производство, предприятия всего мира активно рассматривают возможности применения новейших технологий именно к производственным процессам. Одним из важнейших этапов технологической цепочки любого предприятия является выявление брака (дефектов). На предприятиях легкой промышленности своевременное выявление дефектов способствует уменьшению количества продукции, которая либо будет признана непригодной, либо не получит

необходимую сортность по государственным стандартам. На данный момент обнаружение дефектов на предприятиях легкой промышленности по большей части проводится вручную с применением человеческого труда, что влечет за собой ошибки в определении дефектов, связанные с влиянием человеческого фактора, в том числе усталости. Данные проблемы повлекли за собой проведение исследований по возможностям автоматизации этапа дефектоскопии. В данной работе рассматривается инновационный проект автоматизации обнаружения дефектов с использованием компьютерного зрения и нейросетевого подхода.

Описание проекта автоматизации обнаружения дефектов

Анализ литературы по тематике автоматизации обнаружения дефектов показал, что данный вопрос активно изучается как отечественными, так и зарубежными авторами. Если в плане аппаратной реализации исследования сходятся к использованию компьютерного зрения, то технологии непосредственно определения дефектов разнятся, самые популярные (обладающие наибольшим потенциалом) – это модели глубокого обучения с учителем (например, нейросетевые модели) и использование фильтров Габора. Для данного проекта было выбрано использование сверточной нейросетевой модели, поскольку модели такой архитектуры позволяют добиться точности работы до 99% при должном размере обучающей выборки [2,3].

Проект представляет из себя разработку и внедрение программно-аппаратного комплекса, укрупненная архитектура которого представлена на рисунке 1.

Рис. 1. Укрупненная архитектура программно-аппаратного комплекса

Программная часть комплекса написана на языке C++: это системный сервис, который установлен на вычислителе. Для пользователей предусмотрен веб-сервис, в котором наглядно выводятся данные о классах обнаруженных дефектов, их размерах и локализации, о влиянии обнаруженных дефектов на сортность ткани [4].

При разработке алгоритмов обнаружения, локализации и классификации дефектов решалась задача экземплярной сегментации (объектной сегментации, Instance segmentation), поскольку в данном проекте необходимо различать на каждом получаемом изображении текстильных полотен отдельные экземпляры каждого класса дефектов, потому семантическая сегментация или простая детекция объектов не подходят. В качестве

базовой архитектуры была выбрана нейросетевая модель MASK R-CNN, которая выполняет как функцию аннотирования пикселей на изображении, так и функцию экземплярной сегментации пикселей, за которую отвечает отдельная ветка в архитектуре [5].

Для высокой точности работы алгоритма для обучения модели необходимо более 1000 экземпляров изображений на каждый класс дефектов. При проведении экспериментов по отдельно взятым классам на данный момент удалось добиться точности вплоть до 95% по метрике Intersection over Union (IoU), принятой для оценки точности моделей аннотирования изображений. Пример работы модели представлен на рисунке 2.

На нем слева направо представлены четыре изображения: исходный фотоснимок текстильного полотна, ручная разметка дефекта текстильного полотна, разметка нейросетевой модели, отдельно маска, полученная в результате работы нейросетевой модели. Вертикальная полоса на данных изображениях – это дефект ткани класса «затек воды», не представленный в ГОСТ 25506–82, но добавленный в результате расширения стандарта авторами Д. А. Мирошниченко и др. в работах [6,7].

На рисунке 2 наглядно представлено, что нейросеть с высокой точностью распознала исследуемый дефект, однако предел еще не достигнут и рекомендовано расширение обучающей выборки.

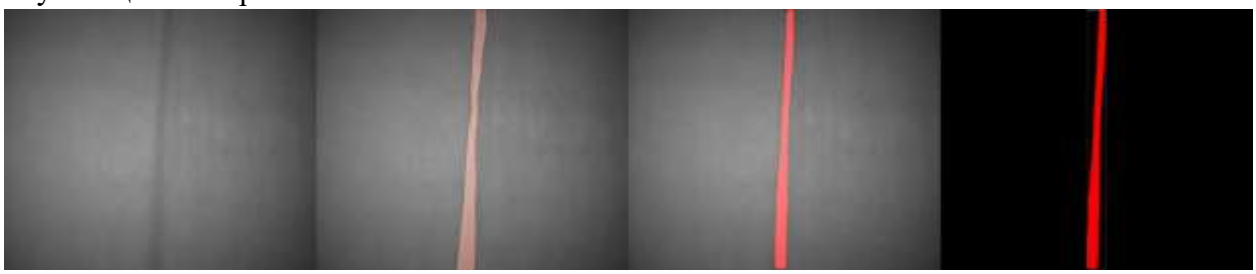


Рис. 2. Пример работы нейросетевой модели

Таким образом, на данный момент продолжается обучение модели по другим классам дефектов текстильных материалов, достигнутая точность работы позволяет выполнять поставленные задачи по автоматическому обнаружению, локализации и классификации дефектов, на основании чего в веб-сервисе выводится и автоматическое определение сортности ткани. Однако, как известно, дешевле предотвратить аварию, нежели устранять ее последствия, потому в процессе выполнения данного проекта была выдвинута идея создания цифровых двойников оборудования и производственного процесса с использованием наработанного опыта.

Потенциал создания цифровых двойников оборудования и производственного процесса

Описанный проект нацелен на автоматическое обнаружение появляющихся дефектов, но с использованием собираемых данных возникает потенциал и предсказания возникновения дефектов: систематически обнаруженные пороки продукции могут использоваться для предсказания поломок, неисправностей и неправильных настроек оборудования, которые к этим дефектам и ведут. Таким образом, проект автоматизации обнаружения дефектов имеет потенциал к развитию в инновационный проект предсказания появления дефектов. В техническом плане для этого можно использовать уже разработанный программно-аппаратный комплекс совместно с датчиками мониторинга оборудования, выявив таким способом закономерности в появлении дефектов.

Целью является создание цифровых двойников всех станков производственного процесса, которые и будут отвечать за уже предиктивное обнаружение неисправностей и дефектов, а не фактическое, как в изначальном проекте. Цифровой двойник – это цифровая (виртуальная) модель объекта или процесса, точно воспроизводящая форму и действия оригинала и синхронизированная с ним [8]. Использование описанного ПАК позволяет значительно ускорить процесс моделирования цифровых двойников, поскольку в предиктивную модель получится внести уже выявленные причинно-следственные связи возникновения дефектов. На рисунке 3 представлен пример создания цифрового двойника с использованием, существующего ПАК.

Данный инновационный проект может получить еще большее развитие: создание цифрового двойника производственного процесса вкупе с двойниками оборудования могут быть использованы в качестве части цифрового двойника всего предприятия в сфере легкой промышленности, который можно будет использовать в рамках поддержки принятия управленческих решений.

Рис. 3. Пример создания цифрового двойника оборудования

Выводы

Накопленные в процессе реализации проекта автоматизации обнаружения дефектов данные и выявленные причинно-следственные связи обладают потенциалом для моделирования цифровых двойников как оборудования, так и всего производственного процесса предприятия легкой промышленности. Автоматизация обнаружения дефектов может стать частью крупного инновационного проекта создания цифрового двойника всего предприятия целиком.

Список литературы

1. Шеве, Г. От Индустрии 3.0 к Индустрии 4.0: основные понятия, измерения и компоненты Индустрии 4.0 / Г. Шеве, С. Хюзиг, Г. И. Гумерова, Э. Ш. Шаймиева // Инвестиции в России. – 2019. – № 9(296). – С. 32–40.
2. Silvestre-Blanes, J. A public fabric database for defect detection methods and results / Silvestre-Blanes, J., Albero-Albero T., Miralles I., Pérez-Llorens R., Moreno J. // Autex Research Journal. – No. 19 (4). – 2019. – P. 363-374.
3. Багаев, И. И. Анализ понятий нейронная сеть и сверточная нейронная сеть, обучение сверточной нейросети при помощи модуля TensorFlow / И. И. Багаев // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2020. – Т. 8, № 1. – С. 15–22. – DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-15-22.
4. Бойков, А. В. Применение нейросетевого подхода для обнаружения дефектов текстильных материалов классов «слет» и «затек воды» / А. В. Бойков, В. М. Никоноров, Д. А. Лучин, И. В. Ильин // Прикладная информатика. 2024. Т. 19. № 2. С. 55–66. DOI: 10.37791/2687-0649-2024-19-2-55-66.
5. Wenchao, G. A review on 2D instance segmentation based on deep neural networks / Wenchao Gu, Shuang Bai, Lingxing Kong // Image and Vision Computing. – 2022. – Vol. 120, 104401. DOI: 10.1016/j.imavis.2022.104401.
6. Мирошниченко, Д.А., Разработка базы дефектов внешнего вида тканых материалов для обучения нейронной сети / Д. А. Мирошниченко., Т. Ю. Карева // «Наука - Технологии - Производство»: матер. международн. науч.-технич. конф. СПб.: ФГБОУВО «СПбГУПТД». - 2021. - С. 44–45.

7. Мирошниченко, Д. А. Разработка классификации дефектов текстильных материалов / Д. А. Мирошниченко, М. С. Лобанова, Т. Ю. Карева // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2021. – № 1. – С. 270–274. – DOI: 10.47367/2413-6514_2021_1_270.
8. Кириллов, Д. С. Цифровые двойники как основа цифровой трансформации промышленных предприятий / Д. С. Кириллов, Т. А. Барчукова // Актуальные вопросы экономики и управления, Смоленск, 21–22 октября 2021 года. – Смоленск: Издательство "Маджента", 2021. – С. 161–164.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ БИЗНЕС-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ GPT-БОТА В CRM-СИСТЕМУ КОМПАНИИ ООО "ТКС.РУ"

МАВРИН Д.И.

Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В статье рассматривается внедрение GPT-чат-бота в CRM-систему компании "ТКС.РУ" в контексте улучшения клиентского сервиса. Автор демонстрирует необходимость оптимизации процессов обслуживания в условиях ограниченности ресурсов, предлагая чат-боты как эффективный инструмент автоматизации. С использованием методологии Archimate проводится моделирование бизнес-процессов, выявляя потенциал оптимизации. Заключение подчеркивает значимость открытых инноваций в современном российском бизнесе, подчеркивая важность взаимодействия с внешними российскими партнерами для развития инновационной культуры.

Ключевые слова: Чат-бот, CRM-система, Бизнес-процессы, Оптимизация обслуживания, Моделирование Archimate, Открытые инновации, Российский бизнес, Эффективность, Клиентский сервис, Ресурсы

В современном бизнесе эффективное управление клиентским сервисом является ключевым фактором успеха. С ростом объема запросов от клиентов возникает необходимость в улучшении процессов обслуживания, однако расширение штата сотрудников далеко не всегда является оптимальным решением, особенно для небольших компаний, таких как ООО “ТКС.РУ”. Штат компании составляет менее 30 человек, из которых только 4 занимаются поддержкой клиентов. Руководство компании не может позволить себе дополнительные затраты, связанные с расширением штата сотрудников отдела сопровождения клиентов, такие как увеличение фонда оплаты труда, закупка дополнительного оборудования, организация рабочих мест в офисе и др. В этом контексте внедрение чат-бота в CRM-систему компании приобретает особую актуальность.

Чат-боты представляют собой эффективный инструмент для автоматизации ответов на часто задаваемые вопросы, обработки запросов и предоставления информации клиентам. Они работают круглосуточно, мгновенно реагируют на запросы и способствуют улучшению пользовательского опыта. В предыдущей статье автор совместно со специалистом из компании “ТКС.РУ” разработал чат-бота для нужд компании, а также в ходе эксперимента доказал его эффективность и финансовую целесообразность. Однако успешная интеграция чат-бота в CRM-систему требует тщательного планирования и моделирования бизнес-процессов [1].

Здесь на помощь приходит бизнес-моделирование в рамках методологии Archimate. Archimate предоставляет нотацию и язык моделирования, который позволяет описать бизнес-процессы, архитектуру информационных систем и их взаимосвязи. Любая модель Archimate состоит из трех уровней [2]:

- Business Layer: Описывает бизнес-структуру, цели, процессы и организационную структуру компании.
- Information Layer: Описывает информационные потоки и структуры, необходимые для поддержки бизнес-процессов.
- Technology Layer: Описывает техническую инфраструктуру и технологические ресурсы, поддерживающие бизнес-процессы.

Польза нотации Archimate заключается в возможности понимания и визуализации сложных взаимосвязей между бизнес-процессами, информационными структурами и технологическими ресурсами, что помогает улучшить коммуникацию, принимать обоснованные решения и оптимизировать бизнес-процессы. Используя Archimate, можно создать детальную модель текущего (AS IS) и желаемого (TO BE) состояния бизнес-процессов компании. На основе двух составленных моделей автор сможет увидеть, повысится ли эффективность CRM-системы, и какие шаги нужно предпринять для оптимизации текущего процесса и внедрения новой технологии [3].

В первую очередь автором была составлена модель бизнес-процесса “ТКС.РУ” AS IS. В этой модели рассматривается алгоритм обработки клиентского запроса. Он состоит из 4 шагов: регистрация, принятие, оплата и предоставление услуги. Как видно из приведенной схемы, процесс предоставления услуг почти не автоматизирован и выполняется персоналом вручную. Получение запроса от клиента через ресепшн также обрабатывается в ручном режиме [4].

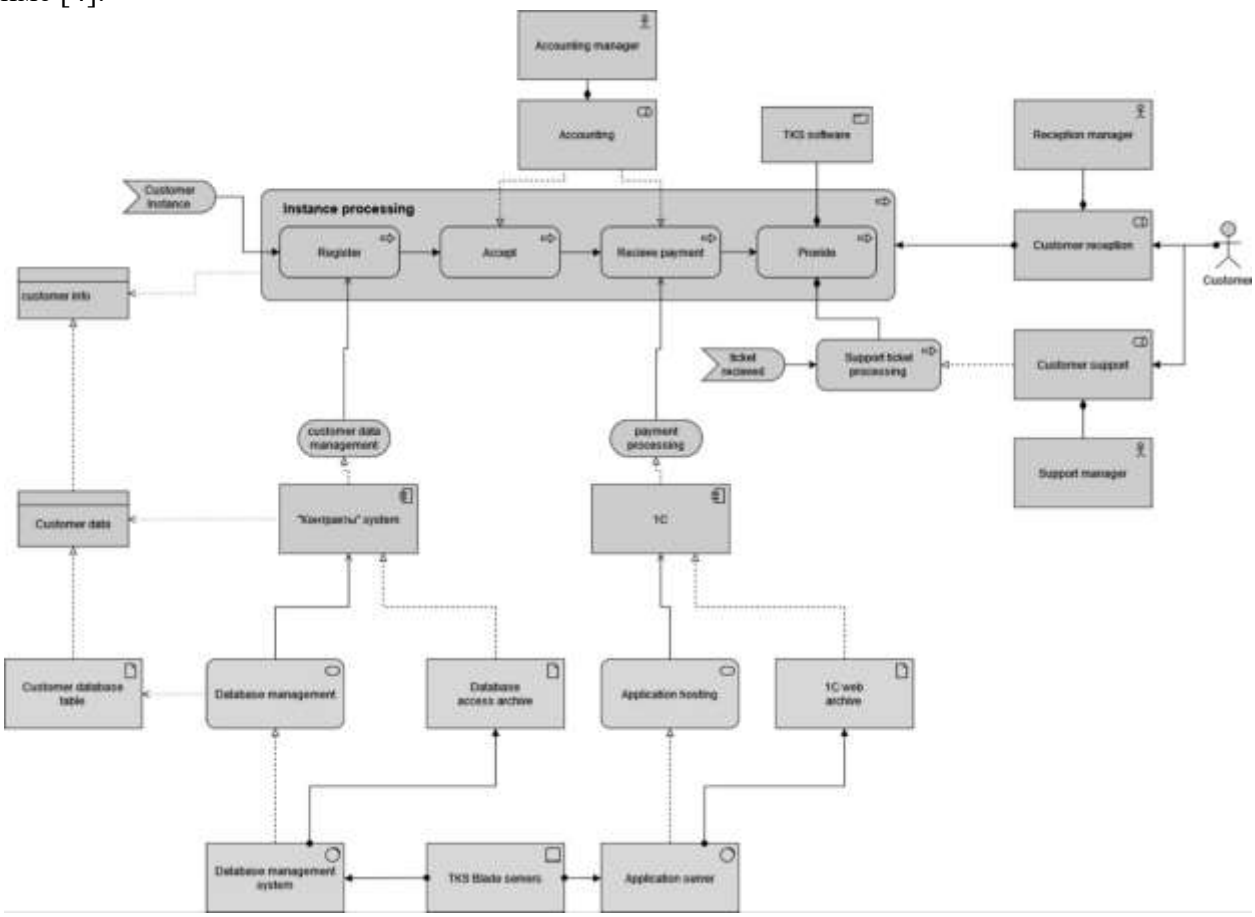


Рис. 1. AS IS бизнес процесс “ТКС.РУ”

На основе AS IS модели автором составлена модель TO BE. На ней отображен модифицированный процесс обработки клиентских запросов с использованием автоматизированного чат-бота и техническое обеспечение нового процесса. Внедрение новой технологии позволит практически полностью автоматизировать ресепшн, перенаправляя клиента на специалиста отдела сопровождения лишь по необходимости, и частично автоматизировать техническую поддержку, сняв с отдела рутинные задачи вроде ответов на часто задаваемые вопросы и др.

Также важно отметить, что техническая и программная база проекта может целиком обрабатываться сторонней вычислительной мощностью, например, облачными решениями от OpenAI или Яндекс. В этом случае ООО “ТКС.РУ” не придется покупать дополнительное оборудование. Внедрение бота можно классифицировать как открытую инновацию [5].

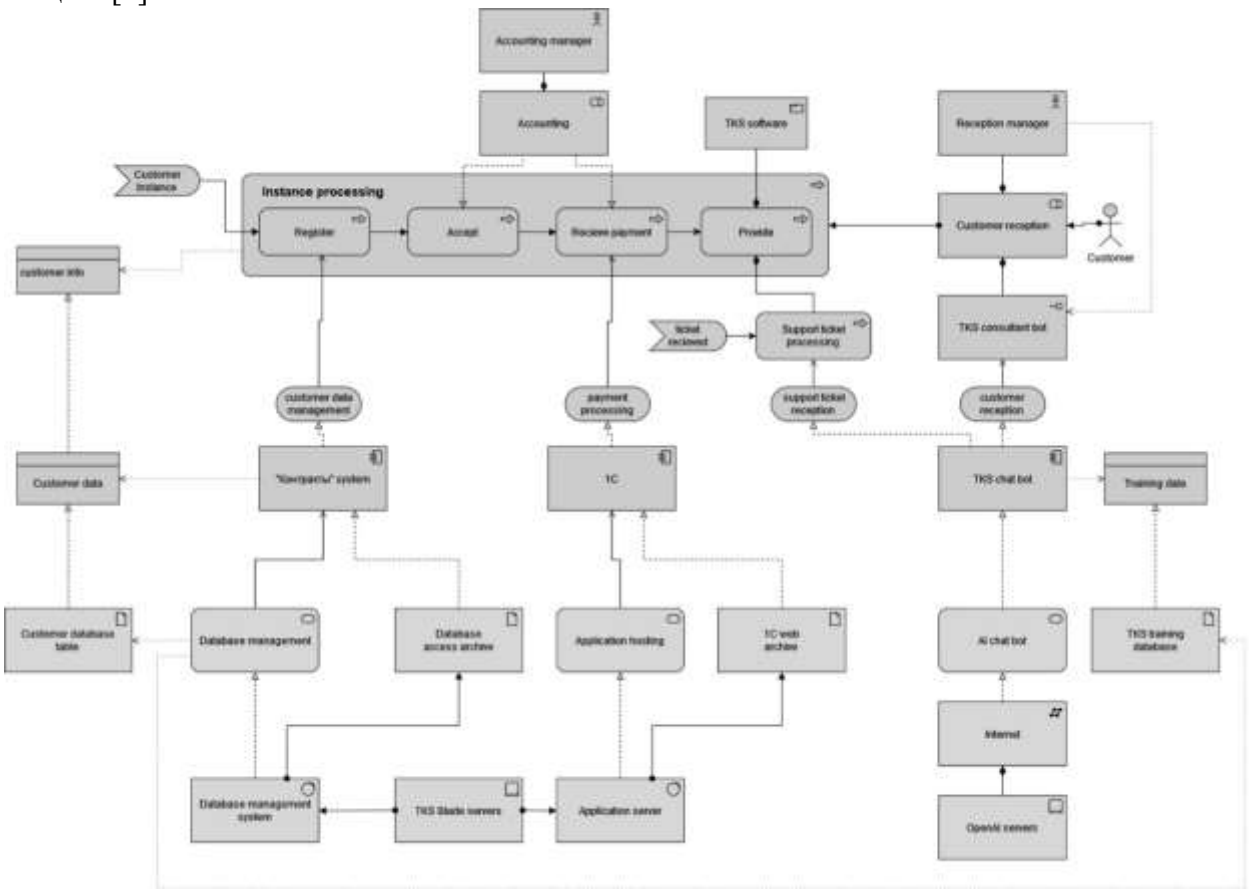


Рис. 2. TO BE бизнес процесс ТКС.РУ

Для успешного внедрения рассматриваемой технологии необходимо выполнить следующие шаги:

1. Провести подготовительные работы, включающие обучение персонала, настройку CRM системы и интеграцию GPT-чат-бота.
2. Разработать стратегию внедрения, включающую выбор подходящей платформы и технического решения.
3. Оценить потенциальные риски и разработать меры по их снижению, включая защиту данных и обеспечение безопасности системы.

4. Провести тестирование и оптимизацию чат-бота перед его запуском в реальной среде.
5. Обеспечить надежную техническую поддержку и обновление системы после внедрения.

Во время разработки доступ к рабочему прототипу чат-бота предоставлялся специалистам поддержки “ТКС.РУ”, а клиенты получали доступ лишь в рамках закрытого тестирования. Опираясь на результаты “обкатки” решения, компания может провести поэтапное внедрение новой технологии, сначала предоставив ее для внутреннего пользования, а затем открыв свободный доступ клиентам. В данный момент бот работает на вычислительных мощностях зарубежной коммерческой организации OpenAI. В рамках импортозамещения, видится очевидной целесообразность переноса системы на отечественные аналоги, такие как решения от Яндекс, SberAI и т.п. На сегодняшний день отечественные разработки показывают результаты на уровне иностранных аналогов. Тем не менее необходимо провести эксперимент по сравнению эффективности российских разработок и их зарубежных конкурентов, и на основе этого эксперимента определить, какое из решений окажется наиболее подходящим для оптимизации бизнес-процессов “ТКС.РУ”.

Внедрение GPT-чат-бота в CRM-систему компании ООО "ТКС.РУ" приведет к сокращению времени обработки запросов клиентов и улучшению качества обслуживания. Это позволит компании снизить затраты на персонал и повысить конкурентоспособность на рынке, сократив себестоимость конечного продукта. Таким образом, внедрение GPT-чат-бота является важным стратегическим шагом в развитии компании и обеспечении ее долгосрочного успеха.

В заключение также важно отметить, что внедрение GPT-чат-бота в CRM-систему компании "ТКС.РУ" является примером успешного использования открытых инноваций в современном российском бизнесе. Открытые инновации представляют собой стратегию, при которой компании активно взаимодействуют с внешними сторонами, такими как стартапы, университеты, исследовательские центры и другие предприятия, для обмена знаниями, идеями и технологиями.

В данном случае, использование вычислительных мощностей сторонних платформ, таких как OpenAI или их отечественных аналогов, позволяет компании сосредоточиться на ключевых бизнес-процессах, минуя затраты на дополнительное оборудование и разработку собственных решений. Это особенно актуально для небольших компаний, где финансовые ресурсы ограничены, и необходимо найти оптимальные пути для реализации инноваций. Взаимодействие со студентами и участие в научных конференциях позволяет установить более эффективный контакт с академической средой для будущего рекрутинга специалистов и получения свежих идей для бизнеса.

Подобный подход не только способствует экономии ресурсов, но и открывает двери в мир новых возможностей и технологий, которые могут значительно повысить эффективность, конкурентоспособность и устойчивость компании на рынке. Кроме того, такого рода взаимодействие способствует обмену опытом и созданию благоприятной среды для развития инновационной культуры в российском бизнесе.

Таким образом, внедрение GPT-чат-бота не только оптимизирует бизнес-процессы компании "ТКС.РУ", но и является примером успешного использования открытых инноваций, способствующих развитию российского бизнеса в целом.

Список литературы

1. Маврин Д.И. Чат-бот клиентской поддержки в таможенной сфере на основе дообученной генеративной нейронной сети // XI научно-практическая конференция с международным участием «Наука настоящего и будущего» для студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2023. Том 3. С. 155–159.
2. Hosiaisluoma, E., ArchiMate Cookbook Patterns & Examples [Электронный ресурс] / hosiaisluoma.fi URL: http://www.hosiaisluoma.fi/ArchiMate-Cookbook.pdf (дата обращения: 09.04.2024).
3. Модели As is & To be // Блог BITOBE. URL: https://blog.bitobe.ru/article/modeli-as-is-to-be/ (дата обращения: 10.04.2024).
4. Lodhi, Azeem; Kassem, Gamal; Köppen, Veit; Saake, Gunter. Building AS-IS process models from task descriptions // Материалы конференций "Frontiers of Information Technology" : сб. ст. 8-й междунар. конф. — 2010. — С. 14. DOI: 10.1145/1943628.1943642.
5. Иода Елена Васильевна О концепции открытых инноваций // Социально-экономические явления и процессы. 2011. №8. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-kontseptsii-otkrytyh-innovatsiy (дата обращения: 10.04.2024).

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИОВСТИ СИСТЕМ

МАШТАКОВ М.М.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В данной статье будет представлен краткий обзор методов для оценки устойчивости систем в различных науках и областях применения. Рассматривается актуальность и необходимость оценки устойчивости систем, а также математические методы, которые описанные в современных статьях. Упор при обзоре делается на устойчивость социально-экономических систем и предприятий. Автором также была составлена сводная таблица рассмотренных в данной работе методов, применяемых для оценки устойчивости систем.

Ключевые слова: системы, устойчивость, устойчивость систем, математические методы, системный подход, теория устойчивости, экономические системы, социально-экономические системы.

Введение

Актуальность необходимости оценки устойчивости систем в экономике обусловлена тем, что, современные предприятия, представляющие из себя экономические систем, сталкиваются с множеством внутренних и внешних влияний, требующих гибкости и адаптации к возникающим вследствие этого влияния изменениям.

Устойчивость экономической системы – это её способность выполнять свои функции при различных факторах, как внутреннего, так и внешнего характера, так как в современной научной рациональности любые системы стоит рассматривать как открытые. Такие факторы включает в себя социальную, экологическую и экономическую устойчивость – аспекты, важные для сбалансированного развития общества, экономики и окружающей среды, что способствует долгосрочной стабильности и устойчивости экономических систем. Диаграмма, демонстрирующая связь этих аспектов представлена на рисунке 1.

Рисунок 1. Аспекты устойчивости социально-экономических систем в контексте современной экономики

Под экономической устойчивостью предприятия автором понимается способность предприятия обеспечить стабильность и рентабельность его коммерческой деятельности и деятельности, связанной с производством благ.

Предприятие – открытая система, что означает её непосредственное взаимодействие с другими внешними системами. Из-за этого очень важно рассматривать экологический аспект устойчивости предприятия. В понимании автора экологическая устойчивость система – способность её взаимодействия с окружающей (экологической) системой с сохранением экологического благополучия окружающей среды [1, 2].

Социальная устойчивость также связана с открытостью предприятия как системы и, следовательно, его взаимодействия с обществом. Под социальной устойчивостью автором понимается возможность стабильно развивать как социальные структуры общества в целом, так и собственные (внутренние) социальные структуры путем решения социальных вопросов.

Оценка устойчивости экономических систем требует комплексного подхода, который включает в себя в том числе и математические методы, а также методы для выделения показателей и индикаторов устойчивости. Оценка устойчивости открывает возможности предприятиям для более точной оценки и разработки стратегий в долгосрочной перспективе. Далее в статье будут кратко рассмотрены некоторые методы, описанные в современных научных статьях моих коллег.

Краткий обзор некоторых методов

Так как в экономике устойчивость систем и предприятий напрямую зависит от устойчивости процесса [3], который также представляет из себя систему, я считаю важным рассмотреть статью «Об устойчивости инновационных процессов» и представленный в ней метод оценки устойчивости процесса.

Автором использован ряд методов для исследования устойчивости. Для определения параметров, влияющих на систему, авторы применяют производственную функцию, которая позволяет определить показатели, характеризующие процесс. Простейший пример производственной функции – базовая функция Кобба-Дугласса (капитал, труд, эластичность),

В качестве графического представления области устойчивости авторы используют трехмерную плоскость на основе параметров из производственной фикции. Отмечается целесообразность применения при этом логистической кривой (в случае рассматриваемой статьи – логистической кривой инноваций) для нахождения требуемого качества управления устойчивостью, а также поиска параметров и управления процессом.

Авторами также критикуется трубка траекторий устойчивости системы, так как, по их мнению, такой упрощенный подход тяжело применить для обеспечения устойчивости экономических систем. В статье также упомянут критерий Ляпуновва, который, по их мнению, позволяет найти адекватные границы [3].

Автор статьи «Методика оценки устойчивости экономических систем» представляет ряд методов для оценки экономических систем на основе приведенных мной во введении аспектов. Во-первых, представление устойчивости с помощью системы координат на основе индикаторов устойчивого развития, предложенных Комиссией ООН [4, 5].

В статье рассматривается оценка интегрированного показателя устойчивости отдельно на основе его важности и экспертной оценки. В целом автором представлена и сама методика отбора и ранжирования этих показателей, а также методика для интерпретации полученного результата.

Для оценки экономических систем интересной является статья «Проблематика финансовой устойчивости коммерческого банка и методов ее оценки», так как она не только исследует оценку экономического аспекта устойчивости, но и делает это в контексте социально-экономической системы. Здесь предлагается подход к оценке экономической устойчивости на основе вариационных сетей, где как узлы рассмотрены показатели, нормативы и коэффициенты. Так, каждый узел представляет собой линейную комбинацию соседей. Узлы совмещаются в линейную комбинацию.

В «Математические методы обеспечения условий устойчивости экосистем при техногенном воздействии строительства на окружающую среду» для оценки устойчивости рассматриваемой автором системы предлагается использование количественных моделей (системы уравнений). Такая модель позволяет менять изначальные условия дал оценки влияния и изменения конечного результата. Автором также предложен ряд других моделей: аналитические для общего описания свойств системы, имитационные для прогнозирования ситуаций, эмпирико-статистические для первичной обработки экспериментальной информации [7].

Для моделирования более сложных систем и нелинейных зависимостей автор предлагает применение структурного подхода с нейросетевым моделированием [7].

В целом автор выделяет два типа моделей: количественные для описания процессов при большом числе факторов и качественные для выявления общих закономерностей между системами.

В «Разработка комплексного критерия оценки устойчивого развития природно-промышленной системы» предлагается оценка с помощью интегрального коэффициента устойчивого развития на основе технологических, экономико-социальных и техногенных показателей. В статье также представлен алгоритм принятия решений на основе полученных коэффициентов и результатов [8].

В статье «Устойчивость банковской системы: теоретические и методологические аспекты» предложен ряд методов для оценки устойчивости системы (для банковской отрасли): коэффициентный метод, метод экспертных оценок, нейросетевое моделирование и метод обобщенного показателя (вариант, базирующийся на положениях теории интегральной диагностики сложных динамических систем) [9]. Последние два метода являются наиболее интересными с точки зрения математических методов в экономике. Особенно хочется выделить метод, использующий нейронные сети, так как современные ЭВМ обладают крайне высокой производительность, в сравнении с прошлыми десятилетиями, что позволяет эффективнее применять такие подходы.

Авторами статьи «Подход к оценке устойчивого развития промышленного предприятия» предложен подход к созданию методики оценки по трем показателям, упомянутым ранее: экономическому, экологическому и социальному в контексте устойчивости систем с помощью расчета интегрального показателя по авторской формуле. Авторы также приводят таблицу с предлагаемой ими интерпретацией полученного показателя интегральной оценки.

В «Социо-эколого-экономическая устойчивость северного региона на основе модели "окно устойчивости"». Наиболее интересным в данной статье мне показалось «окно устойчивости», которое выделяет определенный диапазон показателей. В рамках выделенного множества система и считается устойчивой [2].

На основе рассмотренных источников составлю сводную таблицу (см. таблицу 1) с используемыми различными авторами методами для оценки устойчивости систем. Таблица представлена ниже.

Таблица 1

Сводная таблица методов оценки устойчивости систем

Метод	Суть метода
Производственная функция	Определения параметров, влияющих на систему
Логистическая кривая	Нахождение качества управления устойчивостью, поиск параметров, управление процессом
Критерий Ляпуновва	Определение необходимых и достаточных условий устойчивости [11]
Применение индикаторов устойчивого развития	Использование заранее выделенных Комиссией ООН индикаторов
Вариационные сети	Применение графов для оценки устойчивости
Количественные модели	Оценки влияния переменных и изменения результата
Аналитическая модель	Общее описание свойств системы
Имитационная модель	Прогнозирование ситуаций
Эмпирико-статистическая модель	Обработка экспериментальной информации
Нейронные сети	Моделирование сложных систем и нелинейных зависимостей
Интегральный коэффициент	Выделение метрики на основе различных критериев
Окно устойчивости	Выделение диапазона показателей для оценки устойчивости

Заключение

В статье были рассмотрены работы, посвященные оценке устойчивости систем, а также выделен ряд методов, используемых в этих работах. Как видно из сводной таблицы, для оценки устойчивости применяется огромное количество методов и подходов. Выбор конкретного подхода и наборов методов стоит за самим исследователем с учетом контекста рассматриваемой им системы.

Список литературы

1. Бородин А. И., Киселева Н. Н. Региональные экономические системы и их устойчивость //Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право». – 2011. – №. 4. – С. 3–7.

2. Фомина В. Ф. Социо-эколого-экономическая устойчивость северного региона на основе модели "окно устойчивости" //Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. – 2022. – Т. 17. – №. 2. – С. 197–220.

3. Красновский Д. Л., Туккель И. Л. Об устойчивости инновационных процессов // Качество. Инновации. Образование. – 2023. - №2(184). – С. 30–34.
4. Лукина А. В. Методика оценки устойчивости экономических систем // Вестник Российского экономического университета им. ГВ Плеханова. – 2013. – №. 7 (61). – С. 14–20.
5. Brundtland G. H., Khalid M. Our common future. 1987. – 383 P.
6. Гоголь Д. А. Проблематика финансовой устойчивости коммерческого банка и методов ее оценки // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2011. — №. 2. – С. 163–167.
7. Большеротов А. Л. Математические методы обеспечения условий устойчивости экосистем при техногенном воздействии строительства на окружающую среду // Вестник МГСУ. – 2011. – №. 4. – С. 454–459.
8. Босиков И. И., Аликов А. Ю., Босиков В. И. Разработка комплексного критерия оценки устойчивого развития природно-промышленной системы // Глобальный научный потенциал. – 2014. – №. 11 (44). – С. 96.
9. Уразова С. А. Устойчивость банковской системы: теоретические и методологические аспекты // Финансовые исследования. – 2006. – №. 12. – С. 26–32.
10. Светуньков С. Г., Смолькин В. П. Подход к оценке устойчивого развития промышленного предприятия // Актуальные проблемы экономики и права. 2014. № 2 (30). С. 89–94.
11. Молчанов А. П. Функции Ляпунова для нелинейных дискретных систем управления // Автоматика и телемеханика. – 1987. – №. 6. – С. 26–35.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

А.А. МУНАССАР

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В современной экономике инновационные проекты являются ключевым фактором устойчивого развития и конкурентоспособности предприятий. Однако успех этих проектов во многом зависит от правильности методов их оценки. В данной статье проводится анализ различных методов оценки эффективности инновационных проектов, включая количественные, качественные и смешанные методы. Основное внимание уделено выявлению преимуществ и недостатков каждого метода, а также определению сценариев их наиболее эффективного применения. Результаты исследования помогают определить, какие методы наилучшим образом подходят для различных типов проектов и как их можно комбинировать для достижения максимальной точности оценок. Исследование предлагает рекомендации для практики в области оценки инновационных проектов.

***Ключевые слова**: инновационные проекты, методы оценки, эффективность инноваций, количественные методы, качественные методы, смешанные методы, анализ эффективности, управление проектами, стратегическое планирование*.

Введение

В современной экономике инновации являются ключевым фактором конкурентоспособности и экономического роста. Однако успешная реализация инновационных проектов требует не только креативных идей и технологических решений, но и эффективных методов их оценки. Эффективность инновационных проектов напрямую влияет на их коммерческий успех и возможности долгосрочного развития компаний. В этой связи, актуальность исследования методов оценки эффективности инновационных проектов становится очевидной, поскольку они позволяют не только прогнозировать возможные результаты, но и корректировать управленческие решения в процессе реализации проектов.

Цели исследования

Основная цель данного исследования заключается в анализе и сравнении различных методов оценки эффективности инновационных проектов. Исследование направлено на выявление преимуществ и недостатков количественных, качественных и смешанных

методов оценки, их точности, объективности и применимости в различных экономических и проектных контекстах. Кроме того, ставится задача определения наиболее эффективных методов с точки зрения затрат и сложности реализации.

Основная часть

1. Методика проведения исследования

Исследование начинается с тщательного обзора существующих методов оценки эффективности инновационных проектов. Основное внимание уделяется трем основным категориям методов: количественным, качественным и смешанным.

Количественные методы включают финансовые показатели такие как Чистая Приведенная Стоимость (NPV), Внутренняя Норма Доходности (IRR) и Возврат на Инвестиции (ROI). Эти методы применяются для точного измерения и прогнозирования финансовых результатов проекта, позволяя инвесторам и управляющим оценить потенциальную доходность и риски.

Качественные методы включают такие подходы, как экспертные оценки и SWOT-анализ. Эти методы полезны для оценки таких аспектов проектов, как воздействие на бренд, удовлетворенность клиентов и внутренние динамики команды, которые трудно количественно измерить.

Смешанные методы, такие как Сбалансированные Системы Показателей (BSC) и методы портфельного анализа, объединяют элементы как количественного, так и качественного анализа, предоставляя более комплексное понимание проекта.

Далее, производится критический анализ каждого метода, выявляя их преимущества и недостатки, а также сценарии их наиболее эффективного применения. Количественные методы, хотя и предоставляют точные данные, могут быть ограничены в своей способности учитывать неопределенные и переменные человеческие факторы. Качественные методы предоставляют более глубокое понимание нематериальных аспектов проекта, но их результаты могут быть субъективными и трудно воспроизводимыми. Смешанные методы, предоставляя более комплексный анализ, требуют значительных усилий на их реализацию и могут быть затратными.

2. Результаты исследования

На основе анализа литературы и данных, собранных из различных источников, были получены следующие результаты:

Количественные методы часто являются предпочтительными в средах с высоким уровнем управленческого контроля и там, где требуются четкие, численные показатели для оценки.

Качественные методы оказались особенно полезны в ранних стадиях проекта, когда необходимо оценить потенциальное влияние нововведений на рынок и потребителей.

Смешанные методы демонстрируют высокую эффективность в комплексных и масштабных проектах, требующих одновременного учета множества факторов.

Для обеспечения наглядности и глубины анализа была составлена таблица, которая демонстрирует ключевые параметры оценки для каждого из рассмотренных методов. Таблица сравнивает количественные, качественные и смешанные методы по таким критериям, как точность, затраты на реализацию, сложность применения и типичные сценарии использования.

Таблица 1

Сравнительный анализ методов оценки эффективности инновационных проектов

№	Метод оценки	Точность	Затраты на реализацию	Сложность применения	Предпочтительные сценарии использования
1	Количественные методы	Высокая	Средние	Высокая	Проекты с четко определенными параметрами
2	Качественные методы	Средняя	Низкие	Средняя	Проекты с высокой степенью неопределенности
3	Смешанные и комплексные методы	Высокая	Высокие	Очень высокая	Комплексные проекты, требующие мультимодального подхода

Таблица демонстрирует важность выбора подходящего метода оценки в зависимости от конкретных условий и требований проекта. Количественные методы, обладающие высокой точностью, наилучшим образом подходят для проектов с четко определенными финансовыми показателями и ожидаемыми результатами. Они идеально подходят для сценариев, где важен строгий финансовый контроль и точное прогнозирование доходов. Качественные методы, с другой стороны, предоставляют большую гибкость и подходят для проектов в условиях высокой неопределенности, где важно учитывать множество неколичественных факторов, таких как воздействие на бренд или удовлетворенность клиентов. Смешанные и комплексные методы, хотя и требуют значительных ресурсов для реализации, предлагают комплексный подход к оценке, интегрируя как количественные, так и качественные аспекты, что делает их идеальными для масштабных и многоаспектных проектов.

Этот анализ подчеркивает, что выбор метода оценки должен соответствовать специфике и масштабу проекта, чтобы обеспечить наиболее точное и эффективное управление.

Основные выводы:

- Адаптивность методов: Важно выбирать метод оценки, который наиболее адекватно соответствует уровню неопределенности и типу инноваций проекта. Это требует глубокого понимания как методов, так и специфики проекта.
- Баланс затрат и пользы: Необходимо учитывать затраты на реализацию метода оценки и возможную пользу, которую он может принести, чтобы обеспечить эффективное использование ресурсов.
- Комбинирование методов: Интеграция различных методов оценки может способствовать получению более всестороннего и точного результата.

Рекомендации для практики:

- Индивидуальный подход: Организациям следует разрабатывать индивидуальные схемы оценки для каждого проекта, учитывая его уникальные аспекты и риски.
- Обучение и развитие: Важно обеспечивать постоянное обучение и развитие команд, занимающихся оценкой проектов, чтобы они могли адекватно применять и адаптировать методы оценки в меняющихся условиях.

Заключение

Исследование методов оценки эффективности инновационных проектов показало значимость выбора подходящего подхода в зависимости от специфики проекта и контекста его реализации. Количественные методы предоставляют точные и объективные данные для проектов с четко определенными финансовыми и операционными параметрами, в то время как качественные методы лучше подходят для проектов, где важны социальные, культурные или технологические аспекты, сложно поддающиеся количественному анализу. Смешанные и комплексные методы, объединяя преимущества первых двух, предоставляют более глубокое понимание и комплексную оценку, необходимые для крупных и многоаспектных проектов.

Список литературы

1. Дедков А.Н. Методология оценки эффективности инновационных проектов // Вестник магистратуры. 2021. №5-1 (116). С.39-41.
2. Гречина И.В., Балашов В.Ю. Инновационный проект в предпринимательстве и экономическая оценка его эффективности // Вестник Института экономических исследований. 2021. №1 (21). С.65-72.
3. Назарова Ю.А., Киндрашина А.С. Подходы к оценке экономической эффективности инновационных проектов // Вестник РГГУ. Серия «Экономика. Управление. Право». 2020. №1. С.68-81.
4. Горбенко А.В. Оценка эффективности инновационных проектов в энергетике с учетом влияния рисков // Инновации и инвестиции. 2020. №11. С.3-5.
5. Борисов А.А., Чернат И.С. Совершенствование оценки экономической эффективности освоения инновационных проектов // πEconomy. 2020. №5. С.145-156.
6. Козлов А.В., Павлова Е.И. Обоснование выбора моделей оценки эффективности инновационных проектов в соответствии с этапами их реализации // Инновации и инвестиции. 2021. №8. С.8-12.
7. Абрашин Д.К. Инструменты оценки экономической эффективности реализации инновационных проектов в образовательных организациях // Теория и практика общественного развития. 2022. №5 (171). С.35-38.
8. Матвеева Ю.В., Чигванда М.Т., Матвеева В.П. Методология оценки эффективности проектного управления инновационноинвестиционными проектами промышленных предприятий // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2022. №1. С.78-87.

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ГРУЗОПЕРЕВОЗКАХ РФ

НЕПОМНЯЩАЯ В.С., ПЕТРОВ Д.А., ФОМИНА И.Г.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В данной статье был рассмотрен проект «Беспилотные логистические коридоры», его цели и задачи, текущие результаты и перспективы развития. Наиболее крупным партнером является компания «КАМАЗ», поэтому в статье наиболее подробно описана деятельность компании в проекте. Также, было дано описание технологии беспилотных грузоперевозок, ее преимущества и недостатки. Данный проект входит в перечень инициатив развития России до 2030 года, следовательно, тема данной статьи актуальна. Целью данного исследования является анализ новой технологии грузоперевозок путем сравнения с обычными грузоперевозками.

Ключевые слова: беспилотные грузоперевозки, транспортная логистика, цифровая модель, автоперевозки.

В 2021 году был дан старт проекту «Беспилотные логистические коридоры». Проект вошел в перечень инициатив социально-экономического развития РФ до 2030 года, так как он нацелен на решение приоритетных национальных и социальных задач. К национальным задачам можно отнести, например: повысить уровень развития транспортной логистики, снизить стоимость перевозок на 15%, сформировать эффективные транспортные коридоры

(этот пункт включает в себя замену 20% от общего числа грузовых автомобилей на беспилотные грузовики, снижение количества дорожно-транспортных происшествий на 8%, сокращение выбросов углекислого газа на 12%). Социальной задачей является решить проблему нехватки водителей-дальнобойщиков, так как за последние годы кадровый дефицит вырос с 15 до 21%, следствием этого стало простаивание 5% грузовых автомобилей (примерно 300 тысяч единиц).

Важным толчком в развитии данного проекта стало присоединение более 20-ти крупных компаний, таких как: «КАМАЗ», «Национальные Телематические Системы» (НТС), «СберАвтоТех», «Деловые линии», Globaltruck и другие. Проект «Беспилотные логистические коридоры» внедряется на трассе М-11 Санкт-Петербург – Москва (рис.1), протяженностью 669 километров. Именно на этой трассе 15 июня 2023 года, компания НПО «СтарЛайн» провела крупное испытание высокоавтоматизированного транспортного средства (ВАТС). Тягач проехал 684 километра из Санкт-Петербурга в Москву в беспилотном режиме. Во время испытания в кабине грузовика присутствовали два водителя-испытателя, которые следили за работой грузовика, а также целая группа специалистов отслеживала работу системы беспилотника удаленно. Компания «СтарЛайн» разработала систему управления с использованием искусственного интеллекта и нейросетей и цифровую модель дороги, которые в совокупности позволили грузовику маневрировать по маршруту, выбирать полосы движения, получать информацию о дорожных знаках и выбирать оптимальную скорость в автономном режиме.

Рис. 1. Трасса М-11 [1]

Беспилотные грузовые автомобили компании «КАМАЗ» были разработаны на базе магистрального тягача «Камаз-54901». Беспилотная версия не сильно отличается от своего прототипа, в нем также есть педали, коробка передач и руль, но при этом беспилотный тягач оснащен радарами на крыше, которые сканируют дорожную обстановку и передают

собранную информацию на основе которых принимается решение касательно полосы движения, выбора скорости и т.п. Также присутствует система связи, которая связывает все беспилотные автомобили с группой специалистов. В том числе установлены системы навигации, технического зрения и обработки входящей информации, которые в совокупности могут обеспечить исправную работу беспилотного автомобиля. Грузовики будут работать между столицами с использованием хабов, узлов связи. Таким образом будет происходить перецепка с обычного тягача на тягач, способный двигаться в беспилотном режиме. Средняя скорость машины – 60-70 км/ч, а в идеальных условиях может достигать 90 км/ч, а стоимость составляет около 17 млн рублей. Вдобавок, еще одной характеристикой беспилотных автомобилей является уровень автономности. Представители КамАЗа уверяют, что машины соответствуют уровню автономности 3+. Это означает, что автомобиль способен ездить без внимания со стороны водителя в идеальных дорожных и погодных условиях, но при этом человек может вмешаться в процесс управления в любое время на любом этапе, человек берет на себя управление только в сложных ситуациях. Уровень самостоятельности планируется поднять до 5 – автомобиль будет двигаться полностью самостоятельно, а место для человека и органы управления даже не потребуются.

На данный момент проект «Беспилотные логистические коридоры» неплохо продвинулся, а его перспективы развития достаточно многообещающие. В прошлом году на трассе М-11 «Нева» были запущены перевозки с помощью беспилотных грузовиков, сейчас количество грузовиков, использующихся в данном проекте на трассе М-11, небольшое – 6 беспилотников от ПАО «КАМАЗ» и 3 от «СберАвтоТех», в сумме 9 штук. Уже к концу 2024 года планируется расширить автопарк беспилотных грузовиков, тестируемых в рамках проекта, до 43 машин. Интересным является факт того, что уже сейчас потребность компаний в беспилотниках – 189 единиц (рис.2), эта число в 4 раза больше планируемого количества произведенных грузовиков.

Рис. 2. Потребность в беспилотных грузовиках [2]

Помимо этого, на данный момент протяженность БЛК составляет 669 км (протяженность трассы М-11), но в перспективе общая протяженность БЛК в России должна составить 19,5 тыс. км к 2030 году (к М-11 присоединятся ЦКАД, М-4 «Дон», М-12 «Москва-Казань» и др.). Кроме того, сейчас совершено более 160 рейсов, доставлено более 1900 тонн грузов, в то время как к 2030 планируется перевезти более 20 тыс. тонн грузов и запустить новую беспилотную модель «КамАЗ-54907», его цена составит около 19 млн рублей [3].

Стоит отметить, что у данного проекта есть и сильные, и слабые стороны, например: увеличивается безопасность, исключается риск человеческих ошибок или усталости водителя, но при этом повышается риск кибератак, злоумышленники могут провести атаку на систему грузовика с автопилотом и украсть данные или перевозимый груз. Также к преимуществам относится: экономия времени и снижения затрат, ведь автоматизированные системы могут работать круглосуточно без необходимости в отдыхе, экологическая эффективность, беспилотные грузовики могут быть более энергоэффективными и использовать альтернативные источники энергии. Но не смотря на многочисленные плюсы как для компании, которая использует грузовики, так и для государства, есть и недостатки. Высокие начальные затраты: внедрение таких технологий будет постепенным и медленным из-за высокой стоимости грузовика, примерная стоимость может варьироваться от 17 до 25 миллионов рублей. Безработица: автоматизация процесса доставки грузов может привести к уменьшению спроса на профессии водителей, что повлечет за собой социальные проблемы и полную автоматизацию сферы предоставления услуг водителей. Также технологические ограничения: недостаточная развитость технологий и нормативная база может стать преградой для широкого внедрения.

Более подробное сравнение обычного грузовика с беспилотным приведено в таблице 1 [4]:

Таблица 1

Сравнение обычного грузовика с ВАТС

Критерии	Обычный грузовик	ВАТС
Стоимость	7,98 млн руб.	17 млн руб.
Скорость доставки	12 ч	9 ч (-25%)
Расход топлива	27 л на 100 км	26 л на 100 км
Затраты на ТО	в среднем 50 тыс. руб.	48,5 тыс. руб. (-3%)
Выбросы CO2	около 50 т в год	37,5 т в год (-25%)
Аварийность	около 17 тыс. аварий в год	13,6 тыс. аварий в год (-20%)

Несмотря на то, что показатели ВАТС эффективнее, важно не забывать о рисках и ограничениях, которые существуют на текущий момент. В перспективе рассмотренный в статье проект является многообещающим, это большой «инновационный» шаг в сфере логистики, который может принести прибыль, снизить затраты, решить проблемы с грузоперевозками и сделать их эффективнее. Внедрение беспилотных грузовиков повлияет на все цепочки перевозки грузов.

Список литературы

1. Дорога М-11 // Планета дорог. URL: [https://www.planetadorog.ru/r/doroga_m11/] (дата обращения 12.03.2024).

2. «Камаз» назвал стоимость экспериментальных беспилотников // Ведомости. URL: [https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/12/22/901923-kamaz-nazval] (дата обращения 12.03.2024).
3. Старт движения беспилотных грузовых автомобилей // ТАСС. URL: [https://tass.ru/ekonomika/18004969] (дата обращения 12.03.2024).
4. Беспилотники: плюсы и минусы нового вида транспорта // E1-CARD. URL: [https://e1-card.ru/blog/strategiya/bespilotniki-plyusy-i-minusy-novogo-vida-transporta] (дата обращения 12.03.2024).

ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ЛИТИЙ-ЖЕЛЕЗОФОСФАТНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ ЯЧЕЙКИ

ПИКАЛЕВА В.С.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. Цифровые двойники играют важную роль в современном мире. Они представляют собой виртуальные копии реальных объектов, процессов или систем, использующиеся для их анализа, тестирования и усовершенствования. Цифровые двойники применяются в различных областях, таких как производство, транспорт, здравоохранение и многие другие. Цифровой двойник литий-железофосфатной аккумуляторной ячейки значительно упрощает разработку аккумуляторов, так как с его помощью можно моделировать различные условия зарядки и разрядки аккумулятора, анализировать его производительность, прогнозировать износ и оптимизировать его работу для повышения энергоэффективности и увеличения срока службы.

Ключевые слова: накопитель энергии, литиевый аккумулятор, цифровой двойник, математическое моделирование

Введение

Цифровой двойник – это виртуальная модель реального физического объекта, процесса или системы, содержащая информацию о свойствах, поведении, состоянии и других характеристиках оригинала. Дальнейшее использование созданной модели позволяет проводить эксперименты и получать информацию о поведении оригинала, не рискуя при этом повредить или изменить реальный объект.

Создание цифровых двойников значительно облегчает разработку, производство и обслуживание продуктов. Использование двойников даёт ряд преимуществ:

- Цифровые двойники облегчают введение новых технологий, поскольку значительно упрощают проведение экспериментов, которые по тем или иным причинам не могут быть проведены из-за физических условий и зависят от реальных физических объектов.
- Даёт возможность снимать более полные измерения.
- Расширяет возможности анализа и прогнозирования. Цифровой двойник может объединить сбор и обработку данных, а также провести моделирование, что позволяет более точно оценить текущее состояние и осуществить диагностику проблем.
- Оцифровка опыта. В целом, цифровые двойники не только позволяют оцифровывать ранее не сохранявшиеся знания, но и упрощают их сохранение, дублирование, изменение и передачу [1].
- Цифровые двойники помогают обеспечивать безопасность, поскольку позволяют осуществлять непрерывный мониторинг процесса во время работы модели.

В последние годы роль цифровых двойников возросла. Их применение особенно актуально для таких областей, как, например, производство аккумуляторов, где мелкие проблемы в начале технологической цепочки имеют свойство накапливаться и приводить к образованию отходов или к потенциальной угрозе безопасности конечного продукта [2]. Разработка литий-ионных аккумуляторов и управление ими являются важнейшими компонентами в новых энергетических транспортных средствах, а также в других областях, таких как разработка портативных электронных устройств и хранение энергии из возобновляемых источников. Данные аккумуляторы также широко используются в аэрокосмической отрасли для энергоснабжения спутников и космических аппаратов. Созданию аккумуляторных батарей в значительной степени способствовали литий-ионные батареи, которые обладают превосходной плотностью энергии, увеличенным сроком службы и низкой скоростью саморазряда [3]. Чтобы облегчить разработку данных батарей и повысить её эффективность используются цифровые двойники.

Цифровой двойник аккумуляторной ячейки позволяет виртуально представить её работу и поведение, что значительно облегчает отслеживание состояния батареи, прогнозирование остаточного заряда и общего срока службы, а также даёт возможность оптимизировать стратегии зарядки и разрядки и обнаруживать потенциальные неисправности или признаки деградации аккумулятора. Например, цифровые двойники может использоваться для моделирования влияния различных условий эксплуатации на производительность и срок службы ячейки, что позволяет инженерам принимать более обоснованные решения по её проектированию.

Моделирование аккумуляторных ячеек

Для моделирования системы управления батареей необходимо оценить ряд фундаментальных величин, таких как уровень заряда, состояние здоровья, доступная мощность и доступная энергия. Существует два принципиально разных типа моделей, которые могут быть использованы в этих задачах оценки:

1) Эквивалентно-схемные модели. При использовании данной модели в качестве аналога ячейки литий-ионного аккумулятора выбирается электрическая цепь, параметры которой с помощью лабораторных испытаний подобраны так, чтобы изменения тока/напряжения модели точно соответствовали изменению соответствующих параметров у настоящей ячейки. Поскольку эквивалентно-схемные модели представляют собой эмпирическую подгонку данных, полученных от ячейки, к модельной структуре, состоящей из компонентов электронной схемы, они имеют те же особенности, что и другие типы подгонки кривых. Например, эти модели имеют тенденцию давать хорошие прогнозы при интерполяции между данными, наблюдаемыми при создании модели. Это происходит, когда ячейка работает со значениями тока, аналогичными тем, которые использовались для подгонки значений параметров. С другой стороны, эквивалентно-схемные модели не склонны к хорошей экстраполяции. Если ячейка эксплуатируется не так, как в лабораторных испытаниях, ее прогнозам не стоит доверять. Эквивалентно-схемная модель может предсказать поведение входа/выхода (ток/напряжение), но не может предсказать внутренние электрохимические состояния. Однако данные модели обеспечивают быстрое и надежное моделирование.

2) Физические модели. Данные модели выводят уравнения, которые моделируют работу ячейки, начиная с фундаментальных физических законов, описывающих реакцию внутренних электрохимических переменных ячейки на стимул в

виде входного тока. При желании из этих внутренних электрохимических переменных можно вычислить напряжение ячейки. Физические модели могут давать прогнозы в широком диапазоне рабочих условий и предсказывать внутреннее электрохимическое состояние ячейки (что помогает прогнозировать старение). Однако эти модели часто выражаются в виде связанных уравнений с частными производными, что приводит к медленному моделированию, которое сопровождается проблемами с устойчивостью и сходимостью [4].

Так как в настоящее время большинство систем управления батареями для больших аккумуляторных блоков используют ту или иную модель эквивалентной схемы ячейки в качестве основы для поддержания надлежащих рабочих границ ячеек и оценки критических внутренних состояний ячеек, ввиду простоты и надёжности эквивалентно-схемных моделей, рассмотрим этот подход более подробно.

Входные и выходные характеристики (ток и напряжение соответственно) литий-ионной ячейки хорошо аппроксимируются эквивалентной схемой. То есть электрическая схема, состоящая из источника напряжения, резисторов, конденсаторов и так далее, используется в качестве аналога для предсказания поведения физической литий-ионной ячейки. Хотя сама ячейка не содержит этих компонентов внутри, её реакция по напряжению на стимул в виде входного тока аналогична той, которая была бы получена с помощью модели схемы при том же входном токе [4].

Модель, изображённая на рис. 1. обладает динамическими характеристиками, помогающими описать, что происходит, когда клетка подвергается воздействию изменяющегося во времени входного тока. Для этого в данную модель добавляется компонент, представляющий собой эквивалентное последовательное сопротивление R_0 модели ячейки. Напряжение на клеммах элемента падает ниже напряжения разомкнутой цепи, когда элемент подвергается нагрузке, и напряжение на клеммах поднимается выше напряжения разомкнутой цепи, когда элемент заряжается. Отметим, что сопротивление клетки часто является функцией состояния заряда клетки и всегда зависит от её внутренней температуры, поэтому точность прогнозов, даваемых моделью, повысится, если эти зависимости будут учтены в R_0. Эта модель элемента достаточна для многих простых электрических схем, однако она не подходит для применения в крупномасштабных аккумуляторных блоках, например, для электромобилей и систем хранения электроэнергии [5].

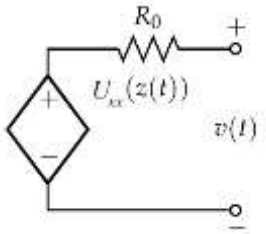


Рис. 1. Модель ячейки, с зависимым от уровня заряда напряжением и эквивалентным последовательным сопротивлением R_0 [5]

Теперь рассмотрим улучшенную самокорректирующуюся эквивалентно-схемную модель ячейки. Данная модель изображена на рис. 2. На этой схеме напряжение разомкнутой цепи ячейки, зависящее от уровня заряда, нарисовано как зависимый источник напряжения, «гист.» – это нелинейный элемент гистерезиса, а R_0 – это омическое сопротивление ячейки. Для моделирования диффузионных напряжений нарисована одна

пара резистор-конденсатор, однако для повышения точности модели можно добавить дополнительные параллельные цепи резистор-конденсатор. Эта структура модели названа улучшенной, поскольку она содержит некоторое описание гистерезисных напряжений, чтобы отличить ее от более ранних моделей, которые этого не делали. Она называется самокорректирующейся, поскольку напряжение сходится к правильному значению как в состоянии покоя, так и при постоянном токе на входе. Даже если поведение модели в переходном процессе неточно, можно рассчитывать на то, что по прошествии некоторого времени она даст разумные оценки напряжения. В данной модели постоянные R_0, R_1, C_1 и т. д. являются параметрами. Элементы схемы, описываемые этими параметрами аналогичны физическим свойствам диффузионных процессов, если рассматривать их в совокупности, но не описывают что-то физическое по отдельности. Поэтому мы не можем измерить значения констант с помощью методов лабораторных испытаний, которые изолируют конкретное физическое свойство, но вместо этого при создании модели значения R_0, C_1 и R_1 корректируются с помощью оптимизации, чтобы предсказания модели как можно лучше совпадали с данными, полученными в ходе испытаний ячеек. Этот процесс известен как идентификация системы. Оптимизированные значения параметров обычно являются функцией состояния заряда и температуры [4].

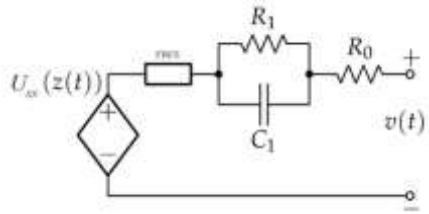


Рис. 2. Улучшенная самокорректирующаяся модель цепи [4]

Заключение

В заключение, можно сделать вывод, что создание цифровых двойников намного упрощает процесс разработки и производства аккумуляторных ячеек. Наиболее удобным способом моделирования аккумуляторной ячейки является создание эквивалентно-схемной модели.

Список литературы

1. Advanced Battery Management System for Electric Vehicles / Shichun Yang, Xinhua Liu, Shen Li, Cheng Zhang. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2023
2. Dariush Schabany, Tom-Hendrik Hülsmann, Arno Schmetz Development of a Maturity Assessment Model for Digital Twins in Battery Cell Industry // Procedia CIRP. 2022, vol. 106
3. Sadiqa Jafari, Yung-Cheol Byun Prediction of the Battery State Using the Digital Twin Framework Based on the Battery Management System // IEEE Access. 2022, vol. 10
4. Gregory L. Plett Equivalent-Circuit Methods. Norwood: Artech House, 2016
5. Gregory L. Plett Battery Modeling. Norwood: Artech House, 2015

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛОГИСТИКЕ

М.С. Попов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация. В статье проанализирован мировой опыт применения технологии цифровой двойник в железнодорожной логистике, приведены примеры используемых различными организациями типов моделирования цифровых двойников, их преимущества и недостатки. Обсуждаются перспективы развития этой технологии. (На материале преддипломной практики в ООО «Сибантрацит Логистика» (Новосибирск).

Ключевые слова: логистика, цифровой двойник, железнодорожная логистика, цифровизация

Материал, изложенный в данной статье, является приложением опыта и знаний, полученных в ходе преддипломной практики, которую я проходил в ООО «Сибантрацит Логистика». Это компания, специализирующаяся на железнодорожных перевозках и обслуживании. Для управления перевозками в компании используется интеллектуальная система планирования маршрутов, основанная на технологии цифровых двойников. В ходе работы по совершенствованию системы менеджмента качества я изучил функционирование данной системы, чтобы понять возможности для оптимизации и расширения ее применения. Этот опыт побудил меня подробнее изучить спектр возможностей технологии цифровых двойников.

Цифровой двойник (Digital Twin) – это программный аналог (виртуальная интерактивная копия) реального объекта или процесса. В современном мире эти программные продукты набирают все большую популярность. Компьютерные системы уже вошли в наш обиход и стали привычным элементом жизни, как дома, так и во всех рабочих сферах. Логичным продолжением этого процесса выглядит постепенная цифровизация.

Железнодорожные перевозки – один из наиболее эффективных и дешевых способов перевезти груз или пассажиров. В то же время, как инфраструктура железной дороги, так и сами поезда – это сложные технические системы, требующие контроля и обслуживания.

Цифровой двойник – общее название достаточно широкого перечня технологий и подходов. В железнодорожной логистике используются многие из них. Рассмотрим, какие системы применяются разными компаниями, какие задачи они выполняют и какие преимущества имеют.

Например, в компании РЖД и ее партнерах применяются цифровые двойники системы «Умный локомотив», позволяющие оценивать и прогнозировать состояние узлов и агрегатов локомотива, отслеживать аномалии и автоматически выводить информацию о состоянии оборудования. В дополнение к цифровому двойнику используется целый комплекс аналитических систем, выполненных на основе искусственного интеллекта. [1] Такой проект позволяет составлять прогнозы и вовремя осуществлять обслуживание и ремонт, однако требует ручного ввода некоторых данных, не синхронизирует данные в реальном времени и не обладает всей полнотой данных о локомотиве. Таким образом, несмотря на очевидную полезность этой системы, в будущем она может быть серьезно доработана для более продвинутой работы.

Также цифровые двойники используются на сортировочных станциях – диспетчер на такой станции должен следить за событиями, происходящими на станции, анализировать действия сотрудников и вовремя принимать управленческие решения. Цифровой двойник

позволяет упростить работу диспетчера и повысить безопасность. [2] От внедрения цифровых двойников РЖД планирует снижение затрат до 30%, сокращение времени планирования – до 20%, снижение затрат на внутренние процессы – до 7%.

Помимо этого, в рамках «Единой цифровой платформы» в разработке находится система цифровых двойников грузовых вагонов. Она будет учитывать все детали, из которых состоит вагон, фиксировать историю поломок, ремонтов и списания. Разработка этой системы призвана сократить убытки от происшествий с грузовыми вагонами и повысить безопасность. По оценке Минтранса России, среднегодовой ущерб от происшествий, возникших на инфраструктуре железнодорожного транспорта с участием грузовых вагонов, виной которых признаны ремонтные предприятия, составил 165 млн рублей. [3] Но это не единственный способ оцифровки вагонов: «Первая грузовая компания» занимается разработкой модуля, который отслеживает технические показатели колесных пар с помощью датчиков — ИС КТИ. Эта система позволит контролировать техническое состояние вагона в режиме онлайн и выстраивать его эксплуатацию соответственно, уменьшая простои на ремонт и обслуживание, предотвращая происшествия и увеличивая полезное время работы. Однако, такой цифровой двойник затрагивает только часть технических характеристик вагона, и потому не может быть в полной мере репрезентативен. [4]

В рассмотренных примерах цифровые двойники применялись для оцифровки конкретных объектов – однако, это совсем не единственный способ их использования. Компания Alstom, занимающаяся производством и обслуживанием поездов, разработала цифрового двойника West Coast Main Line - Железнодорожной магистрали западного побережья в Великобритании. Эта линия эксплуатирует поезда производства компании Alstom, и компании требовалось производить эффективное обслуживание и ремонт составов, учитывая при этом потребности железной дороги, режимы технического обслуживания, аварии и возможности каждого из пяти доступных ремонтных депо. Для решения этой проблемы Alstom с помощью SimPlan AG — крупнейшей в Германии компании-консультанта по имитационному моделированию в области логистики, создала цифрового двойника всей железной дороги и системы технического обслуживания. Пользователи модели могут видеть на карте все передвижения поездов и другие процессы, в которых участвуют составы. Кроме того, система позволяет по нажатию на любой элемент карты получить о нем исчерпывающую информацию. Такой подход к цифровым двойникам позволяет получать важные данные, однако не отражает реального состояния технических систем и инфраструктуры. [5]

Цифровые двойники могут также применяться для повышения безопасности железнодорожных перевозок. Два примера такого использования - JR East (Восточная Японская ЖД) и Deutsche Bahn (Немецкие ЖД). Компании используют разные подходы, наглядно демонстрируя гибкость концепции цифрового двойника.

JR East приходится учитывать стихийные бедствия, такие как землетрясения и тайфуны. В случае столкновения с такой ситуацией, требуются большие усилия для сбора достаточной информации от соответствующих внутренних отделов, которые управляют объектами и персоналом, а также внешних источников данных, чтобы определить полученный ущерб. Для того, чтобы упростить сбор информации и принятие решений, JR East разработала платформу цифровых двойников, которая объединяет внутренние оперативные данные и внешние данные о погодных условиях и стихийных бедствиях на многослойной карте в режиме реального времени. [6]

Deutsche Bahn же не имеет необходимости учитывать стихийные бедствия такого характера. Однако, повышение безопасности перевозок является одним из приоритетов компании, поэтому был разработан пилотный проект специального цифрового двойника для Гамбургской железной дороги. При содействии компании NVIDIA была создана подробная фотореалистичная 3D модель всей железной дороги. Модель получила возможности имитации различных чрезвычайных ситуаций на железной дороге, от падения дерева на пути до затопления или падения самолета. С помощью этой модели компания собирается уменьшить количество аварий и в целом повысить уровень подготовки. Такой подход, в свою очередь, позволяет смоделировать множество нештатных ситуаций, однако не обладает копией точных параметров реальных составов и инфраструктуры, а потому все равно является упрощенной и в полной мере не отражает действительность. [7]

Уже сегодня существуют и более сложные, комплексные системы цифровых двойников, создающие не имитацию, а полноценную модель объекта в режиме реального времени. Например, в Италии компания Almaviva тестирует на итальянских железных дорогах систему, позволяющую с помощью множества датчиков строить 3D модель окружения состава в реальном времени и транслировать в центр управления. Такая система позволит практически мгновенно реагировать на любую внештатную ситуацию, а также следить за техническим состоянием инфраструктуры и состава. Таким образом достигается приближение к идеалу цифрового двойника, повторяющего все параметры объекта и окружения в реальном времени, и позволяющего производить анализ, прогнозы и корректировки. [8]

Цифровые двойники имеют высокий потенциал - технология позволяет объединить в себе различные системы сбора данных, информация по которым очень часто разрознена и может отличаться на 30-40%. В систему цифрового двойника можно внедрить различные инновационные технологии, такие как интернет вещей и алгоритмы машинного обучения. Алгоритмы машинного обучения могут анализировать массивные потоки данных от датчиков по всей системе, становясь более точными с течением времени.

Цифровой двойник в перспективе способен учитывать всю инфраструктуру железной дороги целиком, включая станции, туннели, мосты, сигналы, коммутаторы, оборудование для электрификации и ИТ-системы. Такая система способствуют непрерывному исследованию активов, визуализации сети и анализа данных почти в режиме реального времени.

Обладая способностью видеть изменения условий с течением времени, железнодорожные компании могут добавить важнейшее четвертое измерение в свои системы управления активами. Способность цифрового двойника к прогнозированию позволит не реагировать на происшествия, а предотвращать их.

Цифровые двойники уже сейчас используются в железнодорожной логистике по всему миру – двойник Ж/Д инфраструктуры используется компанией PRASA в Южной Африке, двойники мостов и тоннелей в Южной Корее, двойники железнодорожных хабов в Великобритании, и т.д. Эта технология постоянно внедряется новыми компаниями в новые области. Более всего технологии цифрового двойника в железнодорожных перевозках сейчас используются для наблюдения за техническим состоянием (34%), затем – для оптимизации процессов (28,4%), обнаружения дефектов и поломок (19,3%), обучения (3,4%) и прочих областей (14,7%). [9]

Наиболее популярной технологией моделирования на данный момент является BIM - Building Information Modeling. BIM — это цифровое представление физических и

функциональных характеристик зданий и других материальных объектов. BIM считается гибридным типом моделирования, поскольку он интегрирует различные источники данных, включая геометрические, пространственные и непространственные данные. BIM может помочь с визуализацией управления инфраструктурой, включая прогнозирование потребности в техническом обслуживании и выявление потенциальных неисправностей.

В разработке находятся более продвинутые технологии моделирования, такие как технология дополненной реальности. В будущем эта технология сможет сочетать в себе BIM, 3D моделирование, симуляцию объектов в реальном времени и другие типы моделирования цифрового двойника. С помощью систем искусственного интеллекта данные, полученные от такого цифрового двойника, будут эффективно обрабатываться и анализироваться. В целом именно системы искусственного интеллекта, пока слабо развитые в железнодорожной отрасли, смогут в будущем позволить в полной мере реализовать потенциал технологии цифровых двойников. Причина этого в том, что с совершенствованием цифрового двойника значительно возрастает объем данных, поступающих от объекта в реальном времени, человек не будет способен адекватно оценивать такую модель без предварительной компьютерной обработки. Соответственно, интеллектуальные системы обработки и быстрого анализа данных будут крайне востребованы в отрасли цифровых двойников. [10][11]

В заключение можно сказать, что технология цифровых двойников имеет все шансы произвести настоящую революцию в отрасли железнодорожных перевозок за счет повышения безопасности и эффективности. Однако, несмотря на растущий интерес к цифровым двойникам, их полный потенциал в железнодорожной сфере еще не реализован.

Список литературы

1. Цифровые двойники: сайт Цифровой портал РЖД — 2024 [Электронный ресурс]. Дата обновления: 03.12.2022 — URL: https://rzddigital.ru/technology/tsifrovye-dvoyniki/ (дата обращения – 29.04.2024)
2. Цифровой двойник для железнодорожных станций: сайт GlobalCIO — 2024 [Электронный ресурс]. Дата обновления: 05.11.2019 — URL: https://globalcio.ru/projects/3019/ (дата обращения – 29.04.2024)
3. У грузовых вагонов появятся цифровые двойники: сайт Цифровой портал РЖД — 2024 [Электронный ресурс]. Дата обновления: 24.11.2022 — URL: https://rzddigital.ru/events/u-gruzovykh-vagonov-poyavyatsya-tsifrovye-dvoyniki/ (дата обращения – 29.04.2024)
4. Цифровой двойник вагона: сайт Хабр — 2024 [Электронный ресурс]. Дата обновления: 26.07.2021 — URL: https://habr.com/ru/companies/pgk/articles/569686/ (дата обращения – 29.04.2024)
5. Alstom создает цифрового двойника для принятия решений в сфере технического обслуживания парка поездов: сайт AnyLogic — 2024 [Электронный ресурс] — URL: https://www.anylogic.ru/resources/case-studies/digital-twin-of-rail-network-for-train-fleet-maintenance-decision-support/ (дата обращения – 02.05.2024)
6. Singh, Jaspal. The development of a digital twins platform for safe and reliable rail operations // Mobility Innovators. - 2023. URL: https://mobility-innovators.com/the-development-of-a-digital-twins-platform-for-safe-and-reliable-rail-operations/ / (дата обращения – 02.05.2024)
7. Deutsche Bahn presented a video of the digital twin of the railway: сайт Railway Supply — 2024 [Электронный ресурс]. Дата обновления: 08.12.2023 — URL: https://www.railway.supply/en/deutsche-bahn-presented-a-video-of-the-digital-twin-of-the-railway/ (дата обращения – 02.05.2024)
8. А.В. Лапова, Е.Ю. Бармина ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА В ЛОГИСТИКЕ // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2021. №. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tsifrovogo-dvoynika-v-logistike (дата обращения: 02.05.2024)
9. Kumar, Subhadip. Digital Twin-A Key Driver to Transform North American Railroad. // ResearchGate. - 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/376754615_Digital_Twin-A_Key_Driver_to_Transform_North_American_Railroad (дата обращения: 02.05.2024)
10. Laamarti, Fedwa; Ferdousi, Rahatara; Ghaboura, Sara; Yang, Chunsheng; El Saddik, Abdulmotaleb. Digital Twin for Railway: A Comprehensive Survey // ResearchGate. - 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/374942376_Digital_Twin_for_Railway_A_Comprehensive_Survey (дата обращения: 02.05.2024)

11. Ruth Dirnfeld. Digital Twins in Railways: State of the Art, Opportunities, and Guidelines // Linnaeus University. - 2022. URL: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1674046/FULLTEXT01.pdf

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ И ИНСТРУМЕНТОВ ОТКРЫТЫХ ИННОВАЦИЙ В ЦЕЛЯХ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ НУЖД ПАО «ГАЗПРОМ»

ПРОНИЧЕВ Д.А.

ПАО «Газпром»

Аннотация. В статье рассматривается процесс внедрения новых технологий и инновационного оборудования в компании ПАО «Газпром». Важным этапом этого процесса являются сертификационные процедуры и опытно-промышленные испытания. Для оптимизации затрат и сокращения сроков проведения этих испытаний предлагается использование цифрового испытательного полигона. Рассматриваются возможности применения концепции открытых инноваций для создания такого полигона. Особое внимание уделяется созданию цифровых двойников испытываемых объектов и инфраструктуры. Предлагается создание открытой цифровой платформы «Фабрика цифровых двойников», которая позволит создавать цифровые двойники объектов испытаний с помощью сторонних ресурсов.

Ключевые слова: испытания, опытно-промышленные испытания, цифровой двойник, цифровой испытательный полигон (ЦИП), цифровая платформа (ЦП), открытые инновации, экономика по требованию.

В процессе внедрения новых технологий, а также ранее неприменяемого на объектах компании инновационного технологического оборудования обязательным этапом является выполнение мероприятий допуска к применению на объектах Группы компаний Газпром, которые включают сертификационные процедуры и подконтрольные ПАО «Газпром» опытно-промышленные испытания (далее – ОПИ).

Для проведения ОПИ (кроме обеспечения разработчиком получения всех необходимых в соответствии с государственными нормами и правилами сертификатов) необходимы разработка проектно-технической документации привязки испытуемого оборудования на действующем технологическом объекте, корректировка регламентной документации по эксплуатации, разработка программы и методики испытаний, изготовление головного образца, проведение строительно-монтажных и пусконаладочных работ и, собственно, проведение ОПИ, продолжительность которых может составлять до года и более.

Современным решением оптимизации затрат и сокращение сроков проведения ОПИ является внедрение цифрового испытательного полигона (далее – ЦИП) – специализированной программно-аппаратной экосистемы, позволяющей проводить испытания и апробацию инновационных решений с применением комплексных физико-математических и статистических имитационных моделей как объекта испытаний так и объекта инфраструктуры испытаний, обеспечивая проведение тестирования в режиме, максимально приближенном к реальным условиям.

Создание ЦИП для проведения испытаний всей номенклатуры инновационных технологий и продукции является сложной комплексной задачей.

Рассмотрим возможные варианты применения практических методов и инструментов концепции открытых инноваций применительно к задаче реализации проекта создания ЦИП относительно внутреннего и внешнего организационных контуров проекта создания ЦИП.

1. Инструменты открытых инноваций во внешнем контуре проекта.

Для проведения испытаний в цифровом виде на базе ЦИП необходимы цифровые копии (цифровой двойник) как объекта испытаний (опытного образца), так и цифрового двойника инфраструктуры предприятия, в рамках которого необходимо выполнить ОПИ. Создание цифровых двойников инфраструктуры не входит в контур рассматриваемого обзора, поскольку является текущей задачей ПАО «Газпром», реализуемой в соответствии со Стратегий цифровой трансформации ПАО «Газпром». Вместе с тем, создание цифрового двойника объекта испытаний является не только трудоемкой задачей, требующей соответствующих компетенций и средств разработки, но и требующей единых методик, стандартов для его создания, которые обеспечат дальнейшую бесшовную имплементацию в эксплуатируемую инфраструктуру ПАО «Газпром» для обеспечения проведения цифровых ОПИ. Таким образом целесообразна реализация открытой цифровой платформы (ЦП) ПАО «Газпром» для моделирования объектов «Фабрика цифровых двойников».

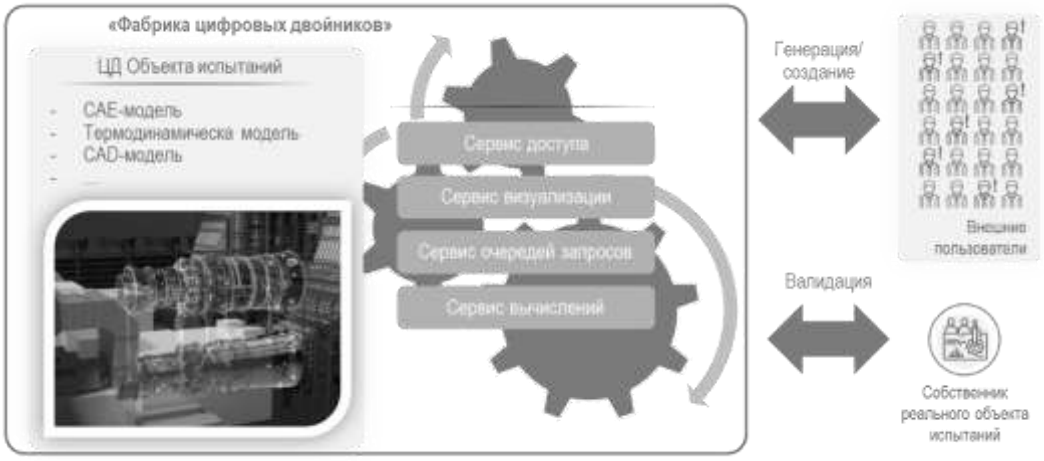


Рисунок 1. Концептуальная организационная схема ЦП «Фабрика цифровых двойников»

Доступ к сервисам ЦП «Фабрики цифровых двойников» будет доступен всем желающим с целью генерации (разработки) за счет стороннего для ПАО «Газпром» ресурса (крауда) «цифровых двойников» (комплексных моделей) продуктов, процессов и систем, таких как:

– «Цифровой двойник» продукта, который представляет собой виртуальную модель конкретного продукта. Производители используют данный тип «цифрового двойника» перед настройкой производственной линии, чтобы проанализировать, как продукт будет работать в различных условиях, и какие проблемы могут возникнуть в реальном мире. Он позволяет вносить необходимые корректировки и создавать более эффективный продукт. В результате цифровой двойник реального продукта помогает уменьшить производственные затраты при его выходе на рынок.

– «Цифровой двойник» процесса – это модели, имитирующие производственные процессы. Виртуальный производственный процесс может создать различные сценарии и

показать то, что произойдет при различных ситуациях. Это позволяет компании разрабатывать наиболее эффективную методику производства. Процесс можно оптимизировать с помощью виртуальных двойников продукта для каждой части оборудования. Таким образом, предприятие сможет выполнять профилактическое обслуживание, избегая дорогостоящих простоев. Производство станет безопаснее, быстрее и эффективнее.

– «Цифровой двойник» системы – это виртуальные модели всей системы целиком (например, завода или фабрики). Они собирают огромные объемы операционных данных, производимых устройствами и продуктами в системе, получают представление и создают новые бизнес-возможности для оптимизации всех процессов.

Процесс функционирования ЦП «Фабрика цифровых двойников» необходимо организовать таким образом, чтобы создание и валидация «цифровых двойников» выполнялась без привлечения внутренних ресурсов ПАО «Газпром» либо в минимально достаточном для организации процесса объеме.

На организационном уровне возможно применение следующих инструментов:

1. Реализация совместных с ключевыми для ПАО «Газпром» производителями/поставщиками товаров и услуг, опорными ВУЗами цифровых лабораторий;
2. Организация и проведение совместно с партнерами конкурсов по моделированию, хакатонов и летних научно-технических лагерей для студентов и экспертов.

На технологическом уровне возможно применение принципов распределенных вычислений, а именно, применение:

– Fog computing (edge computing) – перенос вычислительных мощностей на конечную точку, т.е. построение распределенного вычислительного комплекса ЦП «Фабрика цифровых двойников» с клиентской частью (агентами), выполняющими часть вычислительных задач в соответствии с потребностями пользователя при создании конкретной пользовательской модели.

– Distributed computing (торренты) — предоставление вычислительной мощности пользовательского персонального компьютера для выполнения распределенных вычислений сторонних относительно пользователя задач. Бизнес-модель, мотивирующая предоставление собственных вычислительных ресурсов, может быть построена на принципе «токеномики» (учение об экономике токенов, которая состоит из набора правил, регулирующих запуск и предложение криптовалюты. Токеномика, сокращение от «экономики токенов», - это зонтичный термин, используемый энтузиастами криптовалют для описания того, как токен используется внутри экосистемы проекта, или того, какую денежную политику будет проводить эмитент по мере роста развития проекта с течением времени).

2. Инструменты открытых инноваций во внутреннем контуре проекта

Принимая во внимание большую вариативность типов объекта испытаний (продукт, процесс, система) необходимо обеспечить гибкость инфраструктуры цифрового испытательного полигона для реализации принципа минимально функциональной полноты и экономической достаточности.

С этой целью предлагается реализация внутренней инфраструктуры цифрового испытательного полигона по принципу внутрикорпоративной технологии sharing economy (экономики по требованию), то есть сборка (формирование) цифрового испытательного

стенда, включая команду исполнителей, непосредственно для каждого конкретного испытания на внутреннем «маркете» ресурсов и применения проектного подхода.

Таким образом целесообразно обеспечить формирование цифрового испытательного стенда индивидуально для каждого конкретного испытания, путем комплектования необходимых для проведения цифровых ОПИ компонентов:

- программных инструментов (микросервисов);
- аппаратных вычислительных ресурсов (по технологии IaaS);
- необходимых и достаточных экземпляров данных (витрина данных);
- информационных моделей;
- цифровых методик (алгоритмов);
- проектной команды специалистов.

Список литературы

1. ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.
2. ГОСТ Р 57700.37-2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения.
3. Управление инновационными проектами: учебник / И. Л. Туккель, А. В. Сурина, Н. Б. Культин / Под ред. И. Л. Туккеля. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 416 с.
4. Кокорев Д.С., Юрин А.А., ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ: ПОНЯТИЕ, ТИПЫ И ПРЕИМУЩЕСТВА ДЛЯ БИЗНЕСА «Colloquium-journal» #10(34), 2019 / TECHNICAL SCIENCE.
5. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®, URL: https://cml-bench.ru/ (дата обращения 18.04.2024)
6. Токеномика Definition | CoinMarketCap, URL: https://coinmarketcap.com/academy/ru/glossary/tokenomics (дата обращения 18.04.2024)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПАНИИ

СУХИНИН В.Д.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. Статья посвящена теме моделирования бизнес-процессов в компаниях строительной сферы и важности данного метода управления для компаний данной сферы. Помимо этого, в статье рассматривается пример моделирования ключевого бизнес-процесса любой строительной компании – реализация проекта возведения сооружения. Цель данной работы показать важность и возможности моделирования процессов в строительных компаниях.

Ключевые слова. Строительство, бизнес-процессы, моделирование, строительные компании, UML, BPMN

Моделирование бизнес-процессов строительной организации помогает описать и показать все процессы управления системой с нужным уровнем детализации. Это способствует поддержанию общего понимания структуры организации, координации операционной деятельности, а также планированию и внедрению стратегических и тактических изменений в организации.

Строительство состоит из огромного количества различных процессов, от организации непосредственно строительных работ и до логистики поставок материалов[1]. В зависимости от размера и направления деятельности компании может меняться набор

процессов, функционирующих внутри компании. Но все эти бизнес-процессы необходимо контролировать и отслеживать, поэтому для строительных организаций моделирование бизнес-процессов существенно может помочь оценить значение функциональных характеристик моделируемой системы и выявить ее слабые места.

Бизнес-процесс – это последовательность взаимосвязанных действий, которые выполняются в рамках организации для достижения определенной цели или результата[2]. Бизнес-процессы представляют собой специфические операции, которые выполняются с использованием определенных ресурсов (людей, технологий, информации и других) и включают в себя определенные шаги и этапы.

Моделирование бизнес-процессов – это процесс создания абстрактных или формализованных моделей, которые отображают последовательность действий, ресурсы, информацию и взаимосвязи между различными элементами бизнес-процесса[3]. Цель моделирования бизнес-процессов состоит в том, чтобы понять, анализировать и оптимизировать текущие процессы в организации.

Для моделирования бизнес-процессов существует множество различных методологий, например BPMN (Business Process Model and Notation), EPC (Event-driven Process Chain), UML (Unified Modeling Language) и другие[4]. Каждый из них имеет свои особенности и подходит для определенных целей моделирования бизнес-процессов.

Вышеупомянутые методологии играют ключевую роль в улучшении управления. Они представляют собой инструменты, которые помогают предприятию повысить эффективность управления, что способствует его развитию и совершенствованию. Эти методологии помогают определить уровень развития текущей структуры, разрабатываемых проектов и плановых мероприятий.

Именно поэтому использование моделирования бизнес-процессов внутри строительных компаний так важно и полезно для компаний. Это помогает лучше понять, как работает организация и какие существуют внутри неё «узкие места». Такая практика часто применяется в огромных строительный корпорациях, где всегда необходимо понимать, в каком состоянии находятся разные процессы.

Самым главным процессом внутри любой компании, относящейся к строительной отрасли, считается реализация проекта, касающегося возведения сооружения. Тут стоит отметить, что такие проекты могут быть разных уровней в зависимости от направленности компании, так как помимо организаций, которые занимаются непосредственно возведением сооружения, есть и те, которые разрабатывают проекты, планы и чертежи, например, архитектурно реставрационные мастерские.

У этих компаний самый главный процесс будет происходить примерно одинаково, но будет иметь разную протяженность и конечный результат. Но именно, начиная с моделирования основного бизнес-процесса, можно опускаться на уровни ниже и рассматривать более глубокие процессы. Поэтому для корректного погружения в процессы компании необходимо корректно отображать главный из них.

Так что в данной работе на рисунке 1 визуально был изображен процесс реализации проекта строительной компанией. В нем были отражены основные части данного бизнес-процесса.

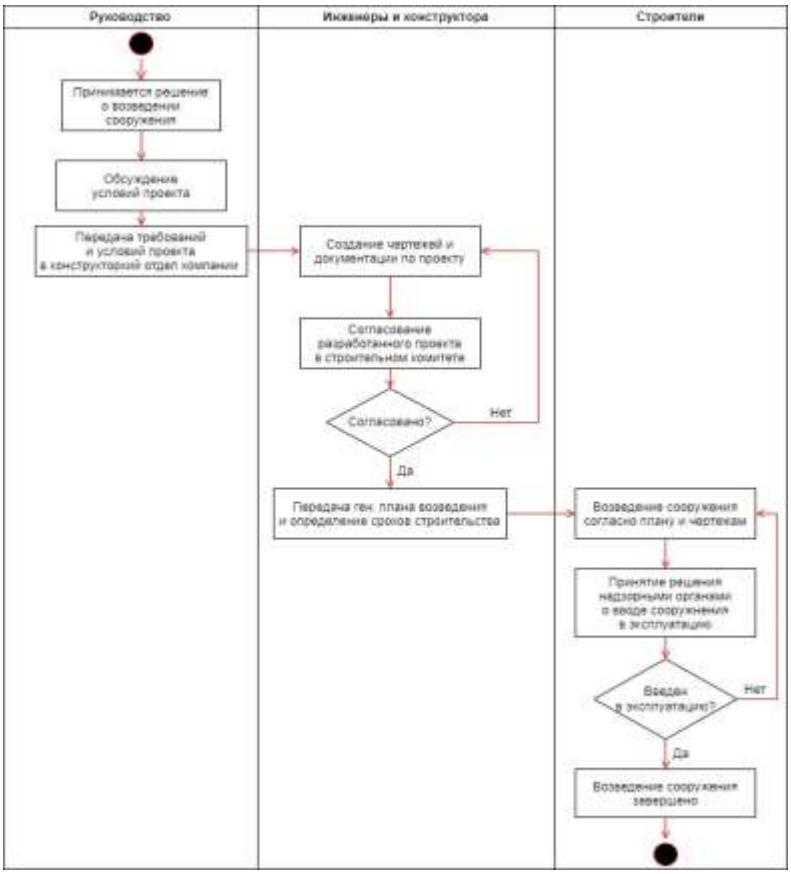


Рисунок 1 – Процесс возведения сооружения в строительной компании

Такое моделирование полезно для управления системами компании, так как, опираясь на основной процесс можно лучше понять, как сделать работу компании эффективнее. Уже по данной модели можно понять, на какие процессы 2-ого можно разделить каждое из действий или частей процесса.

Среди таких процессов второго можно выделить следующие:

- Обсуждение и согласование проекта с заказчиками;
- разработка генерального плана работ;
- согласование плана, чертежей и условий проекта с государственными органами;
- организация строительных работ;
- организация поставок необходимых строительных материалов, инструментов и тд;
- прохождение необходимых согласований для сдачи сооружения в эксплуатацию;
- ввод объекта в эксплуатацию.

И каждый из представленных процессов можно поделить на ещё более мелкие. Поэтому для качественного управления компанией и совершенствования её бизнес-процессов необходимо использовать современные инструменты моделирования бизнес-процессов.

Список литературы.

1. Иванов, А. Д. Инновационный менеджмент строительных компаний (стратегия компании) / А. Д. Иванов // Экономическая наука-основополагающая дисциплина всеобщего развития: Сборник материалов III Международной научно-практической конференции, Кемерово, 26 апреля 2017 года / Западно-Сибирский

научный центр. – Кемерово: Общество с ограниченной ответственностью "Западно-Сибирский научный центр", 2017. – С. 61-63. – EDN YQELDB.
2. Соловьева, О. В. Основные бизнес-процессы. Виды бизнес-процессов / О. В. Соловьева // Тенденции развития науки: инновационный подход : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Кемерово, 31 октября 2019 года. – Кемерово: Общество с ограниченной ответственностью "Западно-Сибирский научный центр", 2019. – С. 239-241. – EDN NGKYWN.
3. Замятина, О. М. Метод моделирования и комплексного анализа бизнес-процессов / О. М. Замятина // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308, № 6. – С. 180-186.
4. Левданская, В. И. Тенденции в развитии методологий моделирования бизнес-процессов / В. И. Левданская // Развитие финансового рынка и предпринимательских структур в современных условиях : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Волгоград, 01 декабря 2023 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 591-595. – EDN KMAERY.

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБРАЗ ПАЦИЕНТА В КОНТЕКСТЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

ЧЕШУИНА Е.Ю.

ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. Данная статья рассматривает роль информационного образа пациента в современном здравоохранении. Также рассматриваются современные технологии для сбора и анализа информации о пациентах, включая электронные медицинские записи, мобильные приложения и системы аналитики данных. Кроме того, статья подчеркивает важность профессионального взаимодействия между врачами и пациентами, а также необходимость обучения медицинского персонала навыкам работы с информацией о пациентах. Акцентировано внимание на значимости информационного образа пациента для повышения качества и эффективности здравоохранения.

Ключевые слова: информационный образ пациента, медицинский сервис, цифровой двойник.

Сегодняшнее здравоохранение в мире стремиться взять вектор на индивидуальный подход к пациенту, при этом информационный образ пациента является ключевым элементом этого процесса. Медицинская индустрия старается улучшить качество и эффективность предоставляемых услуг, понимание, сбор и использование информации о пациентах становится все большим приоритетом. В статье будет рассмотрена роль возможностей информационного образа пациента в здравоохранении сегодняшнего дня и технологии для его улучшения.

Информационный образ пациента – это комплексная концепция, которая охватывает медицинскую историю, биологические данные, предпочтения и цели здоровья каждого человека. Обсуждение этого способа позволяет получить персонализированное обслуживание с учетом уникальных особенностей каждого пациента. Кроме того, важно знать всю историю болезней пациента, аллергии, генетические особенности и реакции на лекарства, все это позволит подобрать оптимальное лечение.

Чтобы получить всестороннее представление о пациенте, медицинские организации должны начать с цифрового образа клиента, который является важной основой для предоставления омниканального персонализированного медицинского обслуживания.

Цифровой медицинский образ позволит врачам и пациентам лучше понимать друг друга, а также снять нагрузку с медицинских работников. Благодаря ему, можно будет исключить дублирование медицинских назначений и услуг.

Формирование цифрового медицинского образа, прежде всего, заключается в том, что человек может хранить свои медицинские документы - результаты обследований, медкарту, назначения врачей, медицинский полис – в электронном виде в Единой государственной информационной системе здравоохранения (ЕГИСЗ) и через личный кабинет на портале госуслуг самостоятельно предоставлять доступ к ним любому врачу в любой клинике – частной или государственной. [1]

Для создания реализации цифрового медицинского образа существуют четыре основных требования:

- Больницы и медицинские учреждения должны быть в достаточной степени подключены к цифровым сетям.
- Данные должны быть структурированы и аннотированы.
- Пациенты должны иметь возможность в любой момент принять решение об использовании своих данных.
- Медицинские работники должны иметь доступ к информации, обрабатываемой в цифровом двойнике пациента, и иметь возможность использовать этот цифровой интерфейс в повседневной клинической практике.

Технология цифрового образа пациента может значительно улучшить уход за пациентами за счет интеграции данных в реальном времени, расширенной аналитики и персонализированной информации. Анализируя данные пациентов и симптомы, цифровые образы могут моделировать различные диагностические сценарии, помогая в дифференциальной диагностике и выявлении закономерностей, которые могут быть упущены только с помощью традиционных диагностических методов. Это повышает точность диагностики, уменьшает количество ошибок и обеспечивает более раннее вмешательство, что приводит к более эффективному и целенаправленному лечению.

Это жизненно важно, например, в диагностики онкологических заболеваний, где моделирование заболеваний может помочь предсказать рост опухоли в ответ на лечение. Цифровые двойники также используются для планирования хирургического вмешательства, чтобы хирурги могли виртуально посмотреть анатомию пациента перед выполнением сложной процедуры.

Технологии для сбора и анализа информации о пациентах.

Современные информационные технологии играют решающую роль в сборе, хранении и анализе информации о пациентах. Электронные медицинские записи позволяют врачам быстро получать доступ к истории болезни и результатам обследований, а также делиться этой информацией с другими специалистами для консультаций и совместной работы. Это также повышает безопасность пациента, уменьшая риск ошибок при передаче информации между медицинскими работниками.

Мобильные приложения и устройства для самомониторинга здоровья становятся все более распространенными среди пациентов. Они позволяют отслеживать показатели здоровья, такие как уровень физической активности, сердечный ритм, уровень глюкозы в крови и давление, и делиться этой информацией с врачами для более точного диагноза и лечения.

Как показано на рисунке 1, цифровой образ соответствует физическому пациенту. Некоторые элементы, например, интеллектуальные устройства, такие как умные часы, напрямую взаимодействуют с человеком и используются в целях прямого мониторинга. Другие, такие как лабораторные исследования, могут быть не связаны напрямую, но все собранные данные документируются как часть соответствующего цифрового образа и,

следовательно, имеют косвенную связь, которая может повторно использовать данные. Такие концепции, как цифровой образ направлены на объединение аспектов мониторинга, моделей искусственного интеллекта и моделирования в единый цифровой актив, который обеспечивает лучшую взаимосвязь и совместимость между датчиками и системами, аналогично концепции цифровых двойников в Индустрии 4.0. [3]

Цифровое здравоохранение вызывает все больший интерес как у врачей и пациентов, так и у ИТ-компаний, разработчиков цифрового медицинского оборудования и проектировщиков «умных клиник». Это обещает потенциал более эффективного и устойчивого вовлечения пациентов в уход за ними до, во время и после посещения отделения неотложной помощи.

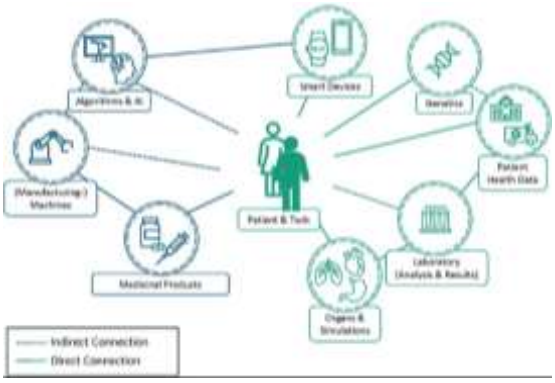


Рис. 1. Схема цифрового образа пациента

Подобные технологии используются при создании медицинских информационных систем, предназначенных для сопровождения пациента.

Единый образ пациента повышает вовлеченность человека, поскольку он может видеть и понимать всю свою информацию в одном месте.

Информационный образ пациента играет ключевую роль в современном здравоохранении, определяя качество и эффективность медицинского обслуживания. Понимание медицинской истории, социальной среды и предпочтений каждого пациента позволяет врачам предоставлять персонализированное лечение, учитывая индивидуальные особенности каждого человека.

Успех в этой области невозможен без профессионального взаимодействия между врачами и пациентами, а также постоянного обучения медицинского персонала новым навыкам и технологиям. Врачи должны научиться эффективно общаться с пациентами, учитывая их потребности и предпочтения, чтобы обеспечить наилучшее качество здравоохранения.

Развитие информационного образа пациента является фактором для совершенствования здравоохранения и достижения его главной цели – улучшения здоровья и благополучия общества.

Список литературы

1. Цифровой медицинский профиль гражданина РФ / [Электронный ресурс] // Здрав.Эксперт : [сайт]. — URL: https://zdrav.expert/a/763053 (дата обращения: 06.04.2024).

2. Venkatesh KP, Raza MM, Kvedar JC. Health digital twins as tools for precision medicine: Considerations for computation, implementation, and regulation. NPJ Digit Med. 2022 Sep 22;5(1):150.

3. Fischer RP, Volpert A, Antonino P, Ahrens TD. Digital patient twins for personalized therapeutics and pharmaceutical manufacturing. Front Digit Health. 2024 Jan 5;5:1302338.

ПЛАТФОРМА NVIDIA OMNIVERSE – СРЕДА РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Шаталов В.Р.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. Статья рассматривает платформу NVIDIA Omniverse как среду разработки цифровых двойников, предназначенную для создания и управления крупномасштабными виртуальными мирами и промышленными цифровыми двойниками. Анализируются ключевые возможности платформы, включая полную визуализацию, физическое моделирование, интерактивность, совместную работу и интеграцию с реальными данными. Приводятся примеры использования цифровых двойников в различных отраслях, таких как промышленность, автомобилестроение, энергетика и научные исследования. Обсуждаются перспективы развития платформы и её роль в формировании будущего цифровых двойников.

Ключевые слова: цифровые двойники, NVIDIA Omniverse, Universal Scene Description (USD), виртуальные миры, моделирование, интерактивность, совместная работа, промышленность, автомобилестроение, энергетика, научные исследования.

Глобальная тенденция цифровизации проникла во все сферы жизни, и одним из её проявлений стало создание цифровых копий объектов реального мира, известных как цифровые двойники. Цифровой двойник – это виртуальное представление объекта или системы, точно отражающее характеристики и поведение своего физического аналога [3]. Он охватывает весь жизненный цикл объекта, обновляется на основе данных в режиме реального времени и использует моделирование, машинное обучение и логический вывод для принятия решений. Цифровые двойники позволяют предсказывать реальные показатели, выявлять потенциальные проблемы и оптимизировать процессы, что делает их ценным инструментом для различных отраслей.

В 2020 году, американская компания NVIDA, которая известна благодаря своим высокотехнологичным графическим процессорам, представила свою новую инновационную разработку – Omniverse. NVIDIA Omniverse – это расширяемая платформа, которая содержит в себе набор API, SDK и сервисов, которые позволяют разработчикам легко интегрировать технологии, основанные на Universal Scene Description (USD), предназначенная для создания и управления приложениями метавселенной, включая крупномасштабные виртуальные миры и промышленные цифровые двойники [1]. Она обеспечивает возможность визуализации данных в реальном времени с физической точностью, что является ключевым элементом при разработке цифровых двойников [7].

К ключевым возможностям Omniverse относятся:

Визуализация и физическая точность: Omniverse обеспечивает возможность визуализации данных в реальном времени с физической точностью, что является основой для разработки цифровых двойников [5].

Связь с реальным миром: Платформа позволяет подключать виртуальные 3D модели к реальным объектам с помощью датчиков IoT и других потоков данных в реальном времени, что создает синхронизированный цифровой двойник [5].

Индивидуальные инструменты: Omniverse предоставляет возможность разработки индивидуальных инструментов и расширения 3D рабочих процессов для поддержки уникальных потребностей организаций в области цифровых двойников [5].

Обучение и тренировка: Платформа позволяет использовать различные инструменты для импорта и создания моделей для симуляций и обучения в области искусственного интеллекта [5].

Облачные возможности: Omniverse Cloud представляет собой инфраструктуру как сервис, которая соединяет приложения Omniverse, работающие в облаке, на месте или на периферийных устройствах [5].

USD, изначально разработанный Pixar Animation Studios, является открытым и расширяемым фреймворком для описания 3D-мира. Его преимущества:

- USD позволяет командам совместно выполнять итерации, не затрагивая исходные данные.
- USD поддерживает различные модели хранения данных, что позволяет использовать разрозненные источники данных.
- USD поддерживает пользовательские средства визуализации, обеспечивая универсальность в конвейере визуализации данных.

Omniverse успешно используется в различных отраслях для создания и управления цифровыми двойниками. В энергетике Omniverse используется Siemens Gamesa Renewable Energy для оптимизации конфигураций ветряных электростанций, что позволяет им максимизировать производство энергии и снизить свои затраты [4]. Siemens Energy использует Omniverse для прогнозирования коррозии, что позволяет сократить затраты и время за счёт уменьшения количества проверок и простоев [6].

Управление Ядерной Энергией Соединенного Королевства (UKAEA) и Манчестерский университет создают цифровой двойник термоядерного реактора в Omniverse, что позволяет визуализировать конструкцию всей машины и работать совместно [6].

В автомобильной промышленности платформу применяют BMW Group для создания цифрового двойника своего завода, что помогает оптимизировать производственные процессы и повысить эффективность.

Рис. 1. Пример использования цифрового двойника на производстве BMW

В том числе Omniverse уже применяется в розничной торговле компаниями PepsiCo и Amazon для оптимизации хранения и логистики их товаров в складских помещениях.

Omniverse предоставляет уникальные возможности для моделирования обширных виртуальных сред:

Городские ландшафты: Omniverse позволяет моделировать детализированные городские ландшафты для тестирования транспортных систем и планирования градостроительства.

Промышленные объекты: Omniverse позволяет моделировать и управлять заводами, складами и производственными линиями, что помогает оптимизировать производственные процессы.

Виртуальные миры для игр: Разработчики игр могут использовать Omniverse для создания масштабных виртуальных миров с разнообразными ландшафтами, персонажами и эффектами.

Крупные инфраструктурные проекты: Omniverse может быть использован для моделирования крупных инфраструктурных проектов, таких как строительство мостов, тоннелей и аэропортов.

Платформа от NVIDIA также применяется для создания железнодорожных путей в германии. Таким образом, сотрудничество Digitale Schiene Deutschland (DSD) и NVIDIA демонстрирует впечатляющий пример применения цифровых двойников для оптимизации крупномасштабных инфраструктурных проектов, где DSD стремится увеличить пропускную способность железнодорожной сети Германии и автоматизировать движение поездов без необходимости строительства новых путей. Для достижения этой цели они создают цифровой двойник всей сети с помощью платформы NVIDIA Omniverse. Этот цифровой двойник, являясь фотореалистичной и физически точной виртуальной копией всей железнодорожной сети, включая детализированные модели станций, путей и окружающей среды, позволяет DSD разрабатывать системы восприятия и предотвращения инцидентов. Обучая ИИ-модели на синтетических и реальных данных, DSD может создавать системы, которые автоматически обнаруживают и реагируют на потенциальные опасности, такие как препятствия на путях или неисправности оборудования. Цифровой двойник также позволяет оптимизировать маршруты и расписание движения поездов, моделируя различные сценарии и определяя оптимальные маршруты и расписание для повышения эффективности и пропускной способности сети.

Для сравнения можно привести аналогичный пример цифрового двойника, который используется российской компанией и который не отстаёт в технологическом развитии. В ОАО «РЖД» цифровые двойники применяются для оптимизации и повышения эффективности перевозочного процесса, роста безопасности движения. Цифровые двойники помогают прогнозировать загрузку железнодорожных путей, определять оптимальные маршруты, рассчитывать стоимость эксплуатации подвижного состава и путевого оборудования и выработать оптимальные режимы эксплуатации всей транспортной сети. Проекты в которых непосредственно применяются цифровые двойники у РЖД:

«Доверенная среда локомотивного комплекса» – Цифровая платформа для сбора, хранения информации и взаимодействия участников проекта, обеспечивающих работу тягового подвижного состава.

«Умный локомотив» – Комплекс систем предиктивной аналитики с применением технологий искусственного интеллекта, нейронных сетей, интернета вещей, анализа больших данных, цифровых двойников. Дает возможность оценивать и прогнозировать состояние узлов и агрегатов локомотива, отслеживать аномалии и автоматически выводить информацию о состоянии оборудования.

Omniverse продолжает развиваться, предлагая новые инструменты и возможности для создания и управления цифровыми двойниками. В будущем можно ожидать следующего:

Увеличение функциональности: NVIDIA продолжит расширять возможности Omniverse, включая интеграцию с различными инструментами и расширениями.

Развитие собственных инструментов: Платформа Omniverse предоставляет возможность разработки собственных инструментов и приложений для поддержки инициатив по созданию цифровых двойников.

Повышение доступности: NVIDIA стремится сделать Omniverse более доступным для широкого круга пользователей, предлагая облачные решения и бесплатные пробные версии.

Omniverse играет ключевую роль в развитии цифровых двойников, предоставляя организациям инструменты для создания, анализа и оптимизации виртуальных миров и промышленных процессов. Это способствует улучшению операционной эффективности, ускорению инноваций и принятию более обоснованных решений.

Список литературы:

1. NVIDIA Omniverse / [Электронный ресурс] // nvidia.com : [сайт]. — URL: https://www.nvidia.com/ru-ru/omniverse/ (дата обращения: 10.04.2024).
2. Universal Scene Description (USD) / [Электронный ресурс] // nvidia.com : [сайт]. — URL: https://www.nvidia.com/ru-ru/omniverse/usd/ (дата обращения: 20.04.2024).
3. What is a digital twin? / [Электронный ресурс] // ibm.com : [сайт]. — URL: https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin (дата обращения: 27.04.2024).
4. Maximizing Wind Energy Production Using Wake Optimization / [Электронный ресурс] // resources.nvidia.com : [сайт]. — URL: https://resources.nvidia.com/en-us-omniverse-industrial-digital-twins/maximize-wind-energy?lx=deNrXD (дата обращения: 27.04.2024).
5.5 Steps to Get Started with Digital Twins / [Электронный ресурс] // resources.nvidia.com : [сайт]. — URL: https://resources.nvidia.com/en-us-omniverse-industrial-digital-twins/omniverse-enterprise-5-steps?lx=deNrXD (дата обращения: 28.04.2024).
6.Digital Twins / [Электронный ресурс] // nvidia.com : [сайт]. — URL: https://www.nvidia.com/en-us/omniverse/solutions/digital-twins/ (дата обращения: 03.05.2024).
7. Редакция RZDDigital.ru Цифровые двойники / Редакция RZDDigital.ru [Электронный ресурс] // РЖД цифровой : [сайт]. — URL: https://rzddigital.ru/technology/tsifrovye-dvoyniki/ (дата обращения: 04.05.2024).

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА СТАНКА ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕСУРСОВ

Шевченко А. А.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В данной работе рассматривается цифровой двойник как часть производственной системы для мониторинга процессов в реальном времени и сбора данных оборудования. На основе этих данных производится анализ текущих процессов, прогнозирование и планирование будущих процессов и ресурсов для них. Цифровые двойники позволяют благодаря постоянному циклу улучшения оперативно эффективно решать задачи различных уровней производства и принимать решения для повышения эффективности использования ресурсов. Также цифровой двойник применяется для автоматизированного накопления и хранения статистики производства.

Ключевые слова: цифровой двойник, производственный процесс, лазерная резка, листовой металл

Концепция цифрового двойника оборудования

В задачах эксплуатации применение цифровых двойников позволяет не только узнать текущее состояние объекта и изменить его, но также моделировать дальнейшую эксплуатацию для прогнозирования изменений состояния объекта во время использования с высокой точностью, что позволяет планировать использование ресурсов предприятия [5].

На этапе эксплуатации оборудования применяется цифровой двойник-экземпляр (Digital Twin Instance, DTI), который основывается на двойнике-прототипе (Digital Twin Prototype, DTP) - виртуальной модели объекта, которая содержит информацию для создания физической версии этого объекта. Этот двойник работает одновременно с физическим объектом, копией которого является [1].

Структура цифрового двойника

Задачи, решаемые цифровым двойником, относятся к разным уровням производства:

- уровень физических процессов обработки материалов – задачи выбора оптимальных режимов работы оборудования (мощность лазерного луча, газ резки, диаметр линзы, фокальное расстояние);
- уровень технологического оборудования – задачи управления скоростью и положением инструмента; прохождения заданной траектории в соответствии с требуемым контуром;
- уровень организационного управления – задачи планирования и логистики;
- уровень промышленных исследований – задачи анализа точности и стабильности процессов с целью их улучшения, анализ тенденций путём применения статистических методов. Эти задачи возможно решить эффективно при применении цифрового двойника производственного процесса.

Интеграция данных этих уровней позволяет наиболее полно рассматривать производство и происходящие на нём процессы. Эта иерархия данных отражается и в цифровом двойнике: на данных физических процессов производится расчёт оптимальных режимов работы оборудования; на данных об оборудовании основывается планирование производства и прогнозирование, например, использования ресурсов; анализ и улучшение производственного процесса производится на совокупности описанных данных..

Физические процессы

Лазерная резка металла благодаря отсутствию механического воздействия позволяет обрабатывать на высокой скорости тонкие листы металла, избегая деформаций. Важной особенностью лазерной резки является то, что сложность контура и его форма не влияют на скорость резки.

В основном, на производствах режут лазером листы из стали (углеродистой и нержавеющей), алюминия и его сплавов, меди и латуни [2]. Металл разрезается лазерным лучом, формируемым резонатором, который производит усиленное электромагнитное излучение.

В процессе резки луч фокусируется собирающей линзой, находящейся на требуемом расстоянии от поверхности листа. Для сохранения настроенной фокусировки необходимо, чтобы длина лазерного луча была постоянной, для этого предусмотрены компенсирующие зеркала [3].

Моделирование уровня физических процессов

На данном уровне знания о физических основах и особенностях процесса позволяют выбрать оптимальный режим лазерной резки. Для подбора режима необходимо знать используемый материал и его толщину, остальные параметры определяются: газ среды, мощность лазера, положение точки фокуса и расстояние сопла от поверхности, диаметр лазерного луча в точке фокуса (определяет толщину разреза), скорость резки, давление газа резки.

Рассмотренные физические данные лежат в основе принципа работы, построения и эксплуатации оборудования. Их анализ позволяет планировать ресурсы предприятия.

Технологическое оборудование лазерной резки

В станках лазерной резки автоматизированные системы приводов обеспечивают следующие движения:

1. Перемещение компенсирующего зеркала.
2. Перемещение каретки по оси Y.
3. Перемещение режущей головки по оси Z.
4. Выезд и въезд стола и движение конвейера для сбора мелких обрезков.
5. Перемещение моста по оси X.

Параметры электродвигателей [4], учтённые в модели, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры электродвигателей станка LVD Impuls 6 кВт

Перемещение	Ход, мм	Скорость, м/мин		Режим работы	Точность	Мощность, кВт
Каретка	Ось Y: 1600	120	169	S3	± 0,025 мм	6
Мост	Ось X: 3150	120		S3		6
Режущая головка	Ось Z: 100	30		S2		0.9
Компенсирующие зеркала	Оси X и Y: 3150 и 1600 соответственно	169		S3	± 0,05 мм/мин	1.5
Стол	Ось X: 6000	30		S2		5

В цифровом двойнике в основе рассматриваемого уровня лежат математические модели электрических машин и систем их управления.

Моделирование работы оборудования

При моделировании оборудования большую роль в визуальном представлении играют 3D-модели с подвижными элементами (рис. 1). Положение подвижных объектов зависит от значения пользовательских параметров, которые предназначены для управления моделью. На основе данных о параметрах с помощью скрипта может осуществляться изменение положения подвижных объектов по трём осям, по трём углам относительно осей и по трём масштабам относительно осей, а также видимость объектом.

При выполнении скриптов происходит изменение положения подвижных элементов при перемещении к заданным точкам. Траектория движения объектов отражается на соответствующих графиках (рис. 2). На графиках изображены изменения от 0% до 100% следующих параметров: положение по оси Z окна станка, положение моста по оси X, положение каретки по оси Y, состояние лазера.

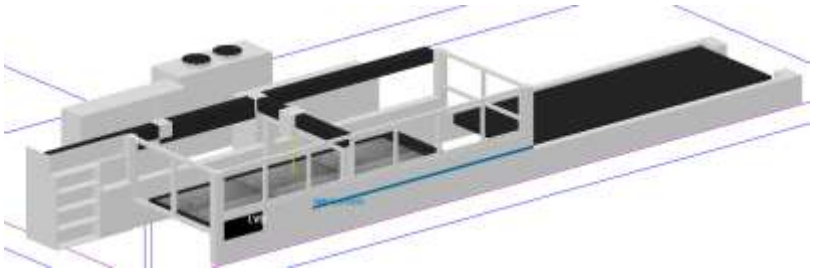


Рис. 1- 3D-модель станка лазерной резки

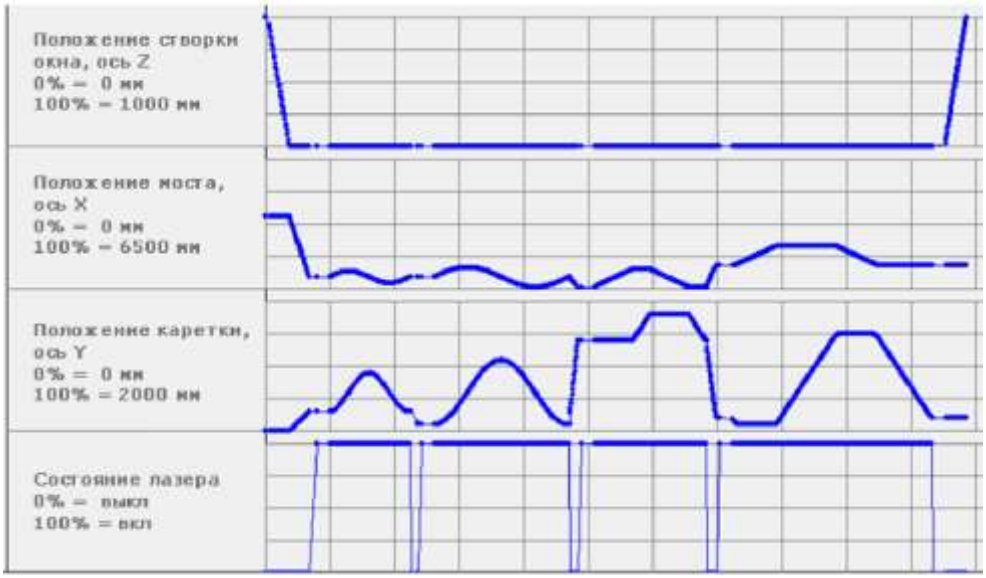


Рис. 2 – Циклограмма резки раскладки с несколькими контурами

Циклограммы позволяют делать точные выводы о траектории движения лазерной головки. Также возможно обратное действие: на основе заданных кривых сформировать траекторию движения лазерного луча и подобрать подходящие материалы и режимы.

Из совокупности рассмотренных факторов складывается время лазерной резки, её режим и себестоимость – параметры, необходимые для рассматривания лазерной резки как одного из производственных процессов.

Уровень производственного процесса и Автоматизированные системы промышленных исследований

На базе единой информационной среды предприятия осуществляется решение задач осуществления производственных процессов и работа непрерывно проводимых автоматизированных промышленных исследований, позволяющих выявлять наиболее эффективные задачи автоматизации и определять рациональную очерёдность их технической реализации: на основе данных, полученных из производства, вносятся изменения в цифровой двойник, путём применения различных методов производится исследование двойника и, исходя из анализов полученных результатов, формируются корректирующие действия, вносящие изменения в процесс производства [5].

Заключение

На данных физических процессов, таких как, формирование лазерного луча и принцип работы и построения электрических машин, основывается работа оборудования и её планирование, в том числе прогнозирование отказов, также по этим данным формируется раскладка деталей на листе металла во избежание перегрева и деформации листа. В свою очередь, на оборудовании и его параметрах основывается производственный процесс, из совокупности данных о котором производятся исследования и улучшения процессов. Эта иерархия данных отражается и в цифровом двойнике: на данных физических процессов производится расчёт оптимальных режимов работы оборудования; на данных об оборудовании основывается планирование производства и прогнозирование, например, использования ресурсов.

Совокупность данных об используемых материалах и станках для лазерной резки, статистика прошлых заказов и выявленные на них тенденции позволяют планировать ресурсы и время предприятия при поступлении новых заказов. Также анализ текущих процессов позволяет оптимизировать производство, например, объединяя изделия из одного материала в одну раскладку.

Таким образом, цифровой двойник решает следующие задачи [6]:

- мониторинг производственных процессов в реальном времени, сбор данных;
- исследование текущих процессов;
- прогнозирование и планирование;
- повышение эффективности использования ресурсов;
- автоматизированное накопление и хранение статистики производства.

Список литературы

1. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения – М.: Российский институт стандартизации, 2021. 9 с.
2. Лазерная резка металла // metobr-expo.ru: Металлообработка. 2024. URL: https://www.metobr-expo.ru/ru/articles/lazernaya-rezka-metalla/ (дата обращения: 28.02.2024)
3. Dr. Wim Serruys. Le travail de la tôle. Etat de l’art: LVD Company, 2002. 106 p.
4. Каталог 09.2009 AXEL 2000 Eng. // LVD Laser Cutting Machines AXEL Series. URL: https://cdn.thomasnet.com/ccp/00373792/135139.pdf (дата обращения: 28.02.2024)
5. Плескунин В. И. Промышленные исследования технологических объектов и процессов управления в дискретном производстве. Системная методология, реализация и применение: дисс. док. тех. наук: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб, 1980. 391 с.
6. Ермаков С.Р., Пустошилов Д.В., Рыжанов М.В. Разработка информационной системы визуализации управления мехатронным модулем, Международный научно-исследовательский журнал № 7 (97), часть 1, 2020. с. 56-61.

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОД, АВТОМАТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОГО ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

Е.А. Агапитов, Д.Н. Пеленев

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

Аннотация. В статье представлен анализ эффективности действия защит от однофазных замыканий на землю электрической сети предприятия минерально-сырьевого комплекса компании «АО Полиметалл». Рассмотрена структура электроэнергетического комплекса предприятия, его система электроснабжения и способ заземления нейтрали. Произведен расчет емкостных токов замыкания на землю и оценка чувствительности действия защиты от ОЗЗ, выполнен анализ реального события ОЗЗ на основе полученных осциллограмм, рассмотрена эффективность мероприятий по смене существующего режима нейтрали и приведено обоснование возможности модернизации способа заземления нейтрали электрической сети предприятия минерально-сырьевого комплекса.

Ключевые слова: однофазное замыкание на землю, емкостной ток, ненаправленная токовая защиты, коэффициент чувствительности защиты, способ заземления нейтрали, высокоомное и низкоомное резистивное заземление нейтрали.

В структуре электротехнических комплексов предприятий минерально-сырьевого комплекса России большое значение имеют электроустановки среднего класса напряжения 6-35кВ, от надежной и бесперебойной работы которых зависит эффективность технологических процессов на производстве [1].

Исходя из анализа эксплуатационных данных выявлено, что электроустановки 6-35 кВ наиболее подвержены к аварийным ситуациям, связанными с однофазными замыканиями на землю (ОЗЗ), доля которых составляет 75-80% от общего числа повреждений. Режим ОЗЗ сопровождается значительными экономическими ущербами вследствие выхода из строя ответственного электрооборудования и характеризуется возникновением ситуаций, связанных с высокой опасностью поражения обслуживающего персонала электрическим током [2]. В этой связи задача обеспечения селективного и своевременного действия защит от ОЗЗ представляется актуальной.

Существуют различные способы реализации защит от ОЗЗ, многообразие которых в значительной мере определяется особенностью построения и условиями эксплуатации сетей 6-35 кВ предприятий минерально-сырьевого комплекса.

В настоящей статье рассмотрены возможности эффективной организации защиты от ОЗЗ в электрической сети 6 кВ предприятия АО «Полиметалл» – ООО «Амурский гидрометаллургический комбинат» (далее - АГМК), упрощенная схема которой представлена на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что АГМК имеет два ввода в свой энергокомплекс от ТЭЦ «Амурская», находящаяся в 6 км от ГПП АГМК. Питание осуществляется классом напряжения 35 кВ, где впоследствии происходит понижение до уровня 6 кВ. Электроснабжение потребителей предприятия осуществляется на уровне напряжения 6 кВ в сети с изолированной

нейтралью. Выявление возникающего режима ОЗЗ осуществляется с использованием неселективной защиты по напряжению нулевой последовательности, а дальнейший поиск поврежденного присоединения осуществляется путем поочередного отключения линий оперативным персоналом. Указанный подход к выявлению поврежденного присоединения представляется весьма продолжительным и трудоемким, а также сопряжен с возникновением коммутационных перенапряжений и требует рассмотрения вариантов организации селективных токовых защит.

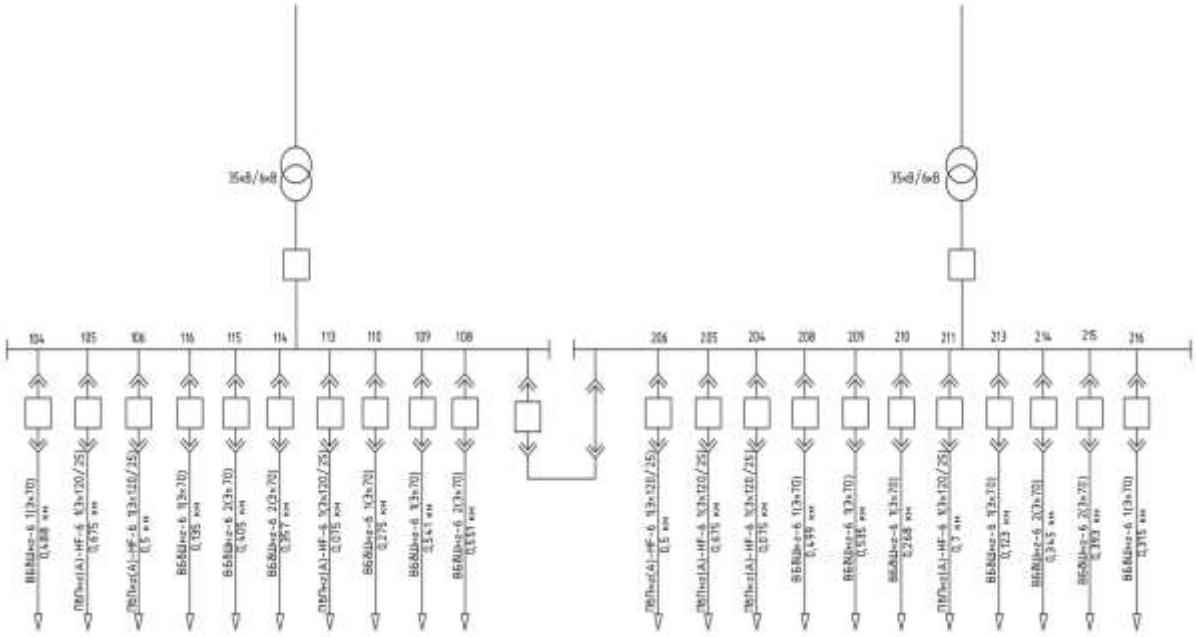


Рис. 1 Упрощенная схема электроснабжения АГМК

В целях обеспечения выявления поврежденного присоединения предложен вариант ненаправленной токовой защиты от ОЗЗ.

В соответствии с существующей методикой [1] был произведен расчет емкостных токов с целью оценки коэффициентов чувствительности токовых защит отходящих присоединений. Емкость фаз линий относительно земли определялась по следующему выражению:

$$C_{\text{л.с}} = C_{\text{уд.}} \cdot l \,,$$

где $l -$ длина линии, км; $C_{\text{уд.}}$- удельная емкость фаз линии относительно земли, $\frac{\text{мкФ}}{\text{км}}$.

В свою очередь собственный емкостной ток линии определялся по формуле:

$$I_{\text{л.с}} = 3 \cdot U_{\text{ф}} \cdot \omega \cdot C_{\text{л.с}} \,,$$

где $U_{\text{ф}}$- фазное напряжение сети, В; ω – угловая частота, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

Ток срабатывания защиты определялся по выражению:

$$I_{\text{с.з}} = k_{\text{бр}} \cdot k_{\text{н}} \cdot I_{\text{л.с}\,max} \,,$$

где $k_{\text{бр}} = 1{,}5 -$ коэффициент броска; $k_{\text{н}} = 1{,}2$ - коэффициент надежности; $I_{\text{л.с}\,max}$ – максимальный собственный емкостной ток линии секции.

Коэффициент чувствительности защиты в сети с изолированной нейтралью:

$$\text{К}_{\text{ч}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} I_{\text{л.с}} - I_{\text{л.с}\,i}}{I_{\text{с.з}}} \geq 1{,}5$$

Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета емкостных токов и коэффициентов чувствительности защиты при различных способах заземления нейтрали

Номер ячейки	Секция	Длина линии, км	С.уд мкФ/км	Сл.с	Iл.с	Iл.с. max	Iс.з	Кч с изолир.	Суммарный емкостной ток секции $I_{c\sum i}$	Кч рез.заз
104	I	0,488	0,331	0,162	0,527	1,190	2,142	2,599	6,095	3,82
105		0,675	0,418	0,282	0,921			2,415		3,70
106		0,500	0,418	0,209	0,682			2,527		3,77
116		0,135	0,331	0,045	0,146			2,777		3,94
115		0,405	0,662	0,268	0,875			2,437		3,71
114		0,357	0,662	0,236	0,771			2,485		3,74
113		0,075	0,418	0,031	0,102			2,797		3,96
110		0,275	0,331	0,091	0,297			2,706		3,89
109		0,541	0,331	0,179	0,584			2,572		3,80
108		0,551	0,662	0,365	1,190			2,290		3,62
206	II	0,500	0,418	0,209	0,682	0,955	1,719	3,182	6,150	4,72
205		0,675	0,418	0,282	0,921			3,043		4,63
204		0,075	0,418	0,031	0,102			3,519		4,96
208		0,499	0,331	0,165	0,539			3,265		4,78
209		0,535	0,331	0,177	0,578			3,242		4,76
210		0,268	0,331	0,089	0,289			3,410		4,88
211		0,700	0,418	0,293	0,955			3,023		4,62
213		0,123	0,331	0,041	0,344			3,378		4,86
214		0,345	0,662	0,228	0,745			3,145		4,70
215		0,393	0,662	0,260	0,849			3,085		4,66
216		0,135	0,331	0,045	0,146			3,494		4,94

Из табл. 1 видно, что коэффициент чувствительности ненаправленных токовых защит отходящих присоединений в сети с изолированной нейтралью удовлетворяет установленным требованиям, что свидетельствует о возможности селективной и устойчивой работе защиты в сети 6 кВ предприятия АГМК. Однако несмотря на это, в целях обеспечения надежного действия защит в режимах замыканий через переходные сопротивления, а также минимизации последствий режима ОЗЗ для сети предлагается модернизация ГПП АГМК, которая предусматривает замену изолированной нейтрали на резистивную нейтраль путем заземления через высокоомный или низкоомный резистор.

Отличие двух способов в том, что они имеют разный принцип настройки относительно суммарного емкостного тока сети и, как следствие, обладают разным эффектом для энергокомплекса предприятия [3].

Заземление через высокоомный резистор предполагает выполнение условия:

$$I_R \approx I_{c\sum n}$$

Заземление через низкоомный резистор предполагает выполнение условия:

$$4 \cdot I_R \approx I_{c\sum n}$$

Исходя из того, что на АГМК вся нагрузка по секциям распределена примерно одинаково, то величина тока, создаваемого резистором, будет составлять 6 А. Основным параметром анализа эффективности предлагаемого решения по модернизации системы заземления нейтрали будет являться оценка изменения коэффициента чувствительности защиты, который в сети с резистивным заземлением нейтрали определяется по выражению:

$$\text{К}_\text{ч} = \frac{\sqrt{\left(I_{c\sum i} - I_{\text{л.с}}\right) + I_R^2}}{I_{\text{с.з}}},$$

где $I_R = 6$ А $-$ ток резистивного заземления;

$I_{c\sum i} -$ суммарный емкостной ток на секции.

Из сопоставления соответствующих значений, представленных в таблице 1, коэффициент чувствительности после модернизации имеет большее значение, чем в сети с изолированной нейтралью, что обеспечивает более надежные условия работоспособности защиты от ОЗЗ.

Вместе с тем, анализ осциллограмм реальных аварийных событий, полученных с предприятия АГМК, свидетельствует о том, что несмотря на высокие значения коэффициентов чувствительности защита оказывается неработоспособной в режимах замыкания на землю через переходное сопротивление в месте повреждения. В этой связи, представляется целесообразным выполнить сравнение двух вариантов заземления нейтрали сети (высокоомного и низкоомного) в зависимости от переходного сопротивления при аварийных режимах, произошедших на предприятии.

Для этого необходимо определить коэффициент неполноты замыкания на землю:

$$n = \frac{U_0}{U_{\text{фазн.}}},$$

где $U_0 -$ напряжение нулевой последовательности;
$U_{\text{фазн.}} -$ фазное напряжение сети;

Значение переходного сопротивления:

$$R_\text{п} = \frac{1}{n \cdot 3 \cdot \omega \cdot \text{С}_{\sum i}}$$

Фактический коэффициент чувствительности защиты при ОЗЗ через переходное сопротивление:

$$\text{К}_\text{ч}^* = \text{К}_\text{ч} \cdot n$$

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента чувствительности защиты от переходного сопротивления в месте ОЗЗ при различных способах заземления нейтрали.

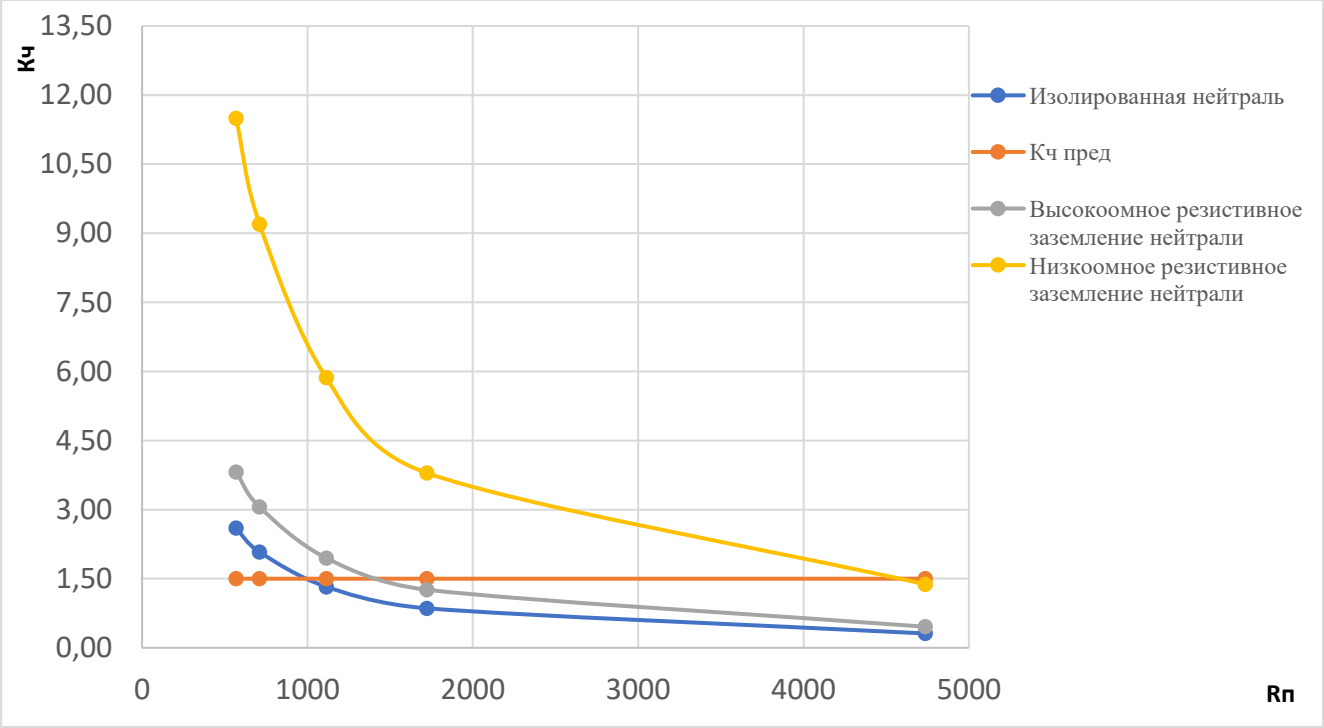


Рис. 2. Зависимость коэффициента чувствительности защиты от переходного сопротивления в месте ОЗЗ при различных способах заземления нейтрали для ячейки 114.

Из рис. 2 следует, что при одном и том же переходном сопротивлении в месте ОЗЗ в сетях с разным режимом нейтрали коэффициент чувствительности будет различным. Например, при замыкании на землю через переходное сопротивление в 1,4 кОм коэффициент чувствительности в сети с изолированной нейтралью составит 1,3, в сети высокомным заземлением нейтрали 1,5, а в сети с низкомным заземлением 4,5, что говорит об устойчивом действии защит при данном переходном сопротивлении только в сетях с резистивным заземлением нейтрали.

Опираясь на задачи предприятия и существующую в настоящий момент систему РЗА необходимо отметить, что для АГМК будет предпочтителен выбор резистивного заземления нейтрали через высокоомный резистор, так как данный режим позволяет выполнить основные функции в плане надежности и чувствительности ненаправленной токовой защиты, осуществляющей селективное выявление конкретного аварийного присоединения и последующее его отключение. Вместе с тем, защита может работать на «сигнал», не отключая поврежденное присоединение и не нарушая электроснабжение ответственных потребителей, до момента пока оперативный персонал не установит место ОЗЗ [2].

Таким образом, высокоомное резистивное заземление предполагает, что защита не будет отключать во всех случаях, имеющих разное переходное сопротивление, а будет срабатывать на «сигнал», показывая конкретный фидер, где произошло ОЗЗ. Тем самым будет обеспечиваться более длительная бесперебойная работа предприятия (до момента отыскания места ОЗЗ).

В свою очередь, низкоомное резистивное заземление предусматривает организацию работы ненаправленных токовых защит на отключение селективно выявленного поврежденного фидера, но для нужд рассматриваемого предприятия данная система будет нерациональной, так как частые отключения весьма критично могут сказываться на качестве работы АГМК.

Список литературы

1. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебное пособие / В.А. Андреев – М.: Высшая школа, 1991.-496 с.
2. Бухтояров, В.Ф. Защита от замыканий на землю электроустановок карьеров: учебное пособие / В.Ф. Бухтояров, А.М. Маврицын – М.: Недра, 1986. – 184 с.
3. Вайнштейн,Р.А. Режимы заземления нейтрали в электрических системах: учебное пособие / Р.А. Вайнштейн, Н.В. Коломиец, В.В. Шестакова. - Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 118 с.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ

И.Н. Бондарев, Р.М. Мигранов, Н.А. Доброскок

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. Рассматривается разработка испытательного стенда, позволяющего проводить многократные процедуры заряда и разряда отдельной аккумуляторной ячейки вне зависимости от применяемого химического состава при различных токах заряда и разряда с целью построения вольтзарядных характеристик, калибровки аккумуляторных ячеек и дальнейшего подбора близких по характеристикам ячеек для совместной эксплуатации.

Ключевые слова: электрохимические накопители, вольтзарядная характеристика, вольтразрядная характеристика, понижающий преобразователь постоянного тока, линейный стабилизатор тока

По состоянию на 2021 год по исследованиям анализа рынка аккумуляторных батарей в РФ, проведенных ООО «БизнесСтат», до 93.8 % всех аккумуляторных батарей приходилось на долю импорта. В настоящее время активно развиваются отечественные разработки в области литий-ионных аккумуляторных ячеек и их производство. К сожалению, на этом этапе характеристики аккумуляторных ячеек не отличаются стабильностью и могут существенно отличаться даже в рамках одной партии.

С учетом того, что современные системы накопления энергии, работающие в сетях с номинальным напряжением 0.4 кВ и выше, представляют собой высоковольтные аккумуляторные сборки, построенные на основе последовательно-параллельного соединения большого числа элементарных ячеек, близость параметров аккумуляторных ячеек является существенным фактором, определяющим эффективность системы накопления энергии в целом. Даже при несущественных отклонениях параметров и зарядно/разрядной характеристик аккумуляторных ячеек их эксплуатация в составе высоковольтной аккумуляторной сборки без применения специальных устройств пассивной/активной балансировки, которые также только начинают разрабатывать, может быть не только не эффективной, но и существенно небезопасной и приводить к серьезным авариям техногенного характера.

Предлагаемый для разработки исследовательский стенд предназначен для обеспечения следующих функций:

- заряд аккумуляторной сборки регулируемым током и напряжением с возможностью ограничения как зарядного тока, так и напряжения с целью обеспечения различных алгоритмов заряда сборки с учетом типа аккумулятора;
- контролируемый разряд аккумуляторной сборки с фиксированным током и подсчетом отданной в процессе разряда энергии;
- регистрация в энергонезависимой памяти токов и напряжений, а также переданного заряда при заряде и разряде аккумулятора с возможностью дальнейшего построения вольтзарядной характеристики и идентификации параметров схемы замещения аккумуляторной батареи.

В качестве зарядного устройства использовался понижающий преобразователь из постоянного напряжение в постоянное, такое схемотехническое решение позволяет регулировать напряжение временем открытия транзистора, а также заряжать ячейку различными алгоритмами. Сглаживание высокочастотной составляющей от переключения транзистора происходит с помощью LC фильтра, параметры которого рассчитываются по формулам (1.1) и (1.2). На рис. 1 представлена модель понижающего преобразователя в программе *Simulink*.

$$L > \frac{\left(U_{IN_{MAX}} - U_{OUT}\right) \cdot U_{OUT}}{U_{IN_{MAX}} \cdot f_{SW} \cdot LIR \cdot I_{OUT_{MAX}}} \tag{1.1}$$

$$C > \frac{I_{OH}^2 \cdot I_{OL}^2}{\left(U_{OUT} + U_{OS}\right)^2 - U_{OUT}^2} \cdot L \tag{1.2}$$

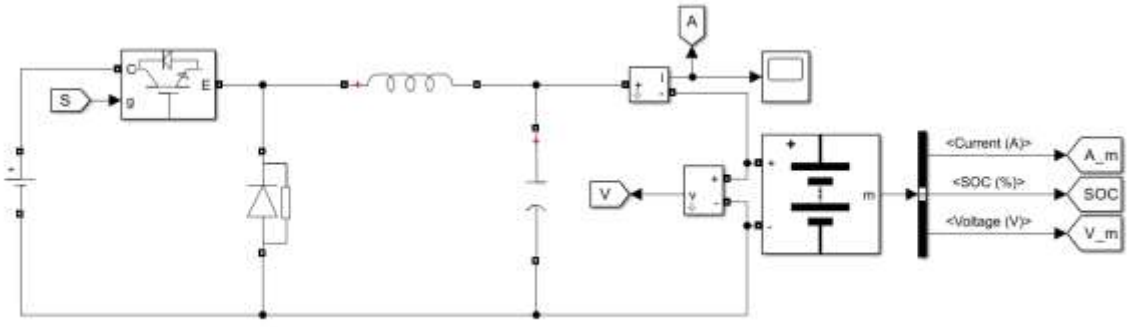


Рис. 1. Модель понижающего преобразователя в Simulink

Одной из самых важных характеристик электрохимических накопителей является кривая разряда. Для её получения ячейку необходимо разряжать с постоянной величиной тока, получение стабильного тока осуществляется с помощью схемотехнических решений разрядного устройства. В качестве такого устройства используется транзистор, работающий в линейном режиме. Такое схемотехническое решение позволяет с помощью системы управления изменять уровень стабилизированного тока. Недостатком такого решения является выделение всей энергии в тепло и соответственно проблема охлаждения всех нагревающихся элементов. Моделирование линейного стабилизатора проводилось в программе *Tina-Ti,* схема и результат которого представлены на рис. 2.

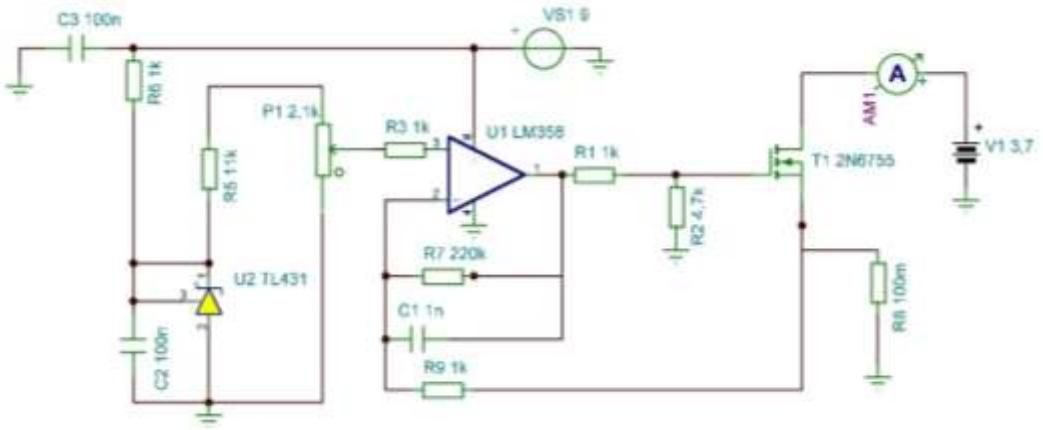


Рис. 2. Схема линейного стабилизатора тока

Система измерения является самой важной в процессе заряда/разряда электрохимических накопителей. В разработанном стенде напряжение ячейки измеряется с помощью АЦП микроконтроллера через неинвертирующий буфер с резисторного делителя, а ток также измеряется при помощи АЦП, но от инструментальных усилителей с токового шунта. Также для правильности разрядных характеристик необходимо поддержание постоянной температуры, которая измеряется с помощью цифрового датчика температуры. Моделирование системы измерения осуществлялось с помощью программы *Tina-Ti* (см. рис. 3).

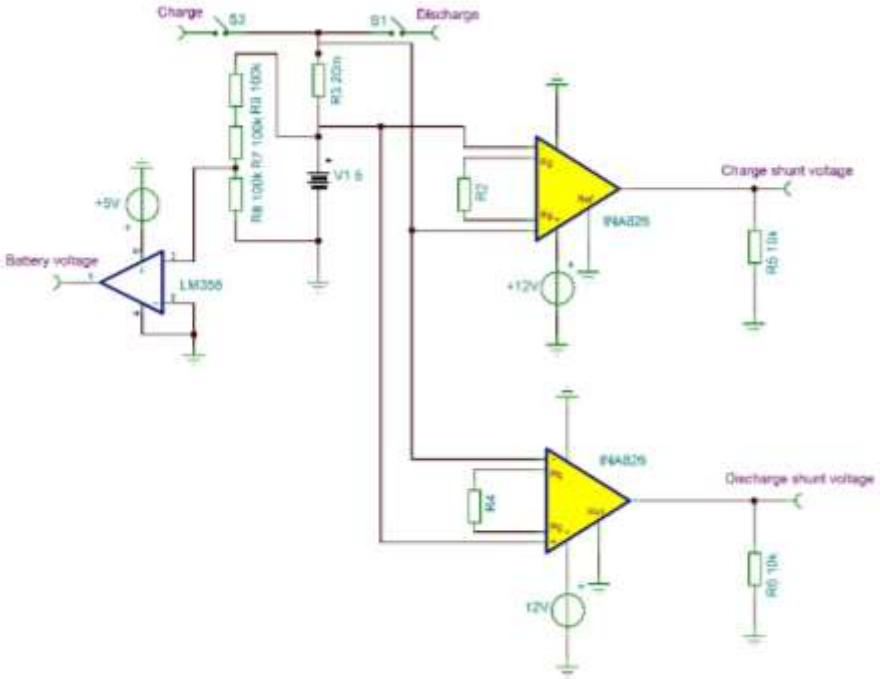


Рис. 3. Схема системы измерения

После моделирования основные схемотехнические решения были проверены на макетных платах, получив требуемый результат, были разведены и заказаны печатные платы. На рис. 4 показаны изображения трассировки печатных плат первого варианта исследовательского стенда, а на рис. 5 второго варианта, который является единой платой.

Создание второго варианта стенда было обусловлено желанием уменьшить паразитные сопротивления дорожек платы, что также привело к уменьшению размеров платы.

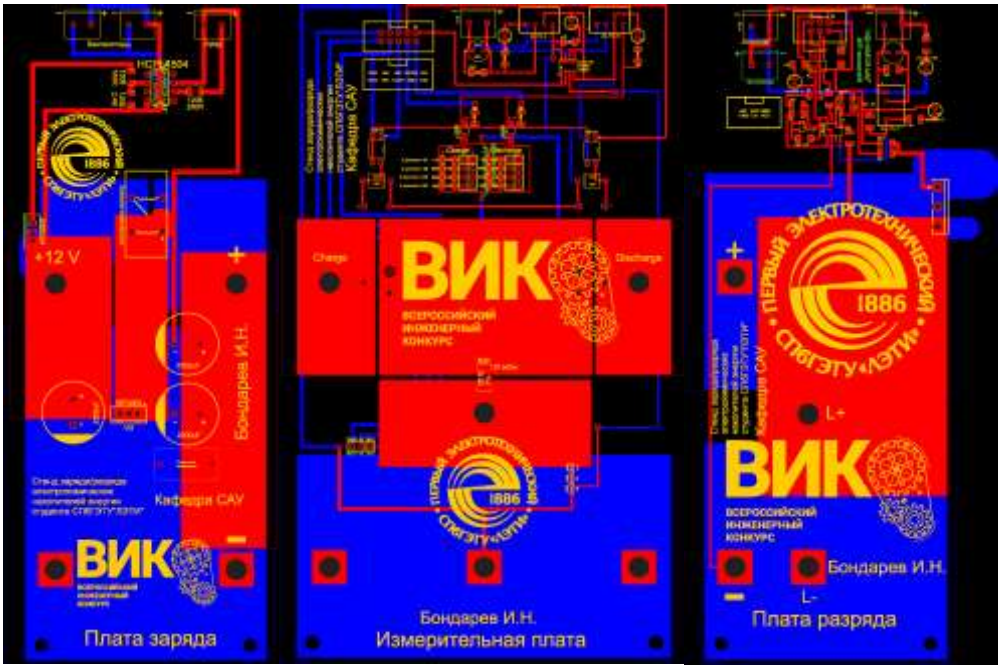


Рис. 4. Изображения печатных плат первого варианта стенда

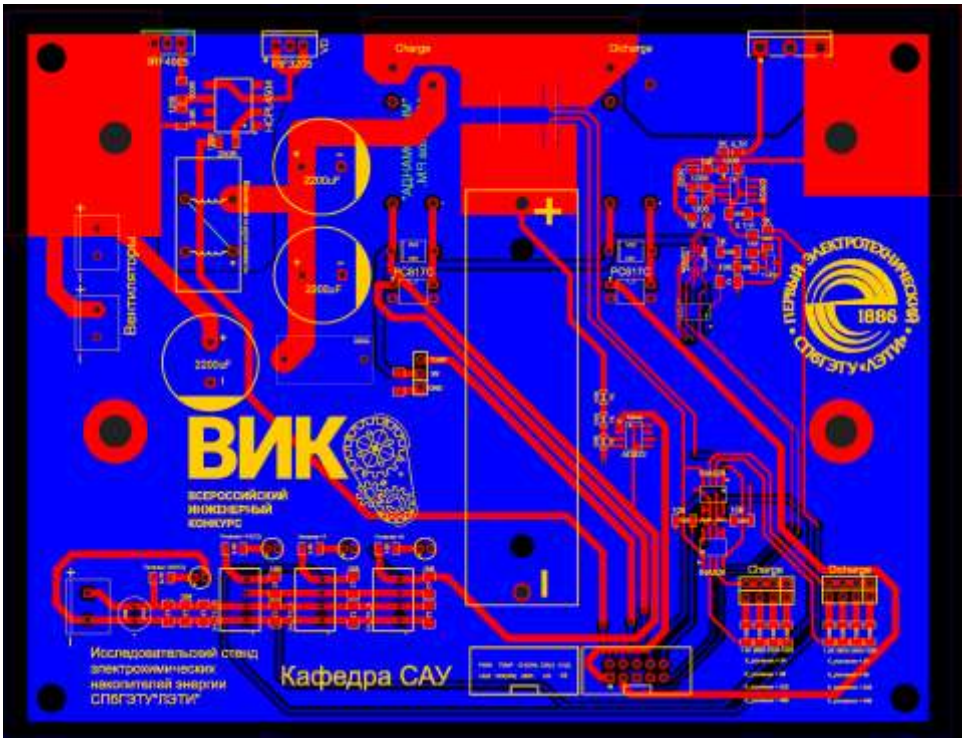


Рис. 5. Изображение печатной платы второго варианта стенда

Заключение

Оба варианта стенда собраны и проверены по отдельности, также написана программа, которая позволяет измерять с помощью АЦП напряжение, токи и запись их в энергонезависимую память для дальнейшей обработки.

Список литературы

1. Анализ рынка аккумуляторных батарей в России в 2017-2021 гг, прогноз на 2022-2026 гг URL: https://businesstat.ru/ (дата обращения: 15.01.2024).
2. Dimitrov, Borislav & Hayatleh, Khaled & Barker, Steve & Collier, Gordana & Sharkh, Suleiman & Cruden, A.. (2020). A Buck-Boost Transformerless DC–DC Converter Based on IGBT Modules for Fast Charge of Electric Vehicles. Electronics. 9. 397. DOI: 10.3390/electronics9030397.
3. Алейник А.С., Востриков Е.В., Волковский С.А., Дейнека И.Г., Стригалев В.Е., Мешковский И.К., Основы схемотехники приемопередающих электронных устройств– СПб: Университет ИТМО, 2021.
4. Дзензерский В.А., Житник Н.Е., Плаксин С.В., Лисунова В.В.. "Управление процессом зарядки электрохимического накопителя энергии" Електротехніка і електроенергетика, no. 1, 2018, pp. 40-51.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ДЕТАЛИ И КОНЦЕНТРАТОРА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

М.Н. Кудряш, Ю.С. Быркин, А.С. Мельников

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В данной статье рассмотрена задача повышения эффективности упрочнения режущей кромки долбяка методом магнитно-импульсной обработки. Исследовалось влияние взаимного расположения обрабатываемого долбяка из инструментальной стали марки 20ХГНМ и электромагнитного концентратора на энергетические параметры обработки. По результатам анализа результатов численных экспериментов выявлена зависимость, отражающая эффект перераспределения энергии в обрабатываемом долбяке при изменении его расположения относительно концентратора магнитного поля.

Ключевые слова: долбяк, упрочнение, магнитно-импульсное упрочнение, магнитно-импульсная обработка

Введение

Долбяк – это инструмент, который применяется для формирования зубьев на заготовке в процессе изготовления шестерен в автомобильной промышленности, в тяжелом машиностроении, станкостроении и других отраслях. Нарезание зубьев при помощи долбяка осуществляется за счет его возвратно-поступательного движения относительно вращающейся заготовки (рисунок 1).

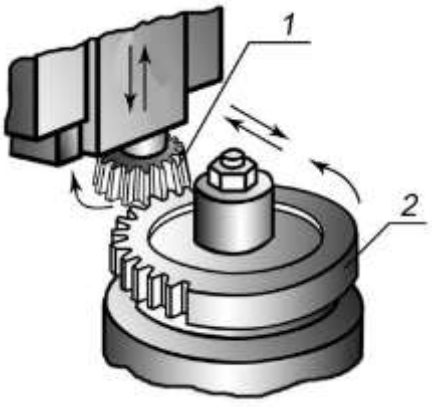


Рис. 1. Принцип работы долбяка: 1 – долбяк, 2 – заготовка [1].

В среднем, рабочий ресурс долбяков для нарезания шестерен варьируется от нескольких минут до нескольких часов [2]. Это вынуждает производить частые переналадки станков и приводит к экономическим потерям. В настоящее время для повышения износостойкости долбяков используются поверхностная индукционная закалка и нанесение покрытий, например, нитрид титана, для уменьшения трения и износа режущей [2]. Для дополнительного увеличения ресурса долбяков можно применять обработку их режущих кромок с использованием импульсного магнитного поля высокой напряженности (магнитно-импульсная обработка). В настоящий момент установлено, что под воздействием импульсного магнитного поля напряженностью более $1{,}8 \cdot 10^5$ А/м наблюдается увеличение микротвердости поверхностного слоя режущей кромки инструмента, а также локальное снижение шероховатости её поверхности [5]. Однако, при использовании данной технологии существует сложность, связанная с концентрацией магнитного поля в требуемой области – режущей кромке. Исходя из результатов предыдущей работы, было определено, что значительное влияние на распределение импульсного магнитного поля и, как следствие, эффективность приложения энергии к режущей кромке, оказывает использование медного [4]. В представленной работе продемонстрирована возможность повышения эффективности использования концентратора за счет изменения положения обрабатываемого долбяка.

Метод исследования

Исследование было выполнено методом численного моделирования электромагнитных процессов методом конечных элементов в трехмерной геометрической системе «индуктор-концентратор-деталь» с использованием программного пакета JMAG. Было принято допущение о том, что индуктор представляет собой единое тело с заданным сопротивлением и геометрией, аналогичными реальному медному индуктору (рисунок 2). Для использования интегрированных по объему величин, исследуемый долбяк был разделен на две области – основная часть и режущая кромка. Общее количество элементов сетки конечных элементов в модели – 1,2 млн. Сгущение узлов сетки было задано с учетом глубины проникновения поля в элементы рассмотренной системы. Долбяку заданы свойства легированной стали марки 20ХГНМ.

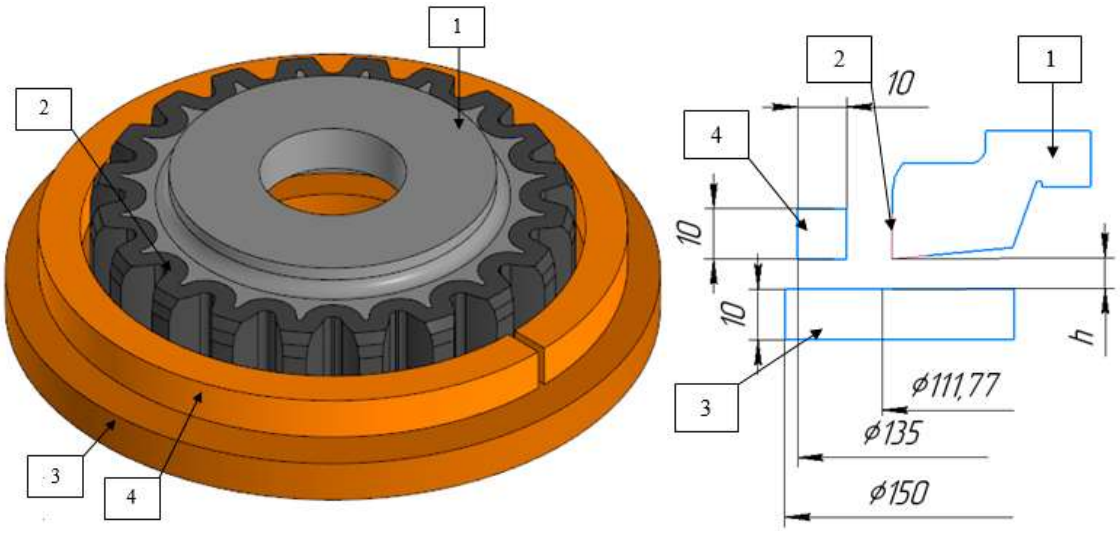


Рис. 2. Состав рассмотренной системы: основная часть долбяка (1), режущие кромки (2) и индуктор (3) с концентратором (4)

Исследовалось три случая взаимного расположения детали и концентратора: в первом случае h = 2 мм, во втором h = 7 мм и в третьем случае h = 12 мм (рисунок 3). Во всех случаях амплитуда тока индуктора была задана равной 20 кА, частота колебаний тока – 3300 Гц.

Из полученных результатов (рисунок 4) можно видеть, что в случае *а)* на режущей кромке напряженность магнитного поля находится в диапазоне от 0,9 до 3 МА/м, что является достаточным для достижения эффекта упрочнения. При этом, наибольшая амплитуда напряженности магнитного поля (4 МА/м) наблюдается в случае на плоской (нерабочей) поверхности. В случаях *б* и *в* наблюдается более выраженная концентрация поля в области режущей кромки.

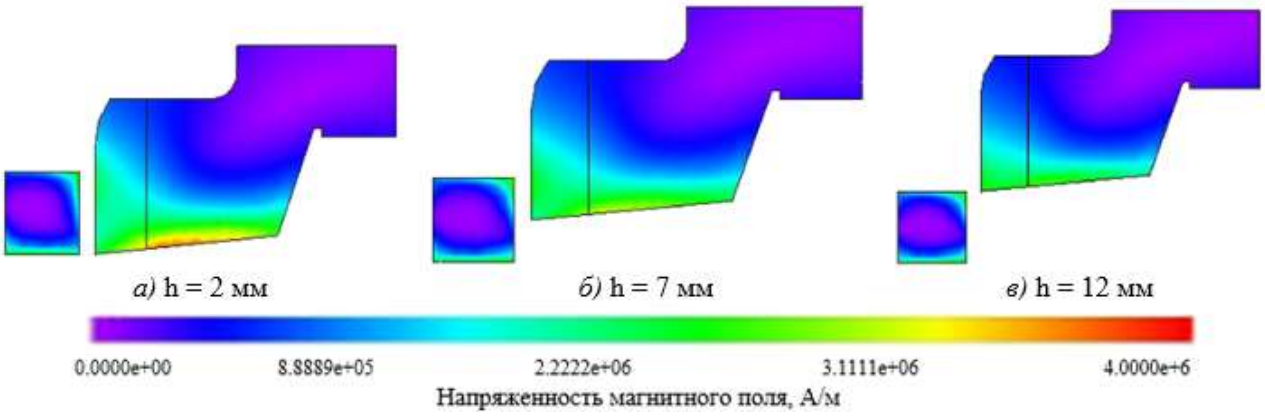


Рис. 3. Картина распределения напряжённости магнитного поля по сечению долбяка

Поскольку эффект магнитно-импульсного упрочнения является следствием ударного воздействия магнитного поля на поверхность стали, наибольшее влияние будет наблюдаться в областях с наибольшей концентрацией силы Лоренца, действующей по нормали к данной поверхности. На рисунках 5 и 6 показаны распределения плотности силы Лоренца, действующие по нормали к граням режущей кромки – X и Z соответственно.

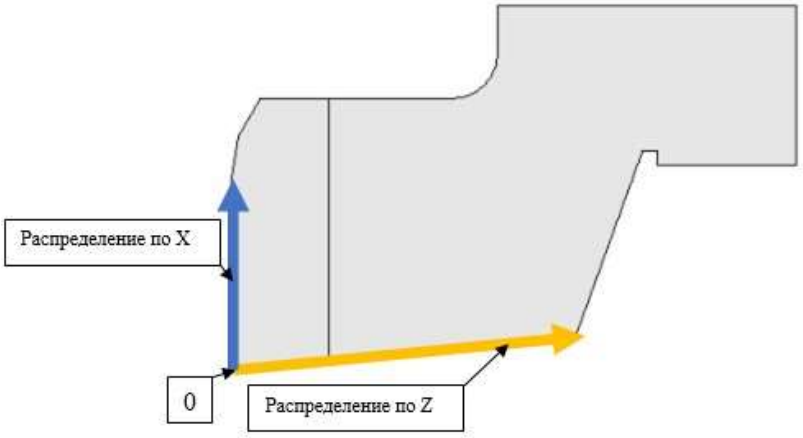


Рис. 4. Оси распределения плотности силы Лоренца.

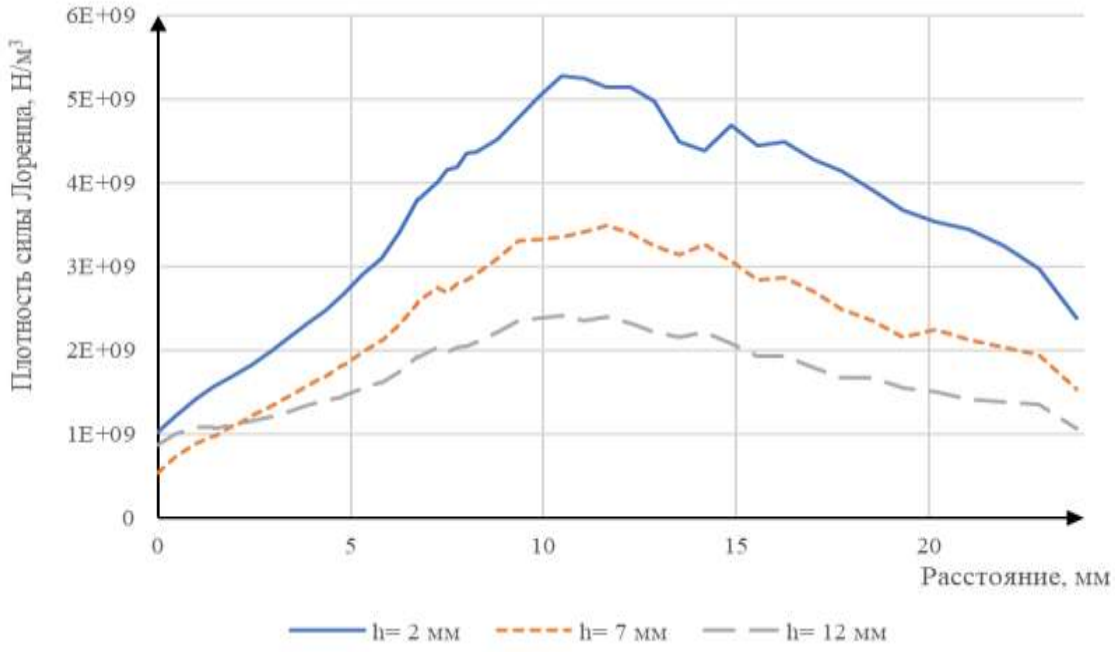


Рис. 5. Распределение плотности силы Лоренца в направлении оси Z

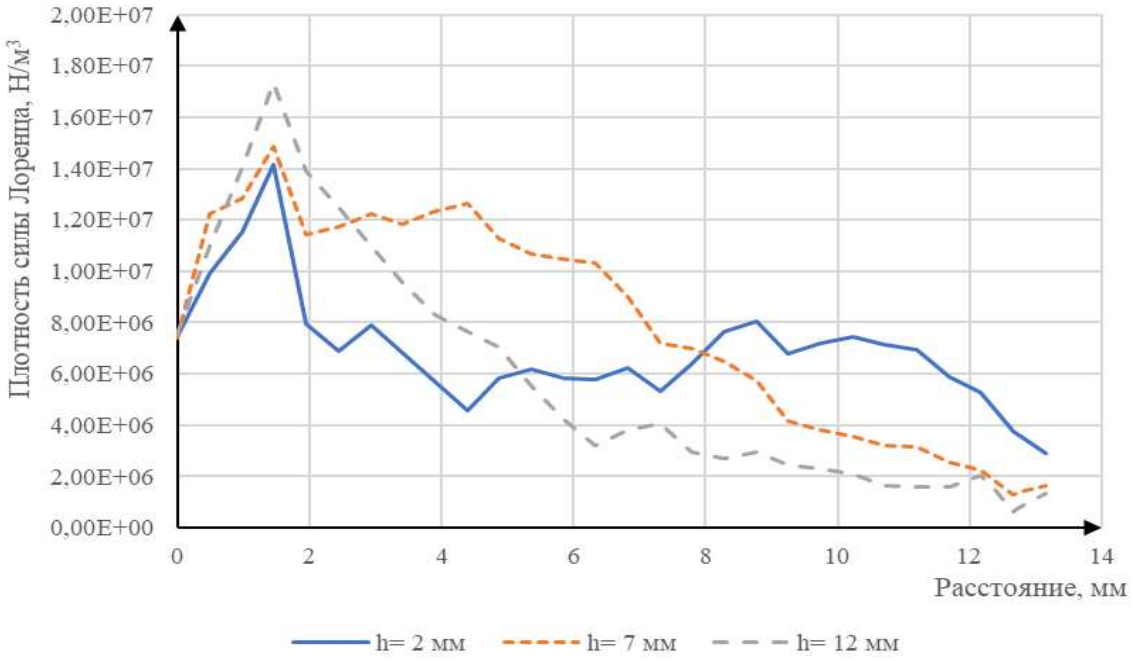


Рис. 6. Распределение плотности силы Лоренца в направлении оси X

Исходя из графика распределения плотности силы Лоренца (рисунок 6), для случая с h = 2 мм наибольшее значение достигает $5{,}3 \cdot 10^9$ Н/м^3, в случае с h = 7 мм наибольшее значение достигает $3{,}7 \cdot 10^9$ Н/м^3, случай с h = 12 мм ожидаемо имеет наименьшую плотность силы Лоренца, наибольшее значение в этом случае достигает $2{,}4 \cdot 10^9$ Н/м^3. В первом случае видна самая большая неравномерность, в третьем же случае можно наблюдать выравнивание значений плотности силы Лоренца, а также можно увидеть, что

на режущей кромке значения плотности достигают $1{,}41 \cdot 10^9$ Н/м^3, в первом и во втором случае $1{,}28 \cdot 10^9$ и $1{,}31 \cdot 10^9$ Н/м^3 соответсвенно.

Более наглядно распределение энергии можно увидеть на рисунке 7, где представлен график джоулевых потерь на режущей кромке к общим джоулевым потерям индукторной системы (коэффицент 1), а также соотношение джоулевых потерь на режущей кромке к полным джоулевым потерям в долбяке (коэффицент 2).

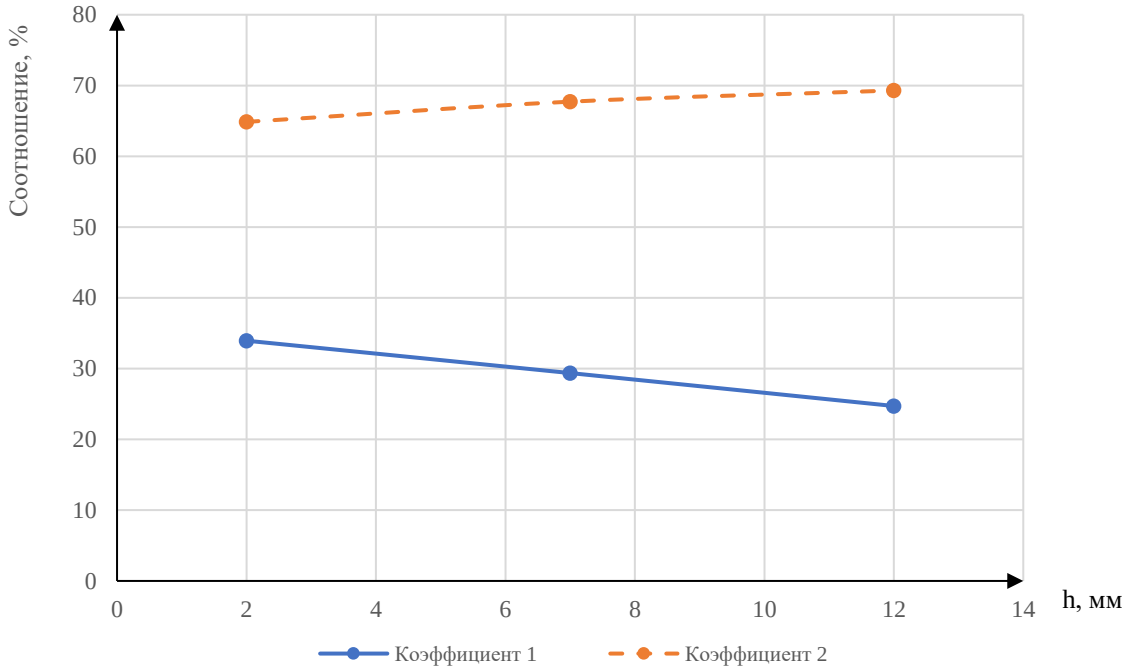


Рис. 7. Распределение джоулевых потерь в долбяке

Исходя из данных графика можно увидеть, что с увеличением h соотношение энергии, выделяемой в долбяке и во всей системе, уменьшается, однако при этом доля потерь энергии в режущей кромке относительно потерь в долбяке возрастает, что свидетельствует о уменьшении потерь и повышения эффективности магнитно-импульсной обработки.

Заключение

Использование концентратора и оптимальное расположение детали способствует более эффективному направлению энергии в целевую область – режущую кромку сложных геометрических форм металлообрабатывающего инструмента. Однако, несмотря на достигнутые результаты, в дальнейшем планируются исследования с электромагнитным концентратором другой формы для повышения эффективности магнитно-импульсной обработки.

Список литературы

1. Справочник по металлообработке [Электронный ресурс] URL: https://p-z-o.ru/products/dolbyaki/dolbyak (дата обращения: 20.04.2023).
2. Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс] URL: https://mash-xxl.info/info/184787/ (дата обращения: 21.04.2023).
3. A Review on Electromagnetic Forming Process. Dhiraj Gayakwada, Mahesh Kumar Dargara, Pramod Kumar Sharmaa, Rajesh purohitb, R.S.Rana. 3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC 2014). Procedia Materials Science 6 (2014) pp.520 – 527.

4. Перевалов Ю.Ю., Кудряш М.Н., Мельников А.С., Быркин Ю.С., Рябов К.А. Моделирование процесса магнитно-импульсного упрочнения долбяка для нарезания шестерён // Наука настоящего и будущего: материалы XI науч.- прак. конф., Санкт-Петербург, 18 – 20 мая 2023, том 2 – Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023 – С. 200-2004
5. Горчанин, А.И. Влияние магнитно-импульсной обработки на структуру и свойства сложнопрофильного режущего инструмента / А.И. Горчанин, А.М. Милюкова // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы XII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 13-15 сентября 2017 г. В 3 кн. / 2 кн. – 2017. – Мн.: ФТИ НАН Беларуси. – С. 48-53.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

В. Фуминь[1], З.М. Абдуллаева[1,2]

[1]Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

[2]Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова

Аннотация. Синхронные двигатели с постоянными магнитами широко применяются в различных отраслях, таких как сервосистемы, аэрокосмическая промышленность и ветроэнергетика. Исследование электромагнитных потерь и их влияние на нагрев проводилось с помощью моделирования температурного поля в ANSYS. Метод наименьших квадратов использовался для определения параметров двигателя и постоянных магнитов. Анализ температурного поля помогает оптимизировать процессы охлаждения и повысить эффективность работы устройства. Полученные данные могут быть использованы для улучшения конструкции синхронных двигателей и повышения их надежности в различных областях.

Ключевые слова: потокосцепление постоянного магнита, постоянные магниты, электромагнитная и термодинамическая связи.

Моделирование электромагнитной и термодинамической связи в ПП ANSYS

В данной статье используется встроенная параметрически настраиваемая модель синхронного двигателя с постоянными магнитами и V-образным ротором пакета моделирования ANSYS. Преимуществами конструкции этого типа являются малый коэффициент
магнитной утечки, высокая механическая прочность штамповки ротора, а также трудность деформации ротора. Благодаря оптимизации формы и положения постоянных магнитов производительность синхронного двигателя с постоянными магнитами повышается. Используя программный пакет ANSYS, можно рассчитать электромагнитные и тепловые потери, задавая структуру модели двигателя, материалы статора, ротора и постоянного магнита двигателя. Модель синхронного двигателя в пакете ANSYS приведена на рис.1.

По коэффициентам теплопередачи, теплопроводности воздуха и конвекции рассчитывается переходная температура двигателя, как показано на рис. 2.

На рис. 3 приведены результаты моделирования изменения температуры постоянного магнита и обмотки со временем. Установившаяся температура постоянного магнита равна 117℃. Установившаяся температура обмотки статора равна 123℃.

Полученные в ПП ANSYS значения сопротивления двигателя и потокосцепления постоянного магнита можно использовать для проведения дальнейших расчетов значений параметров двигателя после стабилизации температуры.

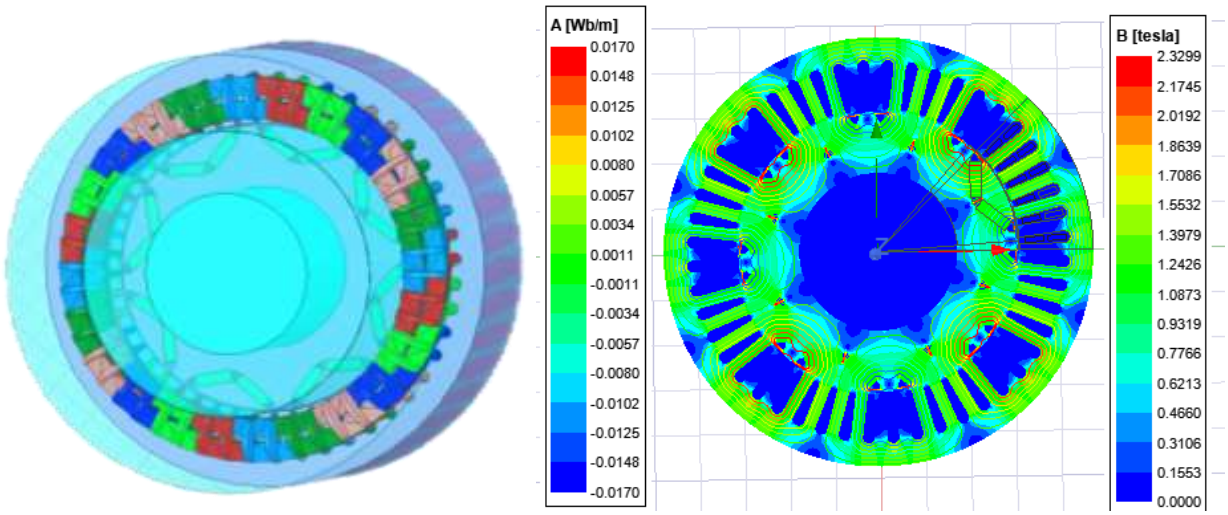


Рис. 1. Результаты электромагнитного моделирования двигателя в ПП ANSYS

По коэффициентам теплопередачи, теплопроводности воздуха и конвекции рассчитывается переходная температура двигателя, как показано на рис. 2.

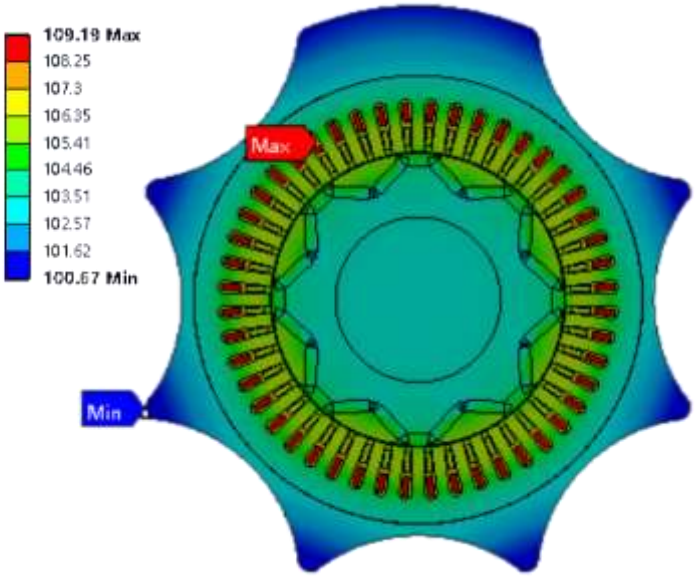


Рис. 2. Моделирования термодинамических переходных процессов

На рис. 3 приведены результаты моделирования изменения температуры постоянного магнита и обмотки со временем. Установившаяся температура постоянного магнита равна 117℃. Установившаяся температура обмотки статора равна 123℃.

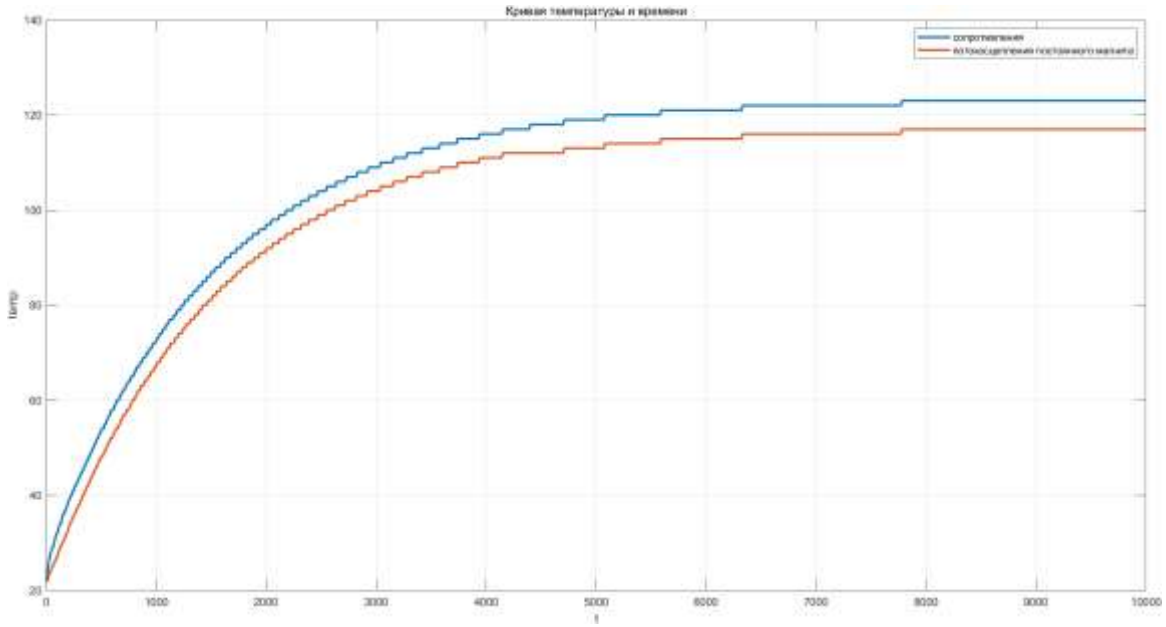


Рис. 3. Результаты моделирования термодинамических переходных процессов

Полученные в ПП ANSYS значения сопротивления двигателя и потокосцепления постоянного магнита можно использовать для проведения дальнейших расчетов значений параметров двигателя после стабилизации температуры.

Рассмотрим еще один метод - рекурсивный метод наименьших квадратов для оценки влияния температуры на сопротивление двигателя и потокосцепления постоянного магнита.

Рекурсивный метод наименьших квадратов.

Для расчета параметров требуется только математическая модель двигателя. Исходные значения взяты по результатам проведения моделирования в ПП ANSYS, табл. 1.

Таблица 1

Электрические параметры синхронного двигателя с постоянными магнитами

Параметр	Значение
количество пар полюсов ротора	4
сопротивление/Ом	0.025151
индуктивность по оси q/Гн	0.00185524
индуктивность по оси d/Гн	0.000761806
коэффициент потока постоянного магнита/Вб	0.1092

Переходная температура двигателя не является основной проблемой. Основная проблема состоит в том, чтобы оценить или рассчитать установившуюся температуру двигателя.

Для синхронного двигателя с постоянными магнитами можно использовать уравнения баланса напряжений в ортогональной вращающейся системе координат.

$$\begin{bmatrix} U_q \\ U_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_q & \frac{di_q}{dt} & \omega_e i_d & \omega_e \\ i_d & -\omega_e i_q & \frac{di_d}{dt} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ L_q \\ L_d \\ \psi_{PM} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Где U_d, U_q - напряжение обмотки оси d, q; i_d, i_q - ток обмотки оси d, q; L_d, L_q - индуктивность обмотки статора по оси d, q; R - фазовое сопротивление статора; ω_e - электрическая угловая скорость; ψ_{PM} - магнитная связь, создаваемая постоянными магнитами.

Уравнения (1) позволяют провести четырехпараметрической идентификации параметров двигателя для оценки влияния температуры в установившихся условиях. На рис.4 показаны расчетные значения сопротивления, индуктивности и потокосцепления постоянного магнита.

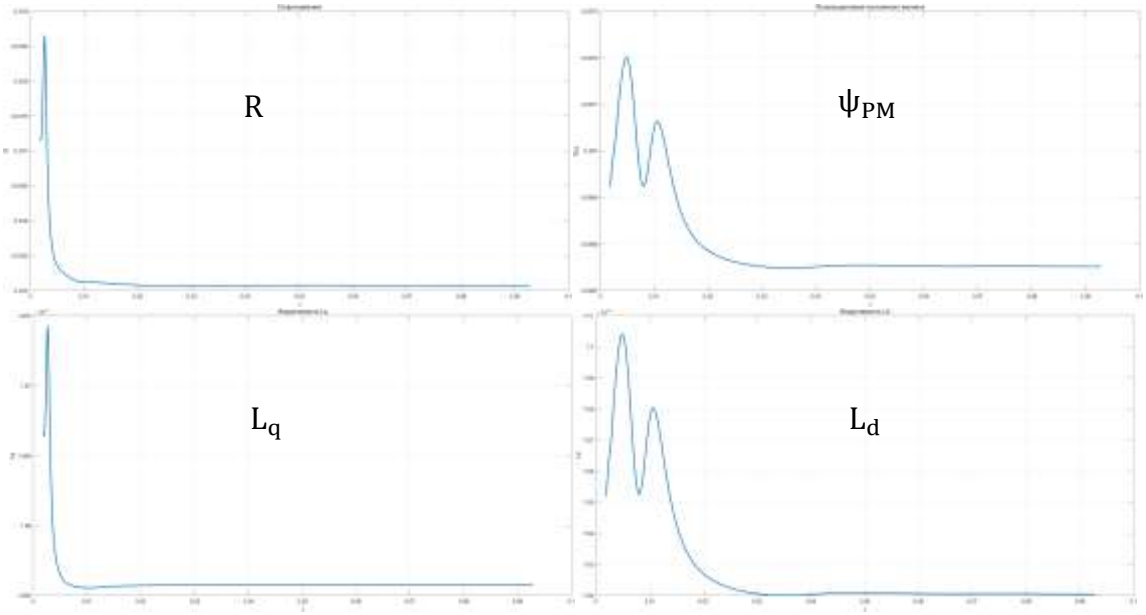


Рис. 4. Идентификация параметров приводит к установившемуся состоянию (обмотки равна 123℃; постоянного магнита равна 117℃)

Когда температура достигает устойчивого состояния, можно оценить его влияния на значения сопротивления, индуктивности и потокосцепления постоянного магнита. Однако результаты оценки переходной температуры плохие, поскольку точность четырехпараметрической идентификации низкая. Значения исследуемых параметров стремятся к нулю, что отлично от истины.

$$\begin{bmatrix} U_q - L_q \frac{di_q}{dt} - L_d \omega_e i_d \\ U_d - L_d \frac{di_d}{dt} + L_q \omega_e i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_q & \omega_e \\ i_d & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ \psi_{PM} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Влияние температуры на сопротивление и потокосцепление постоянного магнита намного больше, чем влияние на индуктивность, и процесс идентификации этих двух параметров очень хорошая. Используя метод двухпараметрической идентификации по формуле (2), можно быстро отреагировать на переходную температуру. Однако, поскольку изменение индуктивности не учитывается, точность идентификации параметров будет низкой, как показано на рис. 5.

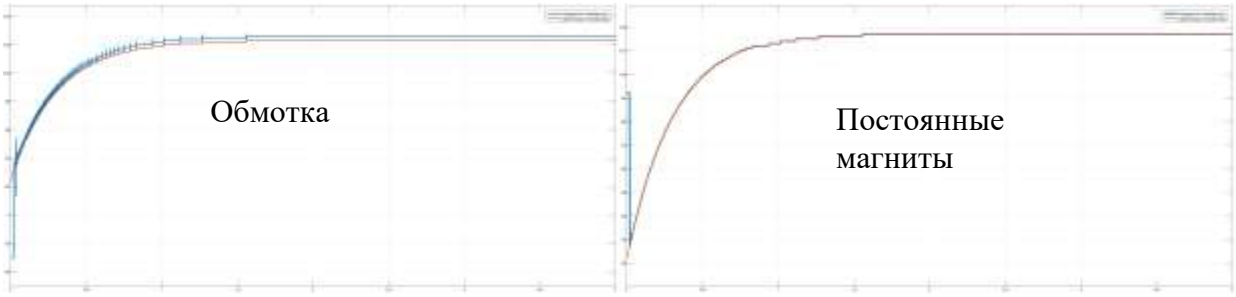


Рис. 5. Результаты идентификации двух параметров (переходная температура)

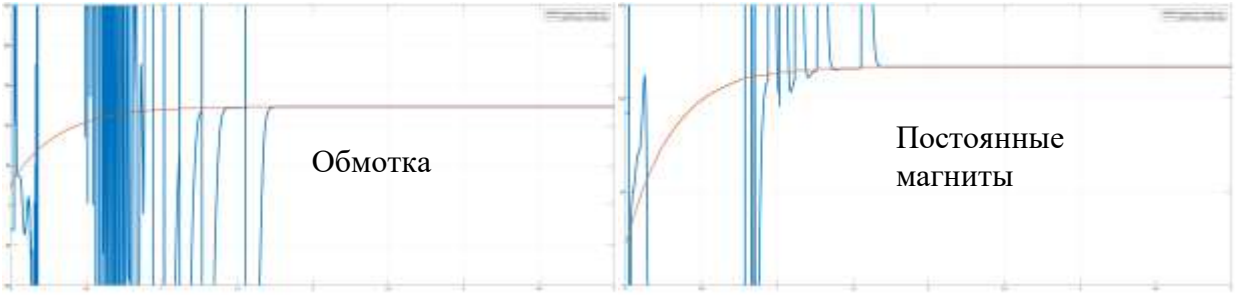


Рис. 6. Улучшенные результаты идентификации по четырем параметрам (переходная температура)

Двухпараметрическая идентификация позволяет определить изменение температуры, по результатам которой четырехпараметрическая идентификация позволяет учесть изменение индуктивности. Это помогает реагировать на изменения температуры и поддерживать стабильность работы системы.

Заключение

Метод идентификации параметров эффективен и позволяет точно получить параметры двигателя и вычислить температуру. Однако реакция на изменения параметров происходит медленно, требуя времени отклика в 0.25 секунды. Переходные изменения температуры мало влияют на управление двигателем, поэтому этот метод осуществим.

При этом при моделировании учитывалась только связь между параметрами двигателя и температурой. Хотя температура является основным фактором изменения параметров двигателя, существует множество факторов, влияющих на параметры двигателя. Влияние других факторов необходимо анализировать для конкретных двигателей.

Список литературы

1. Цзян Шанлинь / Анализ потерь и расчет температурного поля высокоскоростного синхронного двигателя с постоянными магнитами // Харбинский технологический институт 7.2010. / cnki.net. 07.2010.
2. Сун Шоусю, Ху Мэнчэн, Ду И, Цзо Хао, Чжан Фань. / Трехмерный анализ температурного поля восстановленного двигателя с сердечником гибридного статора // Издательство: Журнал электрических машин и управления 6:24 / 6.2020.
3. Zhen Tian / Losses Analysis and Thermal Modeling in Permanent Magnet Synchronous Machines for Electric Vehicles Driving Application // Beijing Institute of Technology 7.2016 / cnki.net. 07.2016.
4. Liwang Shi / Research on Precise Torque Control Method of PMSM for Vehicles Considering Motor Temperature Variation // Chongqing University 6.2022 / cnki.net. 06.2022.
5. Aimeng Wang / Optimal IPM Machine Design and Flux-weakening Control // North China Electric Power University 6.2010 / cnki.net. 06.2010.
6. Aimeng Wang, He-ming LI / Influence of permanent magnet material and temperature on interior permanent magnet machine performance and torque ripple // Journal of North China Electric Power University / 2008 No3 Vol35.

7. Юань Лэй / Современный принцип управления синхронным двигателем с постоянными магнитами и моделирование MATLAB // Пекинский университет аэронавтики и астронавтики 3.2016.
8. Лю Хуэйцзюань / ANSYS Maxwell Workbench 2021 Мультифизический анализ двигателей, связанный методом конечных элементов // Пресс-центр химической промышленности 7.2022.
9. Aimeng Wang / Проектирование и контроль ослабления поля новых двигателей для транспортных средств на новых источниках энергии // Machinery Industry Press, 2013.
10. Ван Сянсун, Ян Шуин, Се Чжэнь, Чжан Син / Управление прогнозированием магнитного потока синхронного двигателя с постоянными магнитами на основе многопараметрической идентификации // Журнал Китайского электротехнического общества / 2.2024

СТАБИЛИЗАЦИЯ ГРУЗА ПОДЪЕМНОГО КРАНА

С.А. Елисеева, Н.А. Доброскок

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В работе рассмотрен способ стабилизации равновесного состояния «подвешенный груз – мостовой кран». Рассматривается задача перемещения тележки мостового крана с подвешенным грузом из начального состояния в состояние, соответствующее нулевым значениям переменных состояния. Предполагается, что длина подвеса груза неизменна Рассмотрен линейный и нелинейный подход к синтезу алгоритма управления.

Ключевые слова: нелинейные системы, подъемный кран, подавление колебаний.

Математическое описание системы «подвешенный груз – мостовой кран»

Математическое описание системы «подвешенный груз – мостовой кран» при постоянной длине подвеса эквивалентно математическому описанию системы, приведенной на рис. 1. Уравнение движения приведенной системы может быть составлено на основе второго закона Ньютона для поступательного движения вдоль оси x двух масс

$$u(t) = M\frac{d^2x}{dt^2} + m\frac{d^2x_G}{dt^2}, \qquad (1)$$

где $u(t)$ – управляющее воздействие, приложенное к тележке мостового крана и определяемое законом управления, подлежащим синтезу; M – масса тележки мостового крана; m – масса груза; x – координата, характеризующая текущее смещение центра масс тележки мостового крана относительно начала координат; x_G – координата, характеризующая текущее отклонение центра масс груза относительно начала координат, и для вращательного движения груза, закрепленного на тележке мостового крана

$$\left(J + ml^2\right)\frac{d^2\varphi}{dt^2} = mgl\sin\varphi - ml\frac{d^2x}{dt^2}\cos\varphi, \qquad (2)$$

где J – момент инерции относительно центра масс для подвеса, удерживающего груз; φ – угол между подвесом и вертикальной прямой, проходящей через центр масс подвижной тележки мостового крана; l – расстояние от точки крепления маятника до его центра тяжести. Стоит отметить, что вращательное движение груза на подвесе вызвано действием двух сил: силы, обусловленной ускорением тележки, силы тяжести.

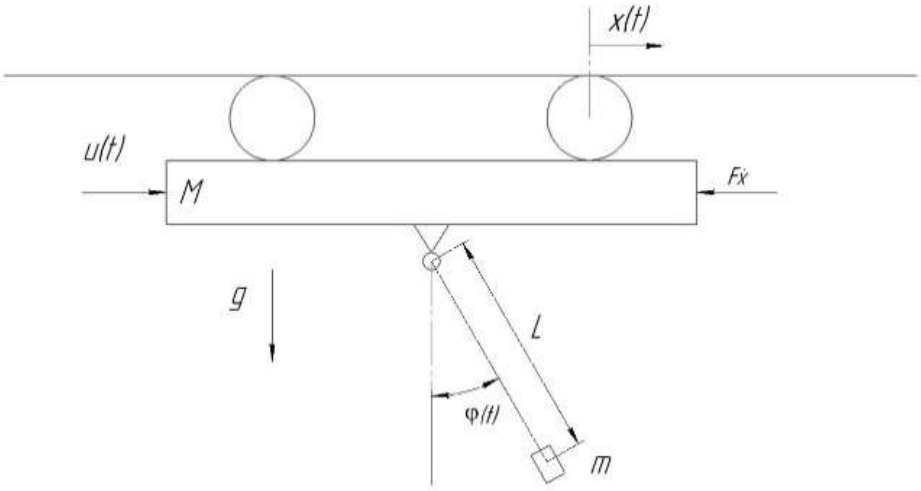


Рис. 1. Система «подвешенный груз – мостовой кран»

Для получения уравнений движения «подвешенный груз – мостовой кран» запишем связь координаты центра масс груза и координаты центра масс тележки мостового крана

$$\begin{cases} x_G = x + l\sin\varphi \\ y_G = -l\cos\varphi \end{cases}. \tag{3}$$

После подстановки (3) в (1) можем записать уравнение, описывающее поступательное движение системы «подвешенный груз – мостовой кран»

$$u(t) = M\frac{d^2x}{dt^2} + m\left(\frac{d^2x}{dt^2} - l\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\sin\varphi + \frac{d^2\varphi}{dt^2}\cos\varphi\right)$$

или окончательно после преобразований

$$u(t) = (M+m)\frac{d^2x}{dt^2} - ml\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\sin\varphi + ml\frac{d^2\varphi}{dt^2}\cos\varphi. \tag{4}$$

Из уравнений движения (2) и (4) в предположении равенства момента инерции J нолю можем составить окончательную систему уравнений системы «подвешенный груз – мостовой кран»

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{1}{M+msin^2\phi}\left(-msin\phi\left(l\dot{\phi}^2 + gcos\phi\right) + u(t)\right); \\ \ddot{\phi} = \frac{1}{l\,(M+msin^2\phi)}\left(sin\phi\left(ml\dot{\phi}^2cos\phi + g(M+m)\right) - u(t)cos\phi\right). \end{cases} \tag{5}$$

Если выполнять линеаризацию системы (5) с учетом заявляемой цели управления

$$\lim_{t\to\infty}\varphi(t) = 0,\ \lim_{t\to\infty}x(t) = 0, \tag{6}$$

то можно принять следующие допущения в окрестностях состояния равновесия (6)

$$\sin\varphi = \varphi,\ \sin^2\varphi = 0,\ \cos\varphi = 1,\ \dot{\varphi}^2 = 0. \tag{7}$$

Тогда линеаризованное описание системы «подвешенный груз – мостовой кран» примет вид

$$\begin{cases} \ddot{x} = \dfrac{-mg}{M}\varphi + \dfrac{1}{M}u(t); \\ \ddot{\varphi} = \dfrac{g(M+m)}{lM}\varphi - \dfrac{1}{lM}u(t), \end{cases} \Rightarrow \frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \varphi \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dfrac{-mg}{M} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \dfrac{g(M+m)}{lM} & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \varphi \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \dfrac{1}{M} \\ 0 \\ \dfrac{1}{lM} \end{bmatrix} u. \quad (8)$$

Варианты управления системой «подвешенный груз – мостовой кран»

В работе приводятся результаты моделирования при использовании двух постановках задачи управления: синтез модального регулятора по линейной модели (8), синтез нелинейного алгоритма методом функций Ляпунова на основе нелинейной модели (5).

Синтез модального регулятора по линейной модели (8) проведен посредством применения стандартных процедур синтеза с применением специализированных пакетов программ. При этом для настройки модального регулятора были использованы полиномы Ньютона и Баттерворта четвертого порядка, согласно источникам [1] и [2], со значением среднегеометрического корня полинома, обеспечивающего для исследуемой системы время регулирования $t_{\text{р}} = 5$ с.

Исследуемый нелинейный алгоритм управления, полученный методом функций Ляпунова в [3], на основе нелинейной модели (5) имеет вид

$$u(t) = \frac{1}{k_E}\left(k_x x + \gamma\dot{x}\right), \quad (9)$$

где k_E, k_x и γ – строго положительные константы, подлежащие настройке. Для синтеза алгоритма управления (9) в [3] предлагается использовать функцию Ляпунова вида

$$V = k_E E + \frac{k_x}{2}x^2, \quad (10)$$

где E – полная энергия системы, определяемая суммой кинетической энергии, определяемой перемещением груза и тележки мостового крана с учетом равенства нолю момента инерции J как

$$E_{\text{кин}} = 0.5M\dot{x}^2 + 0.5M\dot{x}_G^2 + 0.5M\dot{y}_G^2 + 0.5ml^2\dot{\varphi}^2, \quad (11)$$

и потенциальной энергией механической системы, определяемой вертикальным перемещением груза

$$E_{\text{пот}} = gml(\cos\varphi - 1). \quad (12)$$

Сравнение результатов моделирования линейного и нелинейного алгоритмов управления системой «подвешенный груз – мостовой кран»

Сравнение алгоритмов управления проводилось посредством компьютерного моделирования на исходной нелинейной модели (5), по которой составлена компьютерная модель в специализированном программном пакете. Для моделирования использовался тестовый набор параметров: $m = M = 1$кг, $l = 1$ м, $g = 9.8$ м/с^2. Настройки двух вариантов модального регулятора и нелинейного регулятора при условии обеспечения соизмеримого быстродействия составили:

- модальный регулятор с полиномом Баттерворта: $\mathbf{K} = [3.39 \quad 3.68 \quad -3.34 \quad 2.58]$;

- модальный регулятор с полиномом Ньютона: $\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 3.39 & 5.64 & 11.58 & 3.96 \end{bmatrix}$;
- нелинейный алгоритм управления: $k_E = 1$, $k_x = 3$, $\gamma = 4.5$.

На рис. 2 можно увидеть, что при проверке модального регулятора на исходной нелинейной модели системы показатели качества переходного процесса ухудшаются по отношению к стандартным значениям. Однако оба варианта реализации модального регулятора и нелинейного алгоритма управления, синтезированного с использованием метода функций Ляпунова, справляются с целью управления и переводят состояние системы в равновесное положение.

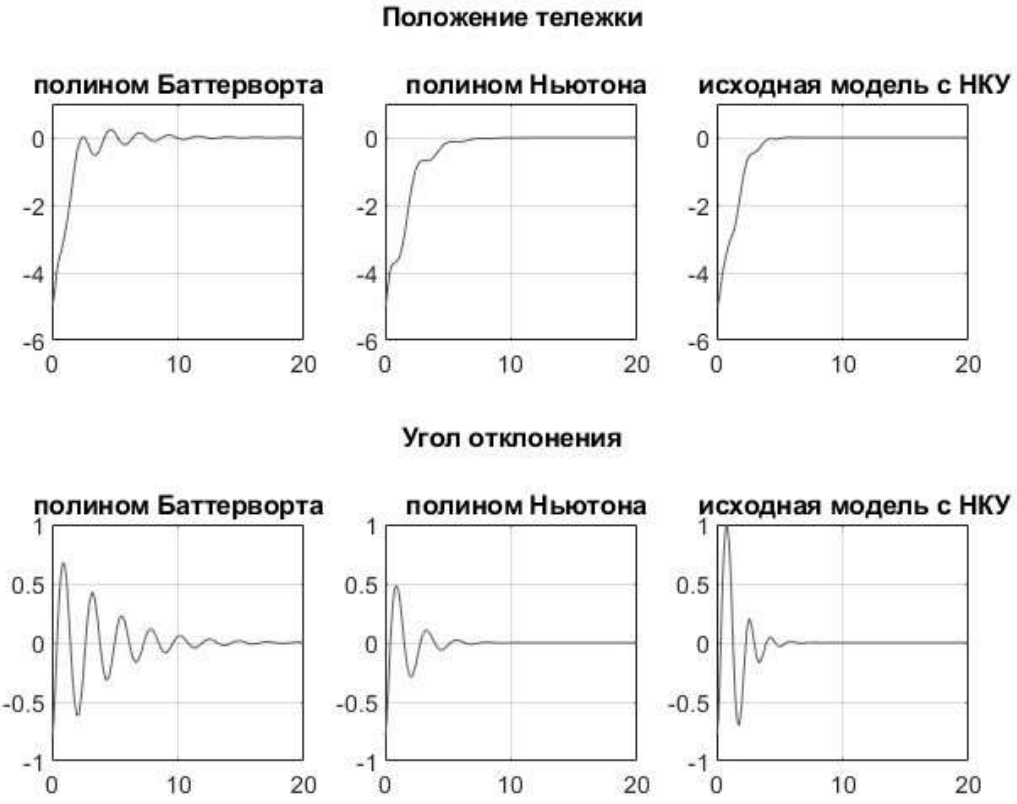


Рис. 2. Переходные процессы системы «подвешенный груз-мостовой кран» при отклонении (-5, 0, -π/4, 0)

Заключение

Сравнивая результаты моделирования системы с модальным регулятором с двумя разными стандартными полиномами Ньютона и Баттерворта, можно сделать вывод, что с точки зрения подавления колебаний полином Ньютона является предпочтительным. Регулятор, полученный методом функций Ляпунова позволяет получить качество переходного процесса по линейному перемещению тележки мостового крана, близкое к модальному регулятору с полиномом Ньютона. При этом амплитуда колебаний с регулятором, полученным методом функций Ляпунова, больше амплитуды колебаний системы с модальным регулятором, однако время затухания колебаний такое же. Стоит отметить, что реализация алгоритма модального управления требует измерения или восстановления всех четырех переменных состояния. При этом даже при использовании

наблюдателя состояния требуется как минимум два разнородных датчика, один из которых должен определять угол отклонения (угловую скорость) подвеса от вертикальной оси, второй – положение (скорость перемещения) тележки мостового крана. Алгоритм управления, полученный с использованием метода функций Ляпунова, требует измерения двух переменных состояния и, соответственно, датчика положения (скорости перемещения) тележки мостового крана. Последний факт является существенным достоинством метода.

Список литературы

1. Дылевский А.В. «Применение многочленов Баттерворта для построения модальных дифференциаторов» - Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии, (1), 28-35 – 2020, - 8 с.
2. Паршуков А.Н. «Метод синтеза модального регулятора пониженного порядка» - Вестник Томского государственного университета: Управление, вычислительная техника и информатика, 2021, - 8 с.
3. Фантони И., Лозано Р. «Нелинейное управление механическими системами с дефицитом управляющего воздействия» - М. – Ижевск: ООО «Компьютерная динамика», 2012, - 312 с.

РАЗРАБОТКА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТА

В.А. Кириченко

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В данной работе приводится описание и устройство цилиндрического линейного синхронного двигателя, который по проекту исполняет роль привода тормозной системы автономного квадроцикла. Приводятся рассчитанные характеристики двигателя, обеспечивающие необходимое линейное усилие >105Н. Также приводятся построенные 3D-модели ЦЛСД.

Ключевые слова: цилиндрический синхронный линейный двигатель, тормозная система, главный тормозной цилиндр.

Целью реализации данного проекта является необходимость усовершенствования способа воздействия на тормозную систему автономного квадроцикла «Тигра», построенного на базе лаборатории электропривода и мехатронных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Текущий способ воздействия представлен на рис. 1, конструкция состоит из главного тормозного цилиндра (1), двигателя постоянного тока с линейным актуатором (2), опорной гайки (3) и металлического рычага (4).

Работа тормозной системы осуществляется за счет воздействия актуатором на рычаг, опорой которого является ось с гайкой. Причем ДПТ сам по себе недостаточно мощный для воздействия на тормозной цилиндр, однако за счет правильно подобранного соотношения плеч рычага актуатору удается создать линейное усилие (~105Н), достаточное для того чтобы продавить цилиндр для осуществления торможения квадроцикла.

Данная система, очевидно, является крайне неэффективной и ненадежной, в связи с чем и возникла потребность в ее усовершенствовании. Для реализации нового способа воздействия на тормозную систему электромагнитным преобразователем энергии был выбран цилиндрический линейный синхронный двигатель, который будет воздействовать на тормозной цилиндр напрямую, без системы рычагов.

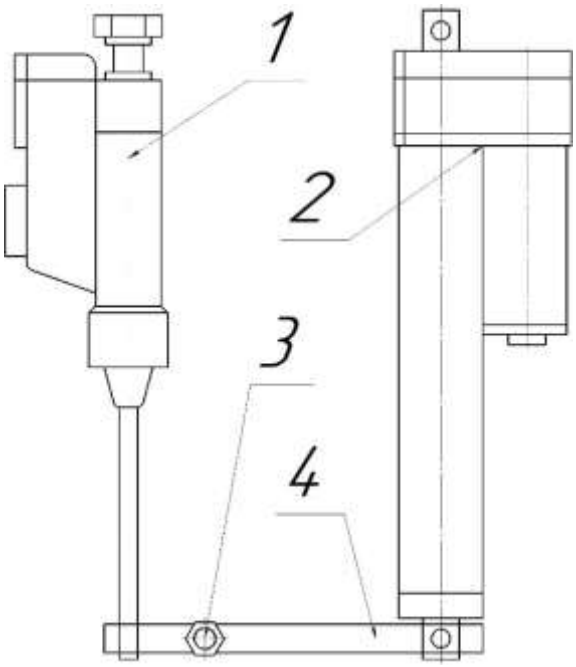


Рис. 1. Текущий способ воздействия на тормозной цилиндр

Линейные двигатели преобразуют электрическую энергию, потребляемую из сети, непосредственно в линейное поступательное движение исполнительного органа без каких-либо промежуточных механических устройств, тем самым увеличивая КПД всей системы. Характерной особенностью линейных двигателей является разомкнутость индуктора и вторичного элемента (ротора), что приводит к неравномерному распределению магнитного поля по длине воздушного зазора двигателя и его выпучивания за пределы индуктора, таким образом проявляется продольный краевой эффект [1–3].

ЦЛСД состоит из неподвижного цилиндрического индуктора и штока с постоянными магнитами и ферромагнитными полюсами (обычно изготавливаются из стали или алюминия). Индуктор состоит из стальных чашек, в пазы которых уложены цилиндрические катушки, образующие трехфазную обмотку. ЦЛСД в разрезе представлен на рис. 2. Принципиальная конструкция состоит из статора (неподвижная часть), включающего индуктор (1), состоящий из немагнитных чашек и катушек, уложенных в чашки и образующие единую трехфазную обмотку (2), а также ротора (вторичный элемент, исполнительный орган, подвижная часть), который включает немагнитный шток (3), постоянные магниты с аксиальным намагничиванием (4) и полюсы (5). Ротор соединяется со статором с помощью подшипников скольжения [1].

Трехфазная обмотка создает на внутренней поверхности индуктора волну магнитной индукции, бегущую вдоль оси корпуса двигателя [4]. На рис. 3 изображено расположение фаз катушки в ЦЛСД. Магниты расположены в ориентации NS-SN-NS, где N обозначает северный полюс, а S – южный полюс магнита. Такое изменение ориентации обеспечивает большую напряженность магнитного поля вблизи области одноименных полюсов. При подаче напряжения на катушки они вызывают силу, действующую на постоянные магниты в соответствии с уравнением силы Лоренца. Металлические полюсы, расположенные между магнитами, позволяют достичь упрощения конструкции двигателя [5].

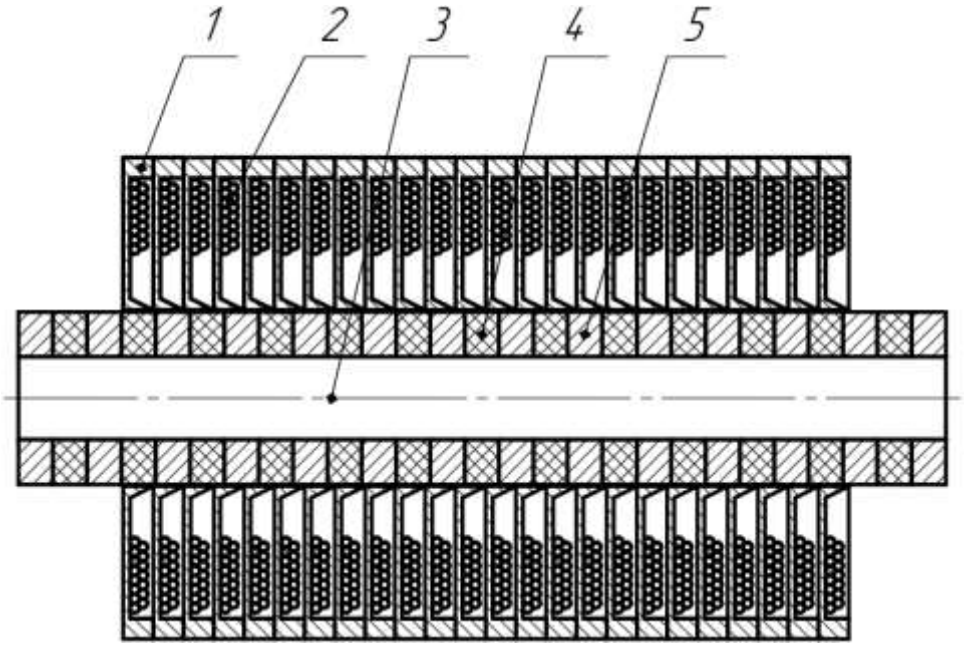


Рис. 2. Продольный разрез цилиндрического синхронного линейного двигателя

Для расчета была принята методика А.Д. Коротаева, в которую были внесены изменения, позволяющие применить её к малогабаритным машинам [6; 7].

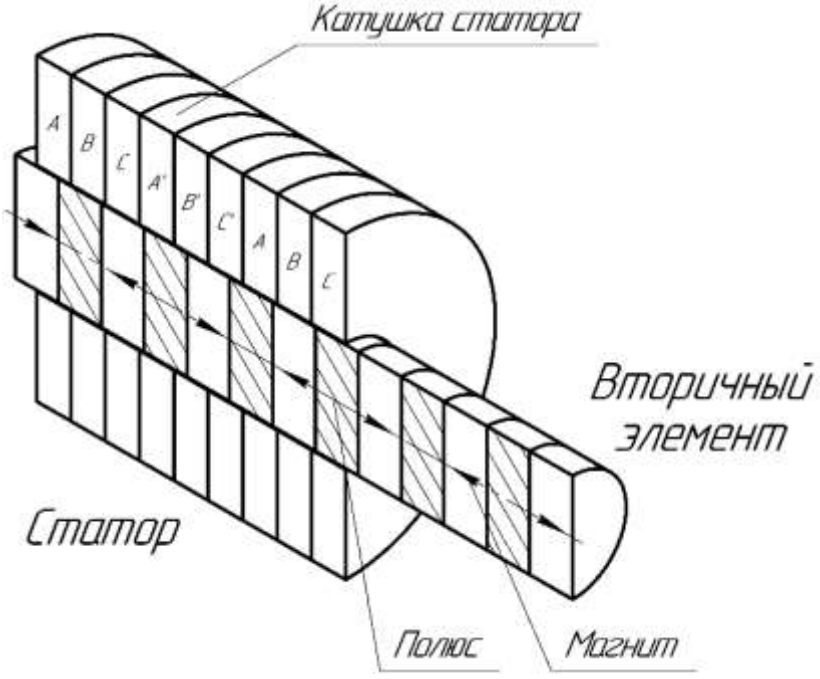


Рис. 3. Расположение фаз катушек в ЦЛСД

По результатам расчетов были получены следующие характеристики двигателя (табл. 1):

Таблица 1

Характеристики ЦЛСД

Параметр	Обозначение	Значение
рассчитанное линейное усилие	F	111.845 Н
полюсное деление индуктора	τ	0.04 м
длина индуктора	l_{mod}	0.1056 м
диаметр магнита вторичного элемента	D_m	$25 \cdot 10^{-3}$ м
диаметр вторичного элемента	D_2	$25 \cdot 10^{-3}$ м
диаметр двигателя	D_1	$70 \cdot 10^{-3}$ м
ширина магнита вторичного элемента	b	$5 \cdot 10^{-3}$ м
ширина полюса вторичного элемента	b_n	$5 \cdot 10^{-3}$ м
внутренний диаметр магнита вторичного элемента	d_m	$10 \cdot 10^{-3}$ м
размер воздушного зазора	δ	$0.25 \cdot 10^{-3}$ м
остаточная индукция магнита	B_r	1.18 Тл
остаточная напряженность магнита	H_0	$960 \cdot 10^3$ $А/м$
количество витков в пазе катушки индуктора	W	15
зубцовое деление	t_z	$4.4 \cdot 10^{-3}$ м
номинальный действующий ток	I	3 А

Чашки индуктора изготавливаются из стального круга Ст45. На рис. 4 представлено схематичное их изображение.

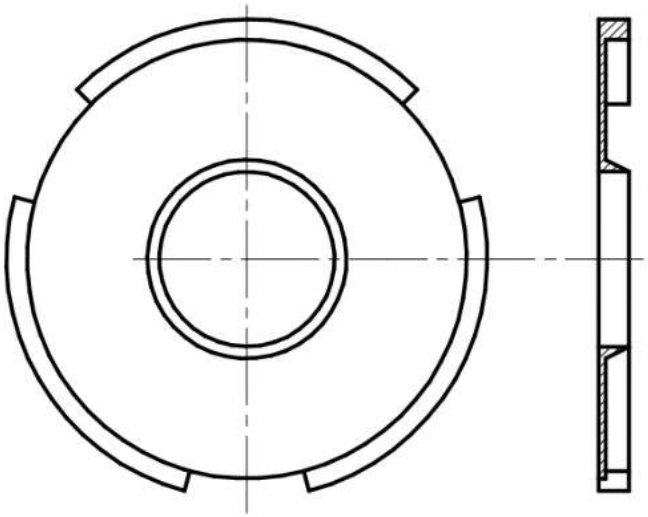


Рис. 4. Чашка индуктора

Результатом проведенной работы является построенная по результатам расчетов была 3D-модель ЦЛСД (рис. 5-7). Медным цветом обозначена обмотка, соответствующая диаметром изолированной обмотке.

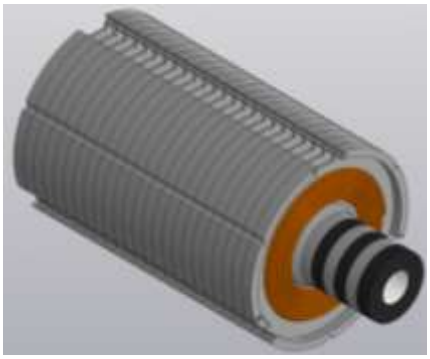


Рис. 5. Цилиндрический линейный синхронный двигатель

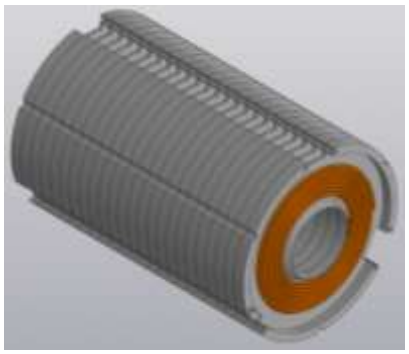


Рис. 6. Индуктор

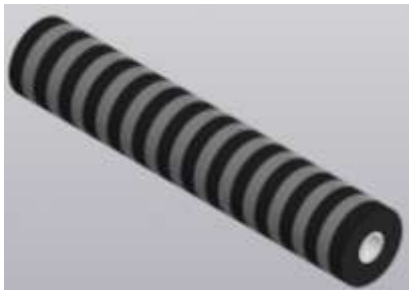


Рис. 7. Вторичный элемент

Список литературы

1. Чабанов Е. А. Конструкция и технология изготовления цилиндрического линейного вентильного двигателя с постоянными магнитами для электропривода шлифовального станка / Е. А. Чабанов, А. Д. Коротаев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2021. – № 40. – С. 93-108.
2. Мирзин А. М. Усилие тяжения цилиндрического линейного вентильного двигателя с постоянными магнитами между статором и вторичным элементом / А. М. Мирзин, А. Д. Коротаев, С. В. Шутемов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 185.
3. Чирков Д. А. Повышение тягового усилия цилиндрического линейного вентильного двигателя / Д. А. Чирков. – Казанский государственный энергетический университет, 2020. – 128 с.
4. Тимашев Э. О. Режим работы цилиндрического линейного вентильного двигателя при добыче нефти / Э. О. Тимашев, Д. А. Чирков, А. Д. Коротаев // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие», Санкт-Петербург, 28–30 января 2019 года. – 2019. – Т. 2. – С. 76-81.
5. Kim W. J. Design and construction of a novel tubular linear motor with controller for robotics applications / W. J. Kim, B. C. Murphy // American Society of Mechanical Engineers, Dynamic Systems and Control Division (Publication) DSC. – 2003. – Т. 72. – № 1. – С. 475-484.
6. Метод расчета магнитной цепи цилиндрического линейного вентильного двигателя по схеме замещения / А. Д. Коротаев, Д. А. Чирков, А. Т. Ключников [и др.] // Автоматизация в электроэнергетике и электротехнике. – 2016. – Т. 1. – С. 144-149.
7. Плюснин А. П. Расчет линейного двигателя для целей бионического протезирования / А. П. Плюснин, Д. А. Опарин, А. В. Опарина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2022. – № 41. – С. 189-214.

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

М.А. Кузнецов, Ч. Хунянь

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В статье рассматривается вопрос повышения безопасности эксплуатации литий-ионных аккумуляторных батарей в различных электроэнергетических системах (стационарных и транспортных) мощностью от десятков ватт до гигаватт. Повышение безопасности на сегодня можно достигать за счет введения в систему контроля батареи внешнего наблюдателя, улучшения системы управления самой батареи и введения функции внешнего оповещения об опасности. Для улучшения характеристик жизненного цикла аккумуляторной батареи предлагается дополнительно использовать способ выравнивания зарядов с помощью схем преобразователей электроэнергии. Система управления батареи

должна самостоятельно оценивать параметры и характеристики аккумуляторов, которыми она управляет. В качестве примера использованы публикации Китая.

Ключевые слова: Система управления, аккумуляторная батарея, безопасность эксплуатации

С развитием возобновляемых источников электроэнергии быстро развиваются технологии хранения этой электроэнергии для согласования с режимами энергопотребления. Среди различных технологий хранения энергии литий-ионные аккумуляторы составляют более 97% благодаря их стабильной работе, низкому загрязнению окружающей среды и быстрой зарядке. Возьмем, к примеру, Китай: в 2021 году новая установленная мощность электрохимических накопителей энергии составила 1844,6 МВт, из которых 99,3% приходилось на технологию хранения электроэнергии в литий-ионных батареях (1830,9 МВт), только 0,5% составили другие технологии. Согласно статистике CNESA, в 2022 году новая установленная мощность электрохимических накопителей энергии в Китае составила около 5,93 ГВт, увеличившись на 221,48%, совокупная установленная мощность электрохимических накопителей энергии в Китае достигла 11 ГВт, впервые преодолев отметку в 10 ГВт. В январе-июне 2023 года введены в эксплуатацию новые проекты электрохимического хранения энергии, всего 143 проекта установленной мощностью 6,93 ГВт [1].

Рост сосредоточенного хранения необходимого количества энергии для генерации такой установленной мощности сопряжено с множеством факторов, влияющих на безопасность эксплуатации, рисками аварий. Источником опасности являются, в первую очередь, сами аккумуляторы (положительный тепловой эффект, самовозгорания из-за повреждения оболочек, сложность соблюдения заданного режима эксплуатации)

Существующие научные работы по системам управления в основном сосредоточены на исследованиях определения остаточной энергии. Так, Guo YongFang, Huang Kai предложили оценку энергии по кривым зарядки постоянного тока посредством измерений прямых переменных и анализа косвенных переменных [2], другие ученые применили экспериментальные методы для анализа фактического накопления энергии при различных токах зарядки и разрядки и в разных средах [3].

Однако, это касается лишь контроля ресурса аккумуляторной батареи, и не развивает тему безопасности эксплуатации самой батареи.

Поскольку система хранения энергии литиевой батареи представляет собой многопараметрическую и сильно-связанную нелинейную систему, улучшенная система управления должна обеспечивать выполнение двух динамических процессов зарядки и разрядки и одного статического процесса под автоматическим контролем и управлением. Система автоматического мониторинга и управления должна обеспечивать безопасный и стабильный поток данных в соответствии с режимом работы системы хранения энергии.

На рис. 1 представлена традиционная структура накопителя энергии на основе аккумуляторных батарей. Аккумуляторная батарея представлена в виде n последовательно включенных ячеек (аккумуляторов); в узлах обозначены потенциалы схемы, начиная от нулевого ($U_{АБ(-)}$) и, заканчивая верхним потенциалом батареи ($U_{АБ(+)}$). Сегодня практически все аккумуляторные батареи на основе литий-ионных аккумуляторов используются обязательно с системой управления.

Система управления для ячеек маленькой мощности, как правило, конструктивно связаны в единый блок. Для больших накопителей энергии система может выполняться

распределенной, в том числе, часть блоков системы (решающие) может размещаться вдали от аккумуляторов.

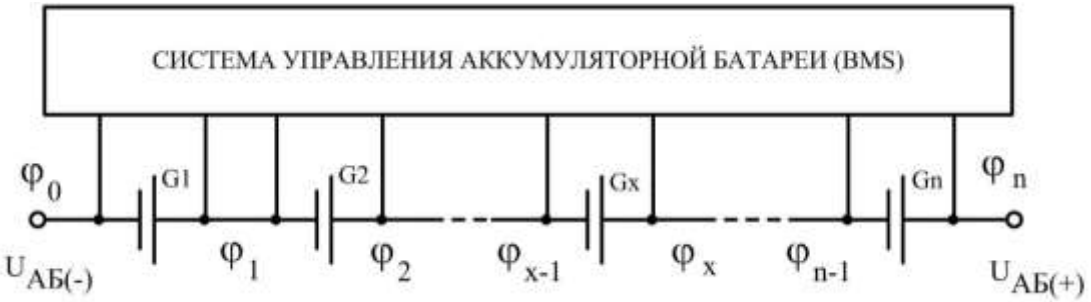


Рис. 1. Типовая структура накопителя электроэнергии

Показанная на рис. 1 схема с точки зрения безопасности обладает существенным недостатком: если возникший дефект по каким-то причинам не выявляется имеющимися встроенными датчиками, то, во-первых, его практически невозможно обнаружить. Во-вторых, этот дефект может привести к отказу контроля в части условий безопасности – не сформировать вовремя сигнал об опасности. То есть, такая система управления батареи, выполняющая функции исключительно по совокупности доступных диагностических признаков, не видит объект со стороны, его физических полей (теплового, электромагнитного, …).

Выполнив анализ дальнейших путей совершенствования таких систем с точки зрения безопасности, пришли к выводу о необходимости создания систем управления батареи нового типа, с внешним наблюдающим устройством (системой мониторинга), которое будет способно наблюдать за изменением создаваемого контролируемым объектом физическим полем (например, тепловым).

На рис. 2 представлена предлагаемое изменение структурной схемы. Дополнительные блоки связаны с имеющимися цифровым или иным интерфейсом обмена данных. Однако основным определяющим фактором для анализа являются физические поля, создаваемые самим контролируемым объектом. Очевидно, что количество и тип датчиков может быть меньше количества контролируемых элементов в совокупности. Это позволяет найти оптимальное решение по сочетанию первичных преобразователей.

Для контроля теплового поля такими датчиками могут выступать как пирометрические преобразователи, так и более сложные тепловизионные телекамеры (для батарей с линейным размером более метра).

Пропорционально будет меняться и энергия, затрачиваемая на функции контроля.

Для массового применения такое построение структуры актуально в общественных местах и транспортных средствах. В таких средах объект представляет собой разнородную структуру, не имеет связи с внешним мониторингом. В этом случае использование внешнего мониторинга может позволить выявить объект с опасным нарушением функционирования. Способ контроля патентуется соавтором публикации в настоящее время [5].

На рис. 3 представлен фрагмент схемы управления батареи, где схема выравнивания заряда представлена только функцией выравнивания в процессе зарядки. Схема обратноходового преобразователя предлагается как схема зарядки одной батареи. Характеристики формы и структуры просты и дешевы.

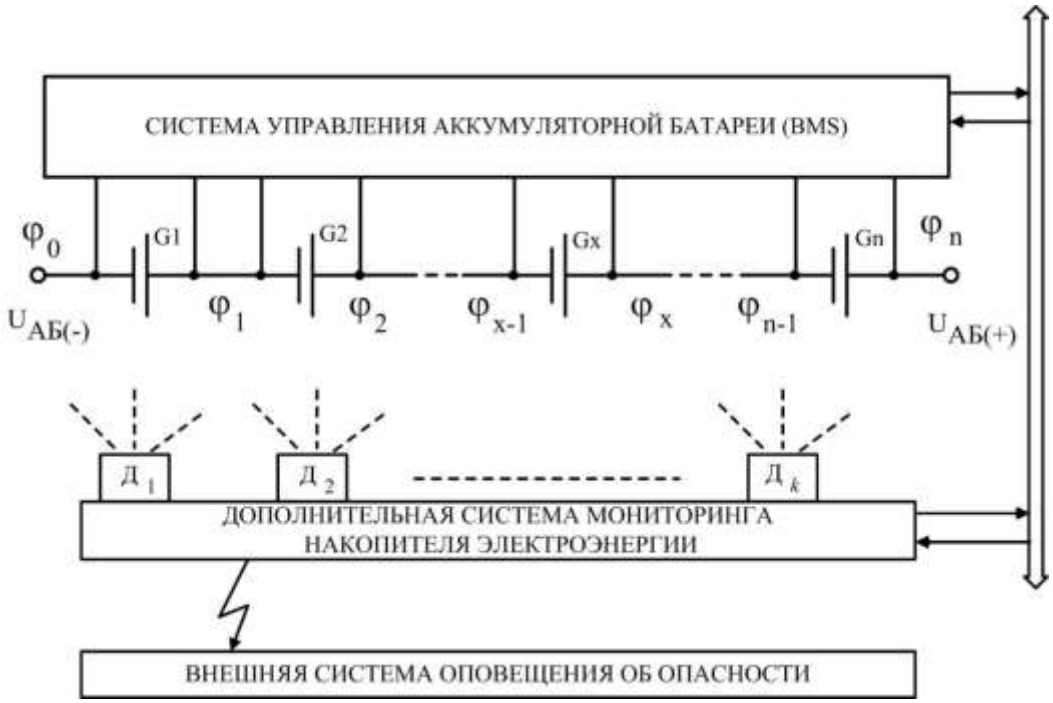


Рис. 2. Предлагаемое дополнение системы управления

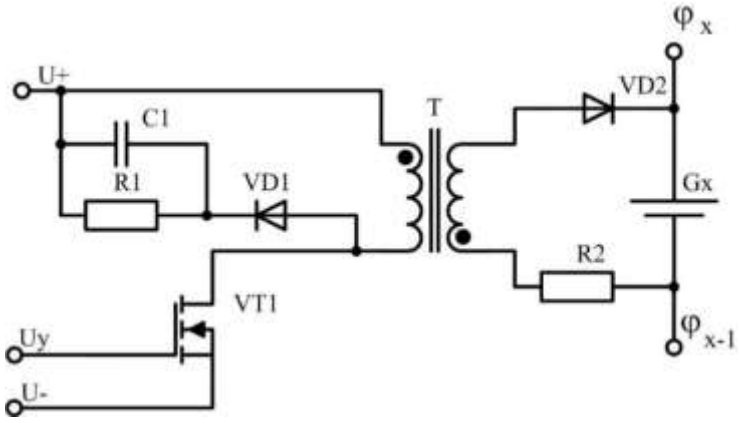


Рис. 3. Предлагаемая схема подзарядки аккумулятора для выравнивания заряда

Ток, напряжение и емкость одной батареи эффективно определяются путем мониторинга в режиме реального времени, что позволяет избежать взаимодействия между батареей и цепью, снижает помехи и повышает безопасность системы управления

В заключение отметим, что процесс контроля параметров аккумуляторной батареи должен начинаться уже в период изготовления [6]. Но из-за взрывного увеличения количества применяемых батарей в качестве накопителей электроэнергии, заложенных на этапе технических решений оказывается недостаточно, чтобы избежать аварии или катастрофы по техническим причинам. При том что сами технические решения многократно и достоверно испытываются и проверяются. Это и определяет необходимость использования внешнего технического мониторинга – как инструмента повышения безопасности!

Любое внедрение нового решения, как правило, увеличивает стоимость изделия или услуги. Однако, в этом случае цена может быть незначительно, а решения традиционных

систем управления батареи сегодня могут быть пересмотрены в лучшую сторону (минимизации избыточных функций контроля ресурсов).

Список литературы

1. The China Energy Storage Alliance. http://www.cnesa.org/, 25.04.2024.
2. YongFang Guo , Kai Huang , XiaoYa Hu. A state-of-health estimation method of lithium-ion batteries based on multi-feature extracted from constant current charging curve, Journal of Energy Storage, Volume 36, April 2021, https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102372
3. Hrvoje Baši´c, Vedran Bobanac and Hrvoje Pandži´c. Determination of Lithium-Ion Battery Capacity for Practical Applications, Batteries 202309, 459. https://doi.org/10.3390/batteries9090459
4. Гельман М.В., Дудкин М.М., Преображенский К.А. Преобразовательная техника. Челябинск, Издательский центр ЮурГУ,2009
5. Система обнаружения для запрещенных предметов пассажиров автобусов. Заявка на патент 2023233019484, Китай, дата подачи заявки 2023-12-05
6. Леута А.А., Лукичев А.Н., Руднева Т.П. Система управления зарядом-разрядом батареи литий-ионных аккумуляторов // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2017. – № 2. – С. 39-42

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОТХОДОВ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ

А. Курова, К.А. Порохненко

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В статье рассмотрено создание системы автоматического распознавания отходов для дальнейшей переработки, а также прототипа конвейерной линии.

Ключевые слова: микроконтроллер STM32, распознавание.

Высокоэффективная переработка пластиковой PET-тары требует качественного и высокоточного отбора. Для отбора необходимых бутылок есть разные критерии: состав, размер, толщина стенок тары, степень поврежденности, степень загрязнения и цвет. Для достижения поставленной цели сортировка будет происходить по цвету.

Для правильного выбора компонентов конвейерной станции следует понять принцип ее работы. Для начала сортировки нужно поместить бутылку на приемную площадку, откуда начнется движение по конвейерной ленте. При поступлении бутылки сработает оптический датчик обнаружения, принцип действия которого основан на отражении оптического сигнала от поверхности. Оптический датчик подаст управляющий сигнал для запуска электрического двигателя, который запустит движение конвейерной ленты. Как только пластиковая тара достигает видеокамеры начинается процесс распознавания.

В основе работы лежит процесс распознавания техническим зрением объектов в виде изображений, которые передаются в систему и распознаются нейронной сетью. Нейронная сеть сопоставляет изображение с камеры с заданными параметрами (цвет), которые уже заложены в нейронную сеть и имеют свой алгоритм отбора.

Далее при помощи протокола связи UART на отладочную плату STM32F411 подается логическая единица или ноль, в зависимости от полученных результатов. При несоответствии с заданными параметрами линейный привод вытолкнет бутылку за пределы конвейерной ленты в специально отведенное место, а нужная бутылка поедет дальше – на переработку.

Рис. 2. Компонентная база разрабатываемой системы

Барабаны являются одним из основных элементов ленточного конвейера. В зависимости от выполняемой функции в работе конвейера, они могут быть: приводные и натяжные. В свою очередь, натяжные барабаны бывают хвостовыми, головными, оборотными, обводными, прижимными, отклоняющими.

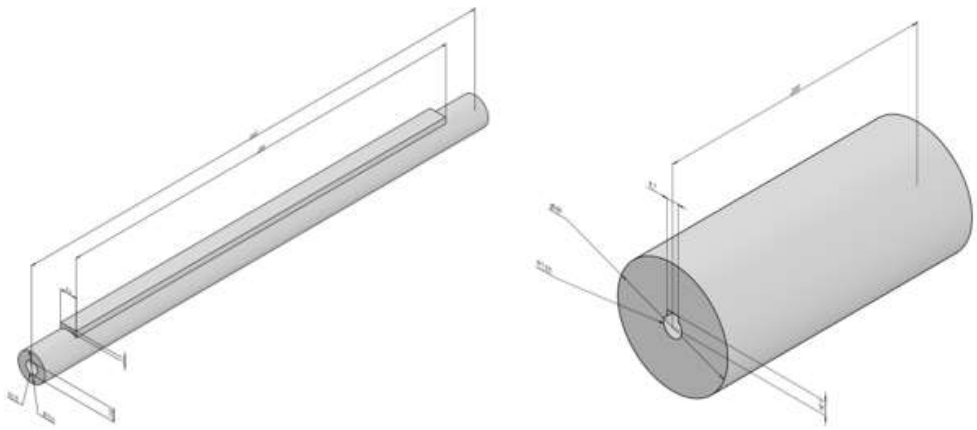


Рис. 2. Моделирование вала и барабана установки

Для полноценной сборки системы необходимы детали, которых нет в свободной продаже, поэтому использована печать на 3D-принтере. Для сборки конвейерной ленты необходимы валы и барабаны, перетягивающих ленту.

Приводной барабан является важной составляющей корректно работающей конвейерной ленты, он установлен в начале конвейера в паре со специальным валом, соединенным через редуктор с электродвигателем. Лента запускается в работу от вращательных движений, которые передаются от мотора редуктора или электродвигателя к приводному барабану.

Для фиксации приводного вала шариковые радиальные подшипники устанавливаются на деревянную панель, а двигатель крепится к панели монтажным крепежом.

Распознавание цвета пластиковой тары напрямую зависит от задаваемых оператором диапазонов цвета в цветовой модели HSV. Разработав и отладив программу с помощью языка программирования Python, можно приступать к определению границ цветового спектра. За основные цвета возьмем: прозрачный, синий, зеленый, коричневый.

Выбранным цветам соответствует диапазоны:

- синий HSV;
- зеленый HSV;
- коричневый HSV.

Прозрачные пластиковые тары имеют неопределенный диапазон, поэтому для распознавания пластиковых тар будет использоваться другой алгоритм распознавания, который заключается в отражении света от поверхности пластиковых тар. Часть поверхности отражает свет в виде белого цвета, таким образом именно белый цвет станет ключевым в распознавании прозрачных пластиковых тар. Одна из проблем в сортировке прозрачных бутылок именно этим алгоритмом – ошибочное определение белых бутылок вместо прозрачных, поэтому введем ограничение по количеству пикселей белого цвета.

Все необходимые данные будут получены при помощи видеокамеры, зафиксированной над рабочей площадкой.

Список литературы

1. Перспективы рынка полиэтилентерефталата (PETG) / [Электронный ресурс] // [сайт]. — URL https://www.futuremarketinsights.com/reports/polyethylene-terephthalate-glycol-market (дата обращения: 20.04.2024).
2. Qin, J.; Wang, C.; Ran, X.; Yang, S.; Chen, B. A robust framework combined saliency detection and image recognition for garbage classification. Waste Manag. 2022, 140, 193–203.
3. Конвейеры: справочник / Р. А. Волков [и др.]; под общ. ред. Ю. А.Пертена. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 367 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Л. Цзэинь[1], О.А. Малышева[1]

[1]*Дальневосточный государственный университет путей сообщения*

Аннотация. Рассмотрен вопрос создания микроэнергетической сети для энергоснабжения удаленных изолированных потребителей на основе энергетической комплиментарности (взаимодополняемости) с использованием локальных энергетических ресурсов. Выявлена необходимость определения количественных значений показателей энергетической эффективности взаимодополняющих источников энергии для создания мультиэнергетической системы энергоснабжения. Взаимодополняемость эксплуатационных характеристик и оптимизация конфигурации новых источников энергии становится одним из эффективных средств повышения надежности электроснабжения.

Ключевые слова: микроэнергетическая сеть, энергетическая комплиментарность (взаимодополняемость), энергоснабжение.

С момента входа в XXI-й век доля энергии от ископаемых (уголь, нефть, природный газ) и гидроэнергетических ресурсов в энергопотреблении Китая всегда составляла более 85%. Чтобы справиться с растущим спросом на электроэнергию и нехваткой ископаемых

ресурсов неизбежной тенденцией стало исследование и разработка новых источников энергии, таких как солнечная энергия и энергия ветра, приливная и геотермальная энергия, а также другие виды возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и различные их комбинации.

По данным [1, 2] в 2021 году Китай стал первой страной в мире, в которой установленная мощность ВИЭ превысила 1 ТВт. При этом Китай также занимает лидирующие позиции почти по всем видам технологий ВИЭ.

Поскольку энергетическая мощность новых видов энергии является нестабильной и неопределенной, зависящей, например, от силы ветра, которая может в одинаковые промежутки времени колебаться в очень широком диапазоне, таким образом серьезно влияет на качество электроэнергии и стабильную работу основной сети электроснабжения, что ограничивает широкое использование и развитие новых технологий использования ВИЭ. Тогда решение вопроса надежного электроснабжения потребителей от этих источников энергии может быть решен с применением дополнительных мер, таких как [3]: работа в централизованной электрической сети в режиме максимальной выработки электрической энергии; создание средств регулирования величины потребления электроэнергии, в том числе путем установки устройств с балластным сопротивлением или накопителей энергии на стороне потребителя; объединение одного или нескольких типов электростанций ВИЭ в гибридные энергокомплексы совместно с дублирующими источниками надежного энергоснабжения на органическом топливе (например, дизельные электростанции), что в наибольшей степени удовлетворяет требованиям надежного энергоснабжения потребителей изолированных энергосистем.

Во многих странах, чтобы повысить частоту использования новой энергии, появился термин Micro-Grid или микроэнергетическая сеть, который получил широкое распространение, как термин характеризующий использование различных типов энергетических характеристик для создания многовидовой энергетической комбинированной системы и увеличения коэффициента доступа к новым видам энергии.

Микроэнергетическая сеть представляет собой взаимосвязанную систему многих видов источников энергии небольшой мощности, которая обеспечивает дополнительные преимущества за счет оптимизации совместного использования различных форм энергии при производстве, передаче, потреблении электрической энергии, сокращая затраты её на передачу, делая потребление энергии более эффективным и в целом способствуя повышению комплексной энергоэффективности. Физически это небольшая система производства и распределения электроэнергии, состоящая из распределенных источников энергии, устройств накопления и хранения энергии, нагрузок, блоков защиты и управления, которые могут осуществлять самоконтроль, защиту и управление. Такие микроэнергетические сети широко используются в районах, удаленных от энергосистем, например, в горных районах, сельскохозяйственных районах, труднодоступных местностях или на островах, где отсутствует традиционное энергоснабжение и имеется морально устаревшая инфраструктура энергоснабжения. Их применение не только улучшает стабильность изолированной энергосистемы, но и снижает загрязнение окружающей среды, способствует развитию технологий использования ВИЭ, оптимизирует энергетическую структуру, тем самым обеспечивая социальную и экономическую выгоды для потребителей.

Работа микроэнергетических сетей с дополнительными источниками энергии является более гибкой и облегчает оптимальную компоновку и взаимную координацию нескольких

источников энергии, но в настоящее время существует только общая концепция взаимодополняемости между использованием нескольких видов источников энергии, и отсутствует точное понимание, а также не существует нормативных документов, в которых были бы прописаны характеристики и требования к составу и режимам работы таких сетей с использованием мультиэнергетической взаимодополняемости, основными из которых должно быть то, что система управления энергопотреблением должна координировать выходную мощность каждого распределенного источника электроэнергии на основе прогноза нагрузки и выходной мощности, мощностей зарядки и разрядки накопителей энергии. Поэтому необходимо определить нормативные требования к показателям и их количественное выражение для оценки эффективности взаимодополнения нескольких источников энергии [4].

Используя в полной мере взаимодополняемость между различными источниками энергии, такая система может снизить зависимость от накопления энергии и даже отменить звенья для аккумулирования энергии, что снижает стоимость строительства и затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание микроэнергетической сети. Для повышения эффективности использования энергии необходимо соблюдать баланс и оптимизировать конфигурацию каждого компонента системы с учетом разнообразия и мощностей оборудования для удовлетворения потребностей в электрической и тепловой энергиях.

Список литературы

1. REN21: Renewables 2022 Global Status Report // https://www.ren21.net/reports/global-status-report/.
2. Возобновляемая энергетика в России и мире // РЭА. Минэнерго России. Москва. 2022. – 105 с.
3. Тягунов М.Г., Шевердиев Р.П. Влияние режимов работы гибридных энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии на определение типа аккумуляторов энергии // Вестник МЭИ. 2020. № 4. С. 62–70.
5. Велькин В. И. Энергоснабжение удаленного объекта на основе оптимизации кластера ВИЭ : монография / В. И. Велькин. – Екатеринбург : УрФУ, 2013. – 100 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ И ФОРМЫ РЕБЕР ТЕРМОЭЛЕКТРОДА МОДУЛЯ ПЕЛЬТЬЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТВОДА ТЕПЛА

П.В. Любимов[1]

[1]*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II*

Аннотация. Термоэлектрический модуль Пельтье, как следует из названия, представляет собой генератор тепловой и электрической энергии, порождение которых обуславливается эффектами Пельтье и Зеебека. Этот элемент состоит из двух полупроводниковых материалов, которые соединены между собой и образуют термоэлектрическую пластину. Подобный элемент находит свое применение во многих областях промышленности, как правило, исполненный комплексной конструкцией, состоящей из нескольких элементов Пельтье с системами охлаждения для повышения КПД. В работе исследуется влияние формы ребер и расположения термоэлектродов относительно друг друга на процесс отвода тепла с поверхности набегающим потоком воздуха с целью определения оптимальной конструкции модуля. Данная конструкция позволяет нивелировать недостаток эффективности, возникающий вслед за протеканием явления теплопроводности, образованием теплоты Пельтье и Джоулевой теплоты.

Ключевые слова: Модуль Пельтье, энергосбережение, теплоэнергетика, термоэлектрический генератор

Принципиальная схема модуля Пельтье и сам модуль отображены на рис. 1, за рабочий аналог принимается модель TEC-12706.

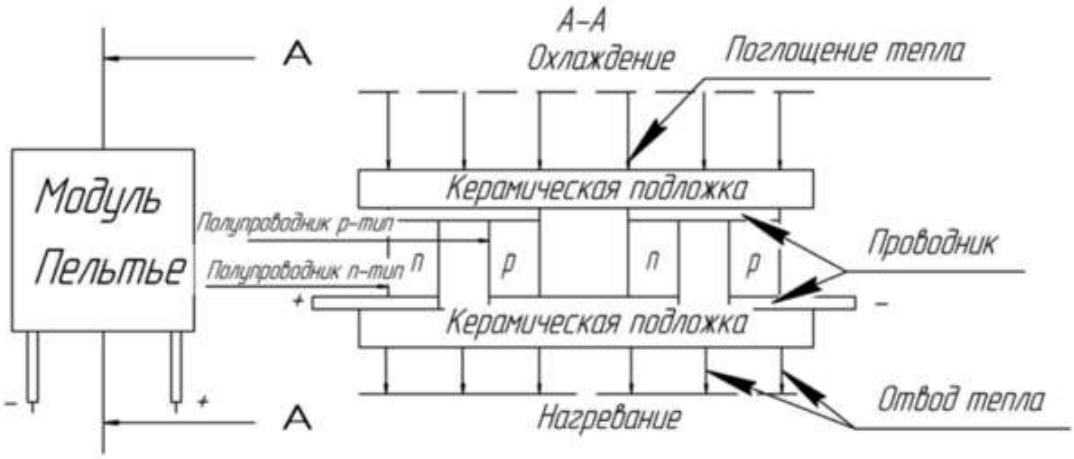


Рис. 1. Принципиальная схема элемента Пельтье

В таблицу 1 включена основная геометрия термоэлектродов, в работе спаевая связь термоэлектродов представлена p-n переходом из нитрида аллюминия – n и аллюминия – p, являющегося донором электронов.

Таблица 1

Основные характеристики

Параметр-значение			
Материал пластины спая	Медь	Температура холодного источника	20 °C
Площадь обтекамой поверхности	24 $м^2*10^{-6}$	Температура p-n перехода	40 °C
Радиус скругления	1 мм	Скорость потока	0,5 м/с

На рис. 2 приводится триметрическая картина математической модели Пельтье.

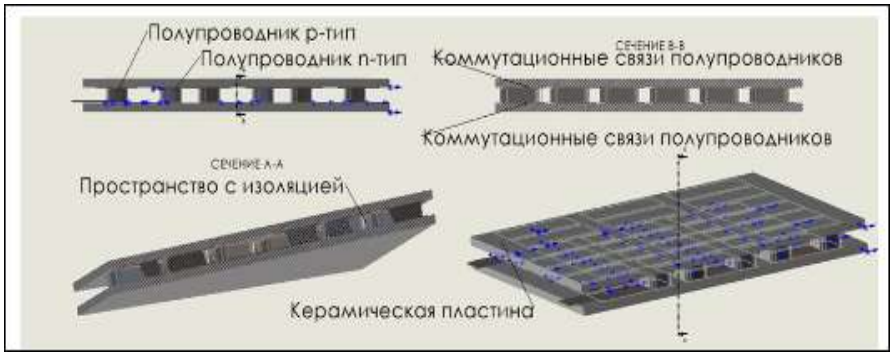


Рис. 2. Триметрическая картина модуля Пельтье с сечениями видов A-A и B-B

Поскольку расчёт элемента Пельтье может упрощаться до одного p-n перехода, так как эффект Пельтье основан на взаимодействии электронов проводимости с тепловыми колебаниями атомов в полупроводнике, в качестве математической модели принимается один p-n переход, представленный на рис. 3, где арабскими цифрами обособляются вариации формы, обозначения 1 – форма параллелепипеда и 2 – форма со скруглениями ребер, и расположения исследуемых термоэлектродов, обозначения 3 – цилиндрическая

форма, расположение перекрытием и 4 – цилиндрическая форма со смещением, соответствующие двум типовым схемам расстановки трубных пучков в теплообменных установках, коридорному и шахматному соответственно, на которых отображены траектории потоков и распределение температуры в них [1].

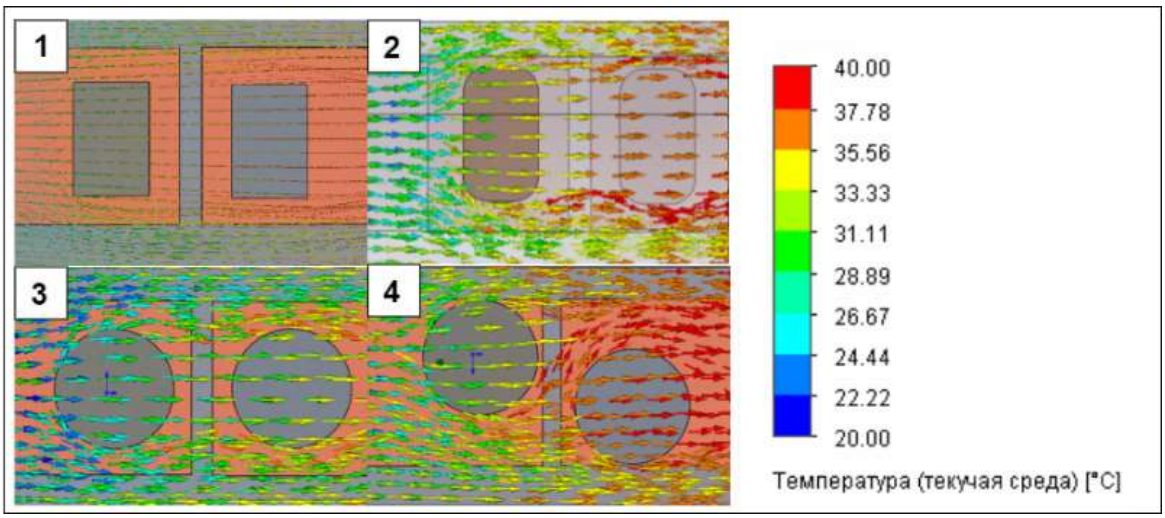


Рис. 3. Траектории и температура потока

Для снятия и описания полученных результатов на рис. 4 вводится нумерация кромок термоэлектрода по длине, по направлению часовой стрелки, с примыкающих площадей поверхности которых, снимаются значения коэффициентов теплоотдачи по направлению движения потока.

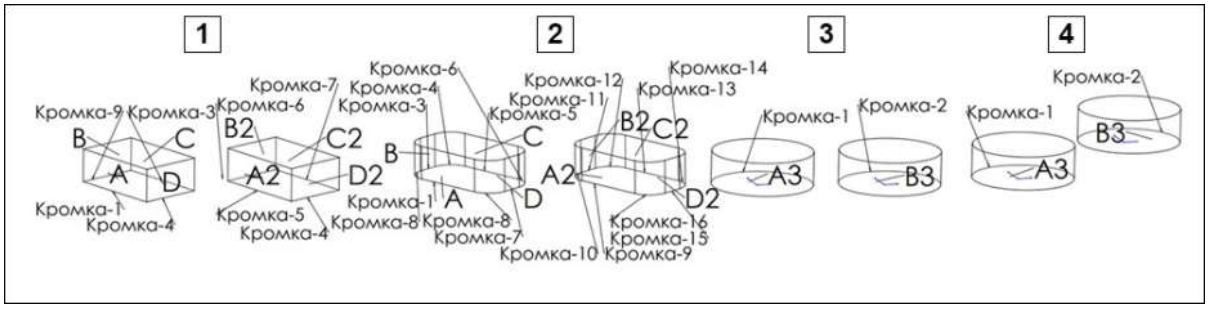


Рис. 4. Нумерация рассчитанных математических моделей модуля Пельтье

Результаты симуляции, снятие значений коэффициента теплоотдачи с нижних кромок термоэлектродов и тех же параметров по поверхностям, приведены на рис. 5 и в таблице 2, построение математической модели ведется с использованием «пакетов» SolidWorks и MathCad [2].

Для p-n переходов моделей соблюдается:

$$r_{1,2} = \frac{\lambda_1 \cdot \delta_1 + \lambda_2 \cdot \delta_2}{l}$$

где:

λ_1 и λ_2 – теплопроводность материалов термоэлектродов [Вт/м*К];

σ_1 и σ_2 – площадь поперечного сечения термоэлектродов [м2];

r_1, r_2, r_3 и r_4 – соотношение характеристик для моделей.

Количество теплоты, отбираемое из горячего источника, равно:

$$Q_{\text{I}} = Q^{II}{}_{\text{I}} + Q_{\lambda} - \frac{1}{2} \cdot Q_{Дж} - Q_{охл}$$

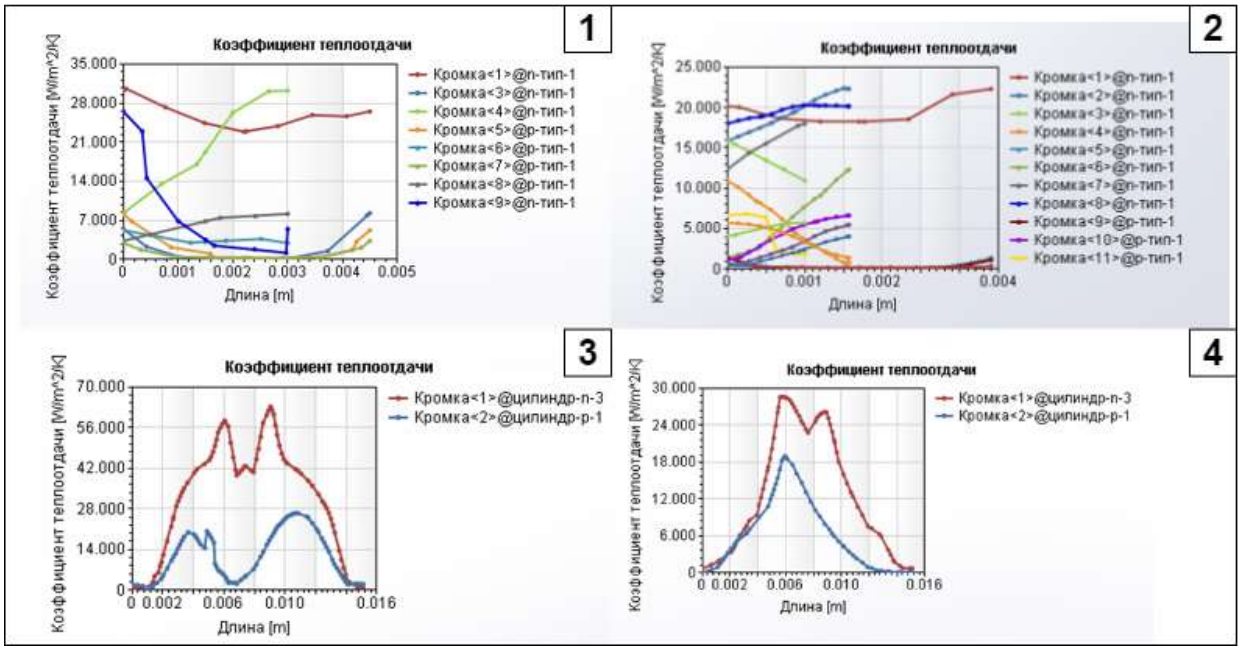


Рис. 5. Значения коэффициента теплоотдачи по поверхностям

Таблица 2

Снятые значения

Поверхностные параметры			
Модель «12» – n полупроводник		Модель «1» – p полупроводник	
A	47 Вт/м^2*К	A2	16 Вт/м^2*К
B	74 Вт/м^2*К	B2	29,5 Вт/м^2*К
C	5,8 Вт/м^2*К	C2	9,5 Вт/м^2*К
D	66 Вт/м^2*К	D2	32 Вт/м^2*К
Модель «2» – n полупроводник		Модель «2» – n полупроводник	
A	37,8 Вт/м^2*К	A2	1,5 Вт/м^2*К
B	71,6 Вт/м^2*К	B2	17,3 Вт/м^2*К
C	0,9 Вт/м^2*К	C2	1,2 Вт/м^2*К
D	21,5 Вт/м^2*К	D2	18,7 Вт/м^2*К
Модель «3» – n полупроводник		Модель «3» – p полупроводник	
A3	131,3 Вт/м^2*К	B3	76,9 Вт/м^2*К
A3 – среднее по площади	40,86 Вт/м^2*К	B3 – среднее по площади	19,54 Вт/м^2*К
Модель «4» – n полупроводник		Модель «4» – p полупроводник	
A3	94 Вт/м^2*К	B3	57 Вт/м^2*К
A3 – среднее по площади	21,5 Вт/м^2*К	B3 – среднее по площади	9,7 Вт/м^2*К

Как следует из представленных результатов, в случае с типовым аналогом, модель «1», коэффициент теплоотдачи неудовлетворителен, задние поверхности, стороны C и C2 недостаточно задействованы в процессе теплообмена, а на сторонах B, D, B2, D2 создаются отрывные течения, вследствие которых с последующего полупроводника тепло не отводится набегающим потоком, модель «2» задействует большую площадь, однако создание обтекаемых поверхностей, зоны B, C, B2, C2, вслед за поверхностью лобового

сопротивления, область А и А2, образуют плотный поверхностный термический слой перебегающий с n на p переход, что негативно сказывается на процессе отвода тепла, области С и С2 мало задействованы, модели «3» и «4» образованы цилиндрическими p-n переходами, с разницей в относительном расположении, так модель «3» вследствие большего обтекания не создает плотного термического слоя, что сказывается на максимальных значениях коэффициента теплоотдачи, цилиндрическая форма термоэлектродов перекрывает меньшие, по сравнению с моделями «2» и «3» встречные площади поверхностей, увеличивая контактную область, максимальная площадь теплообмена между потоком и термоэлектродами наблюдается на модели «4», что делает процесс отвода тепла более равномерным по значениям коэффициента теплоотдачи от n к p переходу, но создание участка лобового сопротивления, в силу смещения, и образование плотного термического слоя в диапазоне ΔT меньшей у p – полупроводника, снижает эффективность отвода тепла, из исследования «вытекает», что оптимальным вариантом формы и расположения термоэлектродов является модель «3».

Проведем сравнительный анализ типового аналога, соответствующий модели «1» с наиболее эффективной полученной моделью «3», для p-n переходов моделей соблюдается условие формулы 1.

Количество тепла «возвращаемое» посредством теплопроводности:

$$Q_{\lambda} = \frac{\lambda_1 \cdot \delta_1 + \lambda_2 \cdot \delta_2}{l} \cdot \left(T_1 - T_2 \right)$$

Джоулева теплота:

$$Q_{Дж} = \frac{o^2 \cdot \left(T_1 - T_2 \right)^2}{r \cdot (1 + v)^2}$$

где:

o – коэффициент пропорциональности [В/К];

v – отношение внешнего сопротивления к сопротивлению термоэлектродов;

Тепло, снимаемое с поверхности внешним источником:

$$Q_{охл} = \alpha_1 \cdot \left(T_{ст_1} - T_{ж_1} \right) \cdot F + \alpha_2 \cdot \left(T_{ст_2} - T_{ж_2} \right) \cdot F$$

КПД термоэлектрического генератора:

$$\eta_T = \frac{I^2 \cdot R}{Q_1}$$

Таблица 3

Результаты расчета

Параметр	Значение типовой аналог	Значение модель “3”
количество тепла, отводимое потоком	0,02 Вт	1,395 Вт
КПД p-n перехода	3,471 %	3,611 %

Предложенная модель эффективно сказывается на процессе отвода тепла, повышая КПД модуля Пельтье, дальнейшая работа может заключаться в исследовании всей группы p-n переходов элемента, траекторий течения и процессов теплообмена, происходящих на поверхностях термоэлектродов.

Список литературы

1. Аметистов Е.В., Белосельский Б.С., Емцев Б.Т., Клименко А.С., Комендантов А.С., Круг Г.К., Лабунцов Д.А., Махров В.В., Морозкин В.П., Охотин В.С., Павлов Ю.М., Протопопов В.С., Реутов Б.Ф., Созиев Р.И., Сычев В.В., Тимрот Д.Л., Тоцкий В.Е., Чистяков В.С., Чичков В.В., Шпильрайн Э.Э., Шурыгин А.П., Ягов В.В: теоретические основы теплотехники теплотехнический эксперимент. – Москва: Изд-во Энергоатомиздат, 1988. – 543 с.
2. SolidWorks Flow Simulation Tutorial // MySolidWorks: информ. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://my.solidworks.com/training/elearning/69/solidworks-flow-simulation (дата обращения 10.01.2024).

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОЙ АСИММЕТРИИ МАГНИТОПРОВОДОВ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

П.И. Симин

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Аннотация. Описывается новый метод определения магнитной асимметрии магнитопроводов машин переменного тока при помощи измерения ЭДС, наведенной в обмотке датчика. Метод позволяет выявлять не качественные магнитопроводы, что улучшит параметры машин переменного тока.

Ключевые слова: магнитная асимметрия, вращающийся трансформатор, контроль параметров.

Введение

Известно [1, 2], что магнитной асимметрии (МА) подвержены магнитопроводы всех электрических машин. Яркое проявление асимметрии наблюдается в измерительных машинах типа вращающийся трансформатор (ВТ). ВТ, применяемые в гиростабилизированных платформах инерциальных систем навигации и углозадающих комплексах, должны обладать высокой точностью определения углового положения ротора относительно статора. В настоящее время прецизионные ВТ имеют погрешность не более 5 угловых секунд. Указанная точность зависит не только от конструктивных особенностей ВТ, но и от технологии производства. МА является основным технологическим фактором, влияющим на точность ВТ. Степень МА оценивают по форме огибающей магнитного поля в зазоре электрической машины [5]. Равномерность магнитного поля магнитопровода зависит от наличия межлистовых коротких замыканий, изменения рабочего зазора ВТ вследствие отклонения геометрии и изменения структуры – направление проката листов, их расположение и тд. [3, 4].

МА заключается в неравномерности индукции магнитного поля в воздушном зазоре, что приводит к изменению направления результирующего вектора магнитного потока $\overline{\Phi}_e$ (рис. 1.) который состоит из вектора $\overline{\Phi}_{es}$ – созданного катушкой возбуждения и вектора $\overline{\Phi}_{ec}$ – вызванного дефектами магнитопровода [6].

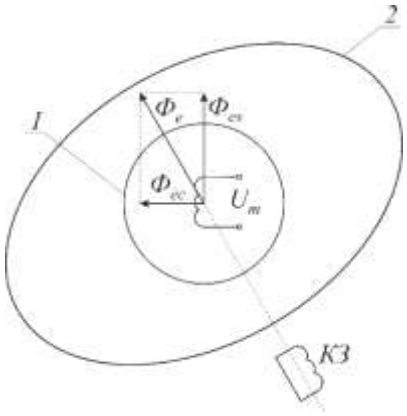


Рис. 1. Влияние магнитной асимметрии: 1 – магнитопровод ротора; 2 – условно эллиптичный магнитопровод статора имеющий короткое замыкание (КЗ) между листами

Вектор $\overline{\Phi}_{ec}$ создает помеху, индуцируя ЭДС в нулевых точках ВТ и увеличивает расхождение начальных отсчетов грубого и точного каналов в двухканальном ВТ, это приводит к увеличению погрешности преобразованного угла.

Определение МА

Существует несколько методов определения магнитной асимметрии магнитопроводов [7, 8, 9, 10] и способов ее компенсации расположением обмоток [11]. Однако используемые методы имеют ряд недостатков, такие как высокая трудоемкость, неточное определение значения МА, неточное определение положения оси МА, использование устаревшего оборудования.

В предлагаемом методе в качестве датчика используется магнитопровод 1 (рис. 2.), с обмоткой, состоящей из двух катушек: К1 и К2, расположенных таким образом, чтобы их оси были ортогональны друг другу. К1 служит в качестве катушки возбуждения, а катушка К2 - в качестве сигнальной.

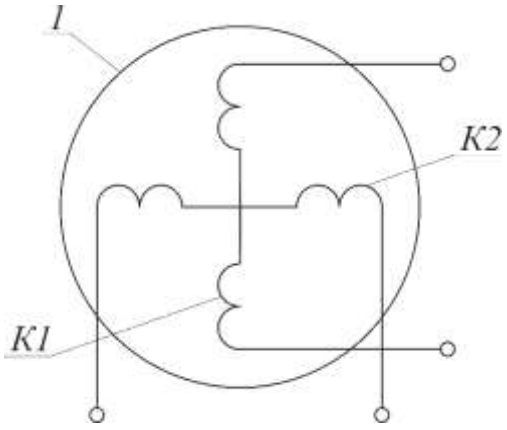


Рис. 2. Датчик

Перед началом работы исследуемый магнитопровод помещается в поворотное приспособление, на котором закреплен датчик. Катушка К1 подключена к генератору сигнала $U_m sin(\omega t)$. Появившийся поток $\overline{\Phi}_{ec}$, индуцирует ЭДС $E_m sin(\omega t + \varphi)$ в сигнальной катушке К2. ЭДС имеет постоянную составляющую, вызванную

не ортогональностью расположением катушек, и переменную обусловленную влиянием неравномерности магнитного поля в воздушном зазоре. Поворачивая исследуемый магнитопровод относительно датчика на угол α, по сигналам, оцифрованным в каждом положении при помощи преобразования Фурье определяется массив $\{\alpha_i; E_{mi};\ \varphi_i\}, i = 1, \dots, n$. Угол α рассчитывается в зависимости от количества положений, ротора (n). n зависит от количества зубцов на магнитопроводе (z_m). Минимальное n для точного определения координат главной оси МА с целью ее компенсации [11], отвечает равенству $n = z_m$. Компенсация МА заключается в расположении обмоток ВТ по осям МА, а также введением дополнительных, регулировочных, обмоток. Для определения главной – большой оси и малой оси МА необходимо дополнить массив координатами точек в декартовой системе координат, получая массив $\{\alpha_i; E_{mi};\ X_i;\ Y_i\}, i = 1, \dots, n,$ где $X_i = E_{mi}\, sin\, \varphi_i, Y_i = E_{mi} \cos \varphi_i$.

График, построенный по данным массива $\{X_i;\ Y_i\}$ (рис. 3.) представляет собой эллипс, соотношение между большой и малой осью которого характеризует степень МА магнитопровода. Для нахождения координат $(X_M; Y_M)$ точки М достаточно найти максимальную амплитуду ЭДС $\hat{E} = \{\hat{E}_{mi}\}, i = 1, \dots, n$. Для нахождения координат точки N необходимо относительно точки М, соответствующей углу α_M, найти значения координат при угле α_N (1).

$$\alpha_N = \alpha_M + \varphi, \text{ где } \varphi = 90^{\circ} \tag{1}$$

Вычисление координаты точек M' и N' малой оси эллипса можно начать с точки $\alpha_{M'}$. Точка $\alpha_{M'}$ будет иметь координаты $(X_{M'}; Y_{M'})$ советующие минимальной амплитуде массива $\check{E} = \{\check{E}_{mi}\}, i = 1, \dots, n$. Координаты точки N' можно найти, повторив вычисления (1). Полученные координаты MN большой и $M'N'$ малой оси позволяют определить длину осей эллипса $L_{MN}, L_{M'N'}$ (2).

$$L_{MN} = \sqrt{(X_M - X_N)^2 + (Y_M - Y_N)^2}$$
$$L_{M'N'} = \sqrt{(X_{M'} - X_{N'})^2 + (Y_{M'} - Y_{N'})^2} \tag{2}$$

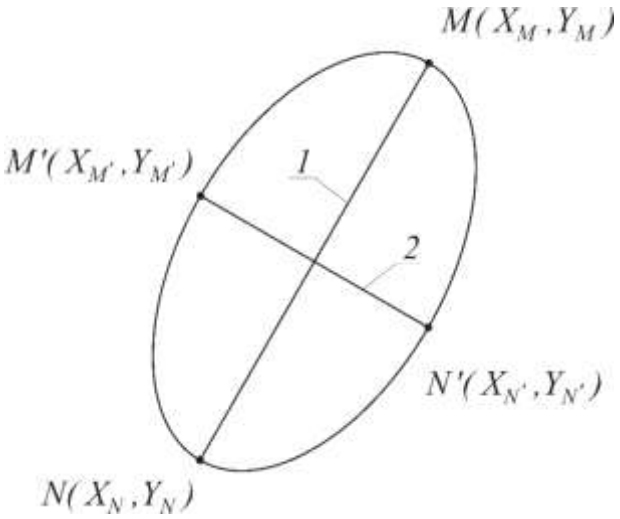


Рис. 3. Результат построения графика по данным массива: 1 – большая ось эллипса; 2 – малая ось эллипса

МА магнитопровода следует представить как отношение малой оси эллипса к большой $k = L_{M'N'} / L_{MN}$. Чем ближе значение полученного коэффициента к 1, тем меньше МА магнитопровода.

На графиках (рис. 4.) представлены результаты измерения магнитной асимметрии для двух экспериментальных образцов. Оба графика имеют форму эллипса, но с разной степенью вытянутости. Образец (а): Коэффициент МА = 0,66. Эллипс близок к окружности, но для улучшения параметров ВТ целесообразно компенсировать МА. Образец (б): Коэффициент МА = 0,16. Выраженная эллиптическая форма указывает на сильную МА, вызванную обширным локальным коротким замыканием между листами магнитопровода.

По результатам изготовления ВТ на магнитопроводах, отобранных при помощи разработанного метода, можно выделить критерии групп для оценки качества магнитопровода по МА, представленных в таблице 1.

а) *б)*

Рис. 4. Магнитопровод: а – качественный (k = 0.66); б – брак ввиду КЗ листов (k = 0.16)

Таблица 1

Критерии оценки магнитопроводов по магнитной асимметрии

Группа	Коэффициент	Рекомендация
I	от 1 до 0,8	укладка обмотки без изменений
II	от 0,8 до 0,45	укладка обмотки с компенсацией МА
III	от 0,45 до 0	укладка обмотки не допускается

Заключение

Разработан новый метод определения магнитной асимметрии машин переменного тока. Метод позволяет проводить комплексный анализ равномерности магнитного поля, повысить точность определения осей асимметрии для ее последующей компенсации и разработать критерии оценки качества магнитопровода. Использование данного метода определения магнитной асимметрии позволит улучшить качество изготовления магнитопроводов.

Список литературы

1. Беляев, Е. Ф. Дискретно-полевые модели электрических машин. Ч. I, II : учебное пособие / Е. Ф. Беляев, Н. В. Шулаков. — Пермь : ПНИПУ, 2009. — 457 с. — ISBN 978-5-398-00255-3.
2. Волохов, М. А. Электрические машины гироскопических устройств : учебное пособие / М. А. Волохов. — Санкт-Петербург : ГУАП, 2020. — 79 с. — ISBN 978-5-8088-1490-5.

3. Встовский, А. Л. Электрические машины : учебное пособие / А. Л. Встовский. — Красноярск : СФУ, 2013. — 464 с. — ISBN 978-5-7638-2518-3
4. Пульер, Ю.М. Индукционные электромеханические элементы вычислительных и дистанционно-следящих систем: учебное пособие.: изд. Машиностроение, Москва 1964г. – 297с.
5. Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин: учебное пособие для вузов. Высшая школа, 2001.
6. Хрущев, В.В. Электрические машины систем автоматики: учебник для вузов – 2-изд., перераб. И доп.–Л.: Энергоатомиздат Ленингр. Отд-ние, 1985 – 386 с., ил.
7. A.C. SU 132321 A1 СССР, МПК G01B 7/14 Прибор для измерения магнитной асимметрии поверхностей статора и ротора электрических машин/ С.Ф. Фармаковский, Э.А. Нокалн, А.И. Милюков, Е.П. Патеро, Н.В. Трейеров. –№649994/24; заявл.07.01.1960; Опубл. 10.10.1960.
8. A.C. SU 504991 A1 СССР, МПК G01R 33/12 Устройство для проверки магнитной асимметрии магнитопроводов электрических микромашин переменного тока/ Я.Н. Файбисович, В.В. Хрущев, О.А. Павлов. –№1488717; заявл.02.11.1970; Опубл. 28.02.1976.
9. A.C. SU 185398 A1 СССР, МПК G01R 33/12 Устройство для измерения магнитной асимметрии элемента магнитной системы переменного тока / В.П. Платонов, В.В. Хрущев, О.А. Павлов. –№1002175/26-10; заявл.05.04.1965; Опубл. 13.08.1966.
10. A.C. SU 303547 A1 СССР, МПК G01M 0015/02 Устройство для измерения магнитной асимметрии магнитных систем электрических машин/ Л.М. Альтшуль. –№1431069/24-7; заявл. 27.04.1970; Опубл. 13.05.1970.
11. A.C. SU 1145417 A1 СССР, МПК H02K 24/00 Вращающийся трансформатор/ А.П. Гурьев. –№3620145; заявл.15.07.1983; Опубл. 15.03.1985.

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ НАПРЯЖЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

С. ЦЗИНЦЗИН, Н.А. ДОБРОСКОК

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В данной статье рассматривается метод стабилизации параметров выходного напряжения дизель-генераторной установки. Рассматривается задача управления синхронным генератором с независимым возбуждением при переменной электрической нагрузке. Рассматриваются методы регулирования крутящего момента с отрицательной обратной связью и регулирования напряжения возбуждения.

Ключевые слова: дизельный генератор, напряжение возбуждения, автоматический регулятор напряжения

Математическое описание дизель-генераторной установки

Как и многие электромеханические системы выработки электроэнергии, дизель-генераторные установки можно разделить на две основные части: дизельный двигатель (ДД) с регулятором частоты вращения, синхронный генератор (СГ) с автоматическим регулятором напряжения. Регулятор частоты вращения обеспечивает постоянную скорость вращения СГ и частоты выходного напряжения, а автоматический регулятор напряжения (АРН) стабилизирует напряжение генератора при различных значениях нагрузки.

Модель дизельного двигателя с регулятором частоты вращения

Для моделирования динамических процессов ДД в работе используется подход на основе уравнений в пространстве состояний по примеру:

$$pX_D = A_D X_D + B_D U_D;$$
$$Y_D = C X_D,$$

где $p = d/dt$ – оператор дифференцирования; $x_D = [x_1\ x_2\ x_3\ x_4\ x_5]^T$ – вектор состояния модели ДД; $U_D = [\Omega_{ref}\ T_e]^T$ – вектор входа модели ДД; x_1 −механический крутящий момент; x_2 − расположение рейки топливного насоса; x_5 −частота вращения коленчатого вала; x_3 и x_4 −некоторые вспомогательные переменные состояния. Тогда матрицы описания модели в пространстве состояний будут иметь вид:

$$A_D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -K_i \\ \frac{1}{\tau_3} & -\frac{1}{\tau_3} & 0 & 0 & -\frac{K_p}{\tau_3} \\ 0 & \frac{1}{\tau_2} & -\frac{1}{\tau_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\tau_1} & -\frac{1}{\tau_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{K_m}{\tau_4} & -\frac{1}{\tau_4} \end{bmatrix}; B_D = \begin{bmatrix} K_i & 0 \\ \frac{K_p}{\tau_3} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -\frac{K_m}{\tau_4} \end{bmatrix}; C_D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$D_D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

где τ_1 - постоянная времени задержки системы сгорания; τ_2 - постоянная времени привода подачи топлива; τ_3 – постоянная времени измерения скорости; τ_4 -постоянная времени динамики коленчатого вала;K_P- пропорциональный коэффициент усиления ПИ–регулятора;K_i - интегральный коэффициент усиления ПИ–регулятора;K_m – пропорциональный коэффициент усиления динамики коленчатого вала.

1. Модель синхронного генератора с автоматическим регулятором типа AC5A

Для исследования используется четырехполюсный СГ мощностью 1,5 кВА, напряжением 208 В и частотой 60 Гц. В исследовании была выбрана комбинированная модель СГ [1], [2], которая подходит для исследования качества переходных и статических режимов.

Тогда уравнения потокосцеплений:

$$\begin{bmatrix} \Psi_d \\ \Psi_q \\ \Psi_f \\ \Psi_D \\ \Psi_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -x_{dd} & 0 & x_{df} & x_{dD} & 0 \\ 0 & x_{qq} & 0 & 0 & x_{qQ} \\ -x_{fd} & 0 & x_{ff} & x_{fD} & 0 \\ -x_{Dd} & 0 & x_{Df} & x_{DD} & 0 \\ 0 & x_{Qq} & 0 & 0 & x_{QQ} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_f \\ i_D \\ i_Q \end{bmatrix},$$

а уравнения напряжения:

$$\begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_f \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_a & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -r_a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_f \\ i_D \\ i_Q \end{bmatrix} + \frac{1}{\omega_n} \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \begin{bmatrix} \Psi_d \\ -\Psi_q \\ \Psi_f \\ \Psi_D \\ \Psi_Q \end{bmatrix} + \omega_m \begin{bmatrix} -\Psi_q \\ \Psi_d \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Модель также можно выразить с помощью уравнений пространства состояний:

$$pX_G = A_G X_G + B_G U_G;$$

$$Y_G = C_G X_G + D_G U_G,$$

Где $Y_G = [i_f \quad u_d \quad u_q]^T -$ вектор выхода модели СГ; $X_G = \Psi_r$ – вектор состояния модели СГ; i_d – эквивалентный ток по оси d; i_q – эквивалентный ток по оси q; i_f – ток возбуждения; i_D – эквивалентная схема демпфирующей обмотки оси d; i_Q – эквивалентная схема демпфирующей обмотки оси q; r_a – сопротивление утечки статора;ω_n– номинальная частота вращения ротора СГ; ω_m – скорость ротора; u_d – напряжение на клеммах оси d; u_q– напряжение на клеммах оси q; u_f – напряжение возбуждения короткого замыкания; Ψ_d – потокосцепление рассеяния обмотки статора по d оси; Ψ_q – потокосцепление рассеяния обмотки статора по q оси; Ψ_f – потокосцепление рассеяния обмотки возбуждения; Ψ_D – потокосцепление рассеяния демпферной обмотки по d оси; Ψ_Q – потокосцепление рассеяния демпферной обмотки по q оси; r_f – сопротивление рассеяния обмотки возбуждения; r_Q – сопротивление утечки демпферной обмотки по q оси; r_D – сопротивление рассеяния затухающих волн вдоль d оси; x_{dd} - индуктивность обмотки статора по оси d ; x_{qq} – индуктивность обмотки статора по оси q; x_{ff} – индуктивность обмотки возбуждения; x_{DD} – индуктивность демпфирующей обмотки по оси q; x_{QQ} – индуктивность демпфирующей обмотки по оси q; x_{fd} – индуктивность рассеяния обмотки статора оси d на обмотку возбуждения; x_{df} – индуктивность рассеяния обмотки возбуждения на обмотку статора оси d; x_{dD} – индуктивность утечки демпфирующей обмотки оси d к обмотке статора оси d; x_{qQ} – индуктивность утечки демпфирующей обмотки оси q в обмотку статора оси q; x_{fD} – индуктивность утечки демпфирующей обмотки оси d на обмотку возбуждения; x_{Dd} – индуктивность утечки обмотки статора оси d на демпфирующую обмотку оси d; x_{Df} – индуктивность утечки обмотки возбуждения на демпфирующую обмотку оси d; x_{Qq} – индуктивность рассеяния обмотки статора оси q на демпфирующую обмотку оси q.

Подробности расчета матрицы описания пространства состояний приведены в [2], а параметры матрицы в [1].

Сравнение результатов моделирования различных регуляторов напряжения возбуждения для управления дизель-генераторными системами

Основной функцией системы АРН является динамическое управление возбуждением СГ. В данной работе предлагаются три регулятора.

АРН типа AC5A и оптимизация параметров

Система возбуждения AC5A - это стандартная система автоматического управления возбуждением СГ, рекомендованная IEEE и предназначенная для стабилизации выходного напряжения СГ путем регулирования тока возбуждения. Данный тип системы возбуждения широко используется на электростанциях и в электроэнергетических системах для обеспечения стабильности выходного напряжения. Ее структура показана на рис. 1.

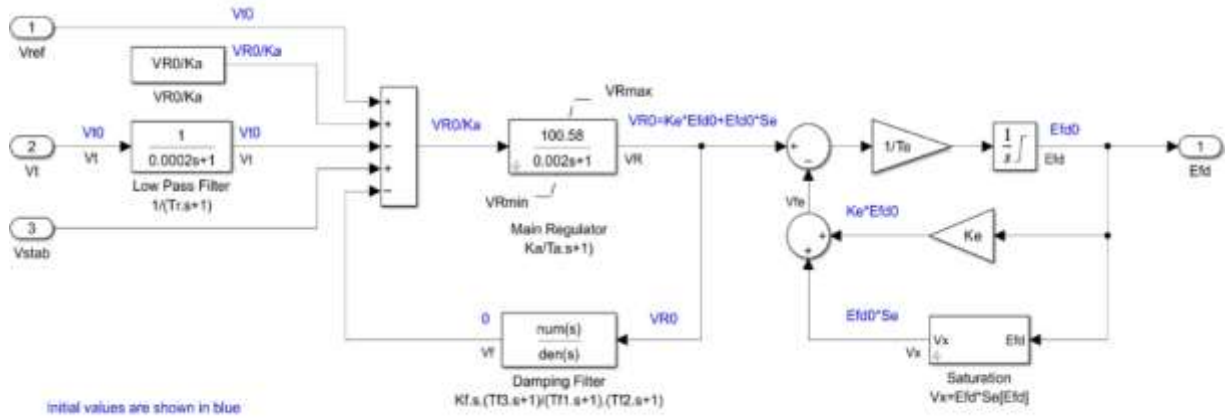


Рис. 1. Упрощенная схема система возбуждения типа AC5A [3]

Используемые параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры регулятора AC5C

K_a	T_a	VR_{min}	VR_{max}	K_f	T_{f1}	T_{f2}	T_{f3}
100.579	0.002	–5	5	0.0303	0.1	0.0068	2.3670e05
K_e	T_e	$Efd1$	$Efd2$	SE(E1)	SE(E2)	V_{t0}	Efd_0
1.1890	0.0128	5.6	4.2004	0	0.0074	3.4278e–06	0.1021

ПИ–регулятора и оптимизация параметров

Простейшим вариантом регулятора возбуждения для сравнения является ПИ-регулятор. В работе проведена оптимизация настроек пропорциональной и интегральной составляющих регулятора с целью обеспечения быстродействия, близкого к варианту с AC5C. В результате экспериментов наилучшие результаты были получены, когда Kp и Ki были равны 0,1.

Улучшенный автоматический регулятор напряжения

Первые две модели используют только выходное напряжение в качестве входа обратной связи для управления цепью возбуждения. Лучше ввести еще несколько управляющих величин для совместного воздействия на систему обратной связи, чтобы повысить надежность системы.

Приведем уравнения, описывающие одну из возможных реализаций такого регулятора

$$U_f = \frac{k_u}{10} \cdot U_q + \frac{k_i}{10} \cdot x_{dd} i_d - i_y;$$

$$\frac{di_y}{dt} = \frac{1}{T_k}\left(\frac{d\Psi_f}{dt} k_{\text{oc}} + (U - U_n)k_k - i_y\right),$$

где k_u – коэффициент усиления АРН по напряжению; k_i – коэффициент усиления АРН по току; k_{oc} – коэффициент усиления АРН по производной потокосцепления Ψ_f; k_k – коэффициент усиления АРН; i_y – составляющая напряжения возбуждения, формируемая АРН; T_k – постоянная времени АРН; x_{dd} – синхронное индуктивное сопротивление обмотки статора по продольной оси. Математическая модель представлена на рис. 2.

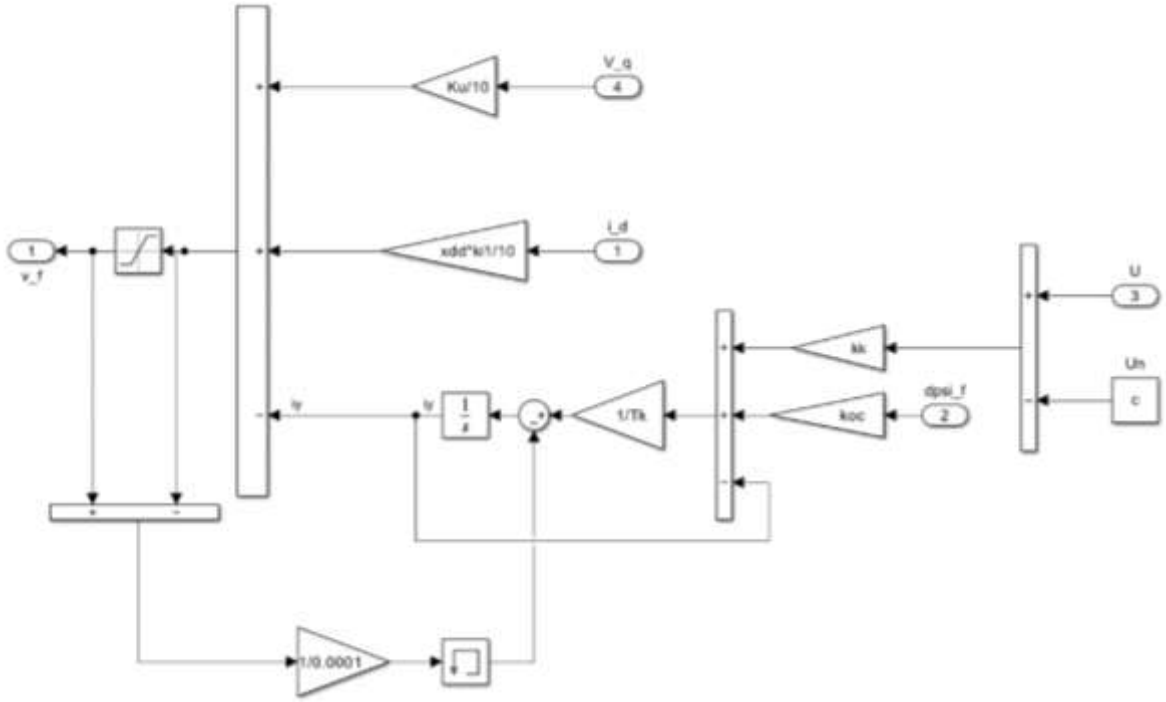


Рис. 2. Изображение результатов вывода оптимизированной модели

Используемые параметры приведены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры АРН

k_u	k_i	k_{oc}	k_k	T_k	$v_f max$	$v_f min$	c
1.3	1.5	0.1	300	0.1	0.025	0.014	1

Для сравнения три различных регулятора работают отдельно, а полученные изображения напряжения возбуждения и выходного напряжения показаны на рис. 3.

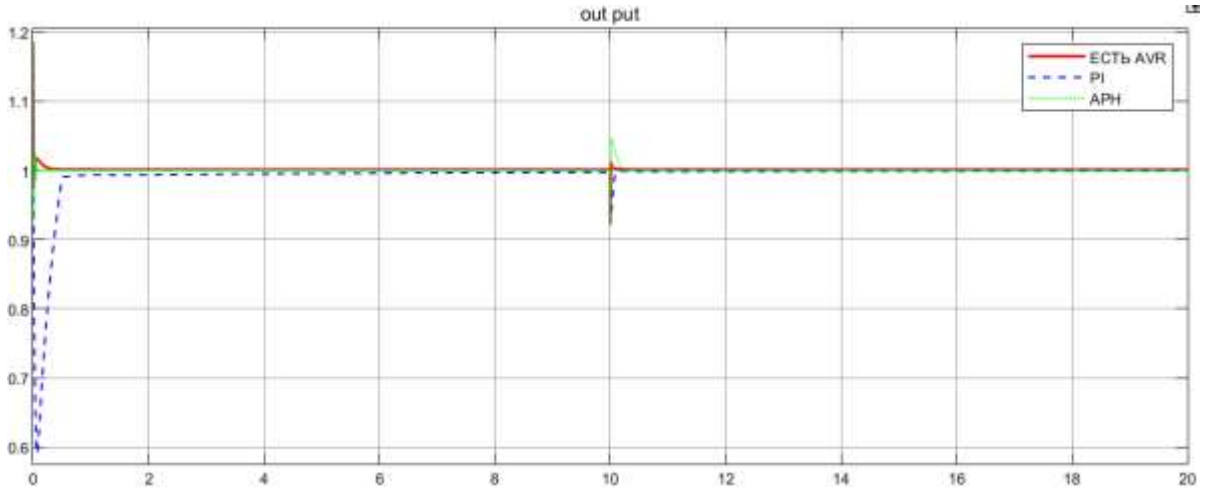


Рис. 3. Принципиальная схема выходного напряжения различных стабилизаторов напряжения

На результирующем графике выходное изображение более быстрое и стабильное с меньшей статической ошибкой, чем у ПИ–регулятора, последний регулятор дает наилучший результат.

Заключение

Сравнивая результаты компьютерного моделирования работы дизель-генераторной установки с тремя различными АРН, можно сделать вывод, что улучшенный регулятор имеет наименьшую статическую ошибку и самую быструю стабилизацию и поэтому является предпочтительным. Использование уравнений пространства состояний для расчетов наряду с симуляционным моделированием облегчает наблюдение и обработку данных. Стоит отметить, что реализация уравнений пространства состояний требует вычисления соответствующих матриц.

Список литературы

1. T. Theubou, R. Wamkeue and I. Kamwa, "Dynamic model of diesel generator set for hybrid wind–diesel small grids applications," 2012 25th IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), Montreal, QC, Canada, 2012, pp. 1–4, doi: 10.1109/CCECE.2012.6334849.
2. R. Wamkeue, C. Jolette, A. B. M. Mabwe and I. Kamwa, "Cross–Identification of Synchronous Generator Parameters From RTDR Test Time–Domain Analytical Responses," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 26, no. 3, pp. 776–786, Sept. 2011, doi: 10.1109/TEC.2011.2140320.
3. IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, in IEEE Std 421.5–2016 (Revision of IEEE Std 421.5–2005) , vol., no., pp.1–207, 26 Aug. 2016, doi: 10.1109/IEEESTD.2016.7553421.

СТАНОК ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКА В ФИЛАМЕНТ

Д. Тарасова, А.И. Мамяко, А. Древс

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В работе представлено описание макета станка для переработки пластика в филамент. Показан готовый продукт и описан принцип работ устройства. Также данный проект также направлен на борьбу с проблемой пластиковых отходов, позволяя перерабатывать их в ценное сырье, что способствует сокращению негативного воздействия пластикового мусора на окружающую среду.

Ключевые слова: управление температурой, переработка, филамент для 3D-печати.

Превращение пластиковых бутылок в филамент для 3D-печати представляет собой одно из решений проблемы пластиковых отходов и способствует развитию экономики, ориентированной на циркулярное использование ресурсов.

При изготовлении пластиковой нити для 3D-печати рекомендуется использовать следующие типы полиэтилентерефталатых бутылок: голубые, белые и зеленые, коричневые.

Рис. 3. Типы пластиковых бутылок

Каждый тип обладает особенностями, которые влияют на изготовление филамента и конечный материал. Голубые бутылки обладают самым жестким пластиком, в расплавленном состоянии он будет наиболее податливым из всех. Пластик у белых и зеленых бутылок менее жесткий по сравнению с голубыми. В расплавленном состоянии материал становится более густым. А пластик коричневых бутылок наиболее мягкий. В расплавленном состоянии он обладает большей вязкостью, что приближает его к характеристикам ABS-филамента.

Процесс переработки с помощью прототипа устройства включает в себя несколько этапов. Так с помощью резака для пластика из бутылок изготавливают ленты с контролируемой шириной для разного типа пластика. После ленту протягивают через нагреватель и экструдер, на выходе которого получается готовый к использованию филамент.

Работа станка управляется с помощью микроконтроллера Arduino Nano. Температура сопла экструдера регулируется с помощью энкодера и выводит значение на дисплей. Для достижения желаемого результата в виде качественного продукта на выходе необходимо протягивать пластиковую ленту через нагреватель и экструдер, поддерживая температуру 220-230°C, в зависимости от цвета пластика.

Подробное описание характеристик используемых в разработке компонентов представлено в таблице 1.

Таблица 1

Компонентная база

Компонент	Описание
Arduino Nano V3.0	Микроконтроллер: ATmega328p - Тактовая частота: 16 МГц - Напряжение логических уровней: 5 В - Входное напряжение питания: 7...12 В - Портов ввода-вывода общего назначения: 22 - Портов с поддержкой ШИМ: 6 - Портов, подключённых к АЦП: 8 - Flash-память: 32 КБ - Габариты: 18×45 мм

 Двигатель	- Размер двигателя: 37,6x50 мм (1,480x1,969 дюйм без вала) - Диаметр вала: 3,17 мм (1/8 дюйм) - Длина вала: 15 мм (0,591 дюйм) - Номинальное напряжение: 12 В постоянного тока - Номинальная скорость: 3000-12000 RPM - Номинальный ток: 0,6-2 А
 ЖКД	- Цвет подсветки: синий; - Количество символов в строке: 16; - Количество строк: 2; - Язык: по умолчанию поддерживает латиницу; - Интерфейсы: IIC/I2C/TWI; - Напряжение питания: 5В.
 Блок питания	- Класс защиты: IP20 - Выходная мощность: 72 Вт - Входное напряжение: 220 В - Выходное напряжение: 12 В - Выходной ток: 3 А
 Понижающий модуль DC-DC	- Входное напряжение: 4-38 В - Выходное напряжение: 1.25-36 В - Выходной ток: до 5А, регулируемый - Максимальная выходная мощность: 75 Вт - Рабочая частота: 180 КГц - Эффективность преобразования: до 96% - Рабочая температура: -40-85 °С - Размеры модуля: 52 x 26,5 x 19 мм

Нагревательный блок и сопло представлены на рисунке 2. Для удобства были выбраны детали, используемые в 3D-принтерах: керамический нагревательный элемент, блок нагревателя и сопло (его выходное отверстие было рассверлено до 1.75 мм – стандартного диаметра прутка филамента).

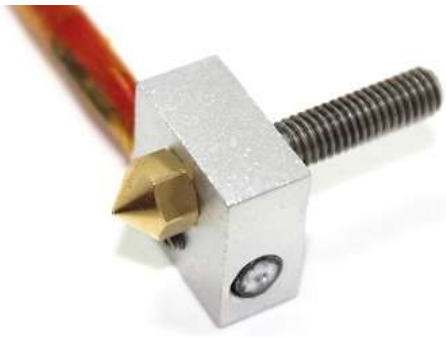


Рис. 2. Нагревательный блок

Температура нагревателя управляется с помощью подачи ШИМ-сигнала, реализуемого на плате HW700, обычно используемой в 3D-принтерах (см. рисунок 3).

Рис. 3. Модуль HW700

ПЭТ-пластик разного цвета имеют отличные друг от друга свойства, именно поэтому очень важно точно подбирать температуру для переработки, а также ширину ленты. Голубые и прозрачные бутылки являются наиболее жесткими, но в расплавленном виде гораздо более текучими. При неправильном подборе параметров переработки наиболее вероятно получение неудовлетворительных результатов. Пример плавки представлен на рисунке 4.

Рис. 4. Пример филамента при неправильном подборе параметров

При проведении финального тестирования удалось получить результат приближенный к требуемому (см. рисунок 5).

Рис. 5. Пример изготовленного филамента

В результате была разработана концепция и создана установка, предназначенная для превращения пластиковых бутылок в филамент, который будет использован в 3D печати. Для усовершенствования работы устройства предстоит ряд тестирований, подбора подходящих дополнительных параметров.

Список литературы

1. Самодельные филаменты из ПЭТ-бутылок для 3D-печати // vektorus URL: https://vektorus.ru/blog/plastik-dlya-3d-printera-iz-pet-butylok.html (дата обращения: 02.03.2024).
2. В.И. Коробкин, Л.В. Передельский. Экология и охрана окружающей среды. – М.: КноРус, 2012. – 336 с.
3. Complete Plastic Recycling Statistics 2023 - Industry Overview / [Электронный ресурс] // Solar Empower : [сайт]. — URL: https://www.solarempower.com/news/plastic-recycling-statistics/#nav-2 (дата обращения: 10.04.2024).
4. Stop plastic pollution / [Электронный ресурс] // WWF: [сайт]. — URL: https://www.wwfca.org/en/campaigns_main/stopplastic/ (дата обращения: 10.04.2024).
5. Вторичная переработка пластика: способы, технология, выгода / [Электронный ресурс] // RCYCLE.NET: [сайт]. — URL: https://rcycle.net/plastmassy/vtorichnaya-pererabotka-plastika-sposoby-tehnologiya-vygoda (дата обращения: 15.04.2024).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ РЕЛЕЙНЫХ ЗАЩИТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО НАСОСА

А.Д. Фадеев

Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина

Аннотация. Работа посвящена исследованию влияния несимметричных провалов напряжения на работу релейных защит электропривода магистрального нефтеперекачивающего агрегата. В результате проведенного анализа и моделирования аварийных режимов в системе электроснабжения нефтеперекачивающей станции (НПС) установлено воздействие несимметрии токов и напряжений на работу релейных защит. Собрана статистика несимметричных провалов напряжения на вводах распределительных устройств нефтеперекачивающих станций магистральных газопроводов. Отмечено, что частые сбои и ложные срабатывания устройств РЗА непосредственно связаны с наличием в сети несимметрии напряжения.

Ключевые слова: электропривод ЭП, электродвигатель ЭД, релейная защита и автоматика РЗА, несимметрия напряжения, короткое замыкание КЗ, асинхронный двигатель АД, нефтеперекачивающая станция НПС, защита минимального напряжения ЗМН, токовая отсечка ТО, максимальная токовая защита МТЗ

Как известно, в идеальном случае амплитуды фазных напряжений и угол между ними равны между собой, и такое напряжение можно назвать симметричным, в противоположном- несимметричным. Несимметрия напряжения в сети влечёт за собой проблемы для любого общепромышленного или нефтегазового предприятия, снижая качество электроэнергии. Неполнофазный режим работы приводит к дополнительным потерям мощности (снижение эффективности ЭД), как результат- нагрев обмоток двигателя и возможное разрушение их изоляции. В следствии наличия высоких температур, сокращается срок службы электрооборудования, что влечёт за собой дополнительные денежные затраты на техническое обслуживание или замену вышедшего из строя. Появление высокого тока нулевой последовательности из-за несимметрии приводит к нарушениям работы реле, что отразится на безопасности системы в целом [1]. Стоит отметить, что полная загрузка асинхронного двигателя согласно 892 МЭК возможна только

при коэффициенте обратной последовательности напряжения не более 1% (при 2%- снижение до 96%, при 3%- до 90%, при 4%- до 83%, при 5%- до 76%) [2].

Несимметрия питающего напряжения оценивается соотношением напряжения обратной или нулевой последовательности к значению прямой последовательности в течение суточного интервала времени. Руководствуясь ГОСТ 32144-2013 отметим, что в роли показателей качества электроэнергии, которые относятся к несимметрии напряжения в трехфазной системе (при длительном режиме работы), выступают коэффициенты несимметрии напряжения по нулевой и обратной последовательностях.

В работе рассматриваются различные аварийные ситуации, которые связаны с отклонениями от нормального режима работы питающей сети НПС. Проанализировано влияние несимметричных возмущений на электропривод и связанную с ним релейную защиту. Стоит отметить, что подстанции с классом напряжения 110 кВ, 10(6) кВ со сторон высшего и низшего напряжения оборудуются одним микропроцессорным терминалом РЗА на каждое присоединение, при его отказе теряются все функции защиты и автоматики подходящего присоединения [3].

Как известно, система электроснабжения НПС должна поддерживать заданный режим работы в стабильном состоянии. Надёжность электропривода насоса и другого технологического электрооборудования в непрерывном производственном процессе напрямую связана с наличием необходимых видов релейных защит. Исследование показало, что общая надёжность работы нефтеперекачивающей станции напрямую зависит от поддержания стабильного питания, так как основными потребителями являются электроприводы переменного тока – магистрального нефтеперекачивающего агрегата (насоса).

Основными параметрами, на которые реагирует релейная защита, являются ток и напряжение. При провалах напряжения (в том числе, несимметричных) данные величины изменяются, и могут возникать непредвиденные отключения питания ЭД по причине длительного превышения тока, понижения напряжения. Наличие несимметрии в сети, в свою очередь, дополнительно влияет на корректность работы РЗА [4], контролирующей питание, подаваемое на ЭД, что указывает на актуальность исследуемой темы работы.

При моделировании рассматривались симметричные и несимметричные провалы напряжения и короткие замыкания. Задачей исследования является практическое применение моделей релейных защит по току и по напряжению, которые при одновременном функционировании в защищаемой ячейке ЗРУ 6кВ позволят охватывать большинство аварийных режимов. Моделирование показало, что влияют несимметричные провалы напряжения на работу релейной защиты, основной задачей которой не является срабатывание при данном аварийном режиме, но отключение питания асинхронного электродвигателя всё же производится. В качестве примера выступает защита от перегрузки по току. На рисунке 1 представлена использованная в работе и моделировании ячейка с нефтегазового предприятия, которая включает в себя выключатель ВМПЭ-10 600/20, трансформатор тока ТОЛ-10 300/5, вторичная обмотка которого является вводным сигналом для токовой защиты, высоковольтный АД 2А3МВ-1250 МНА №4. Защита по напряжению подключена к трансформатору напряжения, подключена к шинам распределительного устройства.

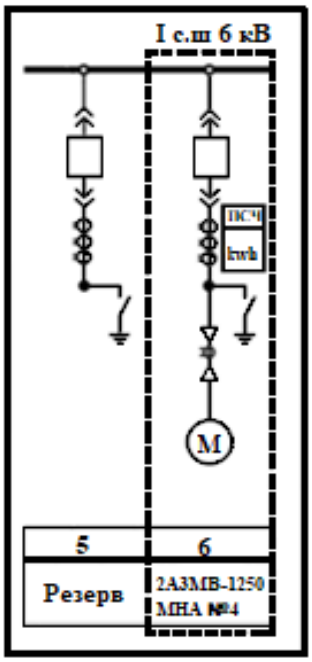


Рис. 1. Ячейка в ЗРУ 6 кВ

В роли объекта для защиты выступает магистральный нефтеперекачивающий агрегат, приводимый в действие асинхронным электроприводом 2А3МВ-1250. Электроприводы оснащаются такими релейными защитами, как ТО, МТЗ, защита от перегрузки и ЗМН. Стоит отметить, что защита минимального напряжения на НПС имеет ряд недостатков [5].

Статистика несимметричных провалов напряжения получена с помощью анализа осциллограмм напряжения и тока с вводов предприятия. Общее число провалов за 1,5 месяца составило 16 случаев появления, большая часть из которых была связана с превышением в разы предельно допустимого значения коэффициента несимметрии равного 4% при длительном режиме работы, в некоторых случаев в 10 раз, такие примеры возникновения несимметрии использовались в экспериментальной части работы. До провалов (нормальный режим работы) – значение коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности находилось в пределах 1,5-2%, нормально допустимых по ГОСТ 13109-97. Как известно, уже небольшое превышение коэффициента несимметрии по обратной последовательности приводит к сокращению срока службы АД из-за нагрева, в связи с сопротивлением обратной последовательности, которое значительно меньше сопротивления прямой последовательности, как результат – ток обратной последовательности становится большим [6]. В стандарте МЭК 60034-26 представлен график, демонстрирующий ухудшение параметров АД при несимметрии напряжений.

Схема, собранная в Simulink [7], представлена на рисунке 2 и состоит из источника напряжения; линейных трансформаторов на каждой из фаз, с помощью вторичной обмотки которых задавалось напряжение, питающее интересующий нас электродвигатель; автоматического выключателя; пяти 5 подсистем (ТО, МТЗ, ЗМН, защита от перегрузки, подсчёт коэффициента несимметрии в режиме онлайн при моделировании); короткозамыкателя и блоков для снятия показаний и характеристик тока и напряжения.

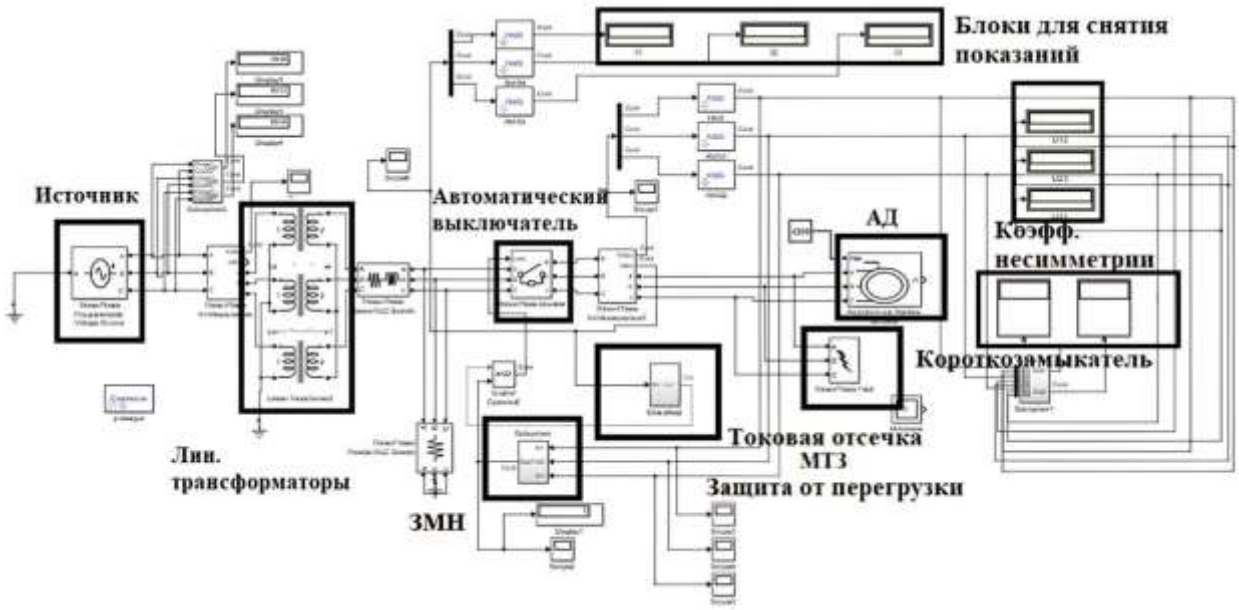


Рис. 2. Общий вид модели в Simulink

Условия подготовки системы для моделирования заключаются в следующем.

ЗМН. Уставка срабатывания ЗМН устанавливалась на основании ПУЭ (5.3.52). При появлении значения питающего напряжения ниже 70% (4200 В) от номинального значения в любой из фаз, запускается выдержка времени, по истечении которой производилось отключение питания ЭД. Модель ЗМН оценивает разность напряжений, т.е. высчитывает разницу между номинальным напряжением 6000 В и измеряемым напряжением.

ТО, МТЗ. Токовая отсечка выполнялась согласно ПУЭ (пункт 5.3.46). Первичный ток срабатывания защиты отстраивается от максимального значения пускового тока ЭД. В среде моделирования Simulink ТО и МТЗ имеют схожую конструкцию, разница заключается в отсутствии, в случае с ТО, или наличии выдержки времени, МТЗ. Перегрузки по току создавались с помощью блока короткозамыкателя.

Защита от перегрузки. Важным условием установки защиты от перегрузки являлось то, что уставка у данной защиты по сравнению с ТО и МТЗ значительно меньше, поэтому необходима выдержка времени для исключения ложных срабатываний. Настройка уставки производилась таким образом, что при обнаружении тока на 20% больше номинального (139 А, в нашем случае), запускалась выдержка времени, по истечении времени которой (при условии, что на всем временном промежутке сохранялось превышение номинального тока на 20%) производится отключение питания асинхронного электродвигателя.

В результате проведенного анализа и моделирования было получено следующее. Установлено, что наибольшее отрицательное влияние на электрооборудование оказывает снижение напряжения во всех 3-х фазах одновременно ниже уставки срабатывания ЗМН, что приводит к потери устойчивости системы.

Зафиксировано, что однофазный провал напряжения (ниже 70%) был обнаружен лишь ЗМН и защитой от перегрузки, влияние на ТО и МТЗ было минимальным, так как значение тока не попадало в зону срабатывания и было значительно ниже порогового значения уставок. Ложных срабатываний ТО и МТЗ удалось избежать правильной отстройкой от пускового тока ЭД и установкой выдержки времени.

Защита от перегрузки является той защитой, в основные функциональные обязанности которой не входит срабатывание при аварийном-несимметричном режиме работы, но после выдержки времени сигнал от токовой защиты на отключение питания ЭД всё же подаётся, обезопасив его от дополнительного нагрева или дальнейшего выхода из строя при работе с повышенным током.

Список литературы

1. Руди Д.Ю. Исследования воздействия несимметрии напряжения на распределительные системы и оборудование / Д.Ю. Руди. - Текст: непосредственный // Молодой ученый. - 2018. - № 4 (190). - С. 48-52.
2. Исследование взаимосвязи показателей качества электроэнергии и надежности электроснабжения / Ю.В. Шаров, И.И. Карташев, В.Н. Тульский, О.В. Большаков // Энергоэксперт. - 2011. - №6. – С. 78-83.
3. Булычев А.В., Васильев Д.С., Козлов В.Н., Силанов Д.Н. Релейная защита в распределительных сетях 110/35/10 кВ в условиях Цифровой трансформации Электроэнергетических систем, Релейная защита и автоматизация №1 – 2019.- С. 70-76.
4. Ершов, М.С. Адаптация защит узлов электрических нагрузок к потере питания при несимметричных возмущениях / М.С. Ершов, И.О. Рупчев // Промышленная энергетика. – 2004. – № 1. – С. 47-50. – EDN TDQZSW.
5. Шабанов В.А., Алексеев В.Ю., Валишин А.Р., Плеханов М.К. Недостатки защит минимального напряжения на нефтеперекачивающих станциях// Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело", 2010. №2. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_1.pdf
6. Галеева Р.У., Альмиева Д.С. Исследование влияния несимметрии напряжения по обратной последовательности на нагрев, срок службы и коэффициенты снижения номинальной мощности асинхронных двигателей // Мировая наука. – 2017. - №4.
7. Фадеев А.Д, Анализ влияния несимметричных возмущений напряжения на работу токовых релейных защит электропривода насоса. // Сек. 11. Энергетика будущего: тезис докл. 14 Всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов. Новые технологии в газовой промышленности – 2022. (Москва, 14-18 ноя. 2022 г.). –Москва, 2022.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ В КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Д.А. Шило, Д.Р. Трегуб

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. Разработка комбинированных электроэнергетических систем – перспективное направление в развитии судовых электростанций. Одной из главных проблем является вопрос распределения активной и реактивной мощностей между традиционным и альтернативным источниками энергии. В статье рассмотрены подходы к распределению мощностей, представлены методы управления системой при параллельной работе синхронного генератора и автономного инвертора напряжения.

Ключевые слова: комбинированная электростанция, распределение мощности

Введение

В настоящее время одним из перспективных направлений в создании единых электроэнергетических систем (ЕЭЭС) является разработка комбинированных электростанций (КЭС).

В состав КЭС входят существенно разные источники электроэнергии по характеру процессов, протекающих в них. Поэтому одной из сложностей в распределении нагрузки является то, что дизель-генераторы имеют значительную инерционность, а автономные инверторы, применяемые для преобразования энергии статических источников, обладают

достаточно быстрым откликом. Это в совокупности может привести к нестабильным процессам в системе.

Также важным аспектом является то, какой род тока используется при распределении электроэнергии. В данной статье распределение происходит на переменном роде тока.

Схема построения системы управления

Подходом к управлению автономным инвертором напряжения (АИН) в КЭС является анализ вектора напряжения в двухфазной вращающейся системе координат dq0 и понятие «виртуального» синхронного генератора (ВСГ).

На рис.1а приведен первый случай, в котором осуществляется разделение контуров управления активной и реактивной нагрузками. Раздельное управление обеспечивается регуляторами проекции тока: на ось d регулятором PTd для регулирования активной мощностью; на ось q регулятором PTq для регулирования реактивной мощностью.

Второй подход, приведенный на рис.1б, позволяет имитировать динамические и статические характеристики некоторого синхронного генератора (СГ) эквивалентной мощности, приводимого в движение первичным двигателем, что позволяет использовать известные алгоритмы управления.

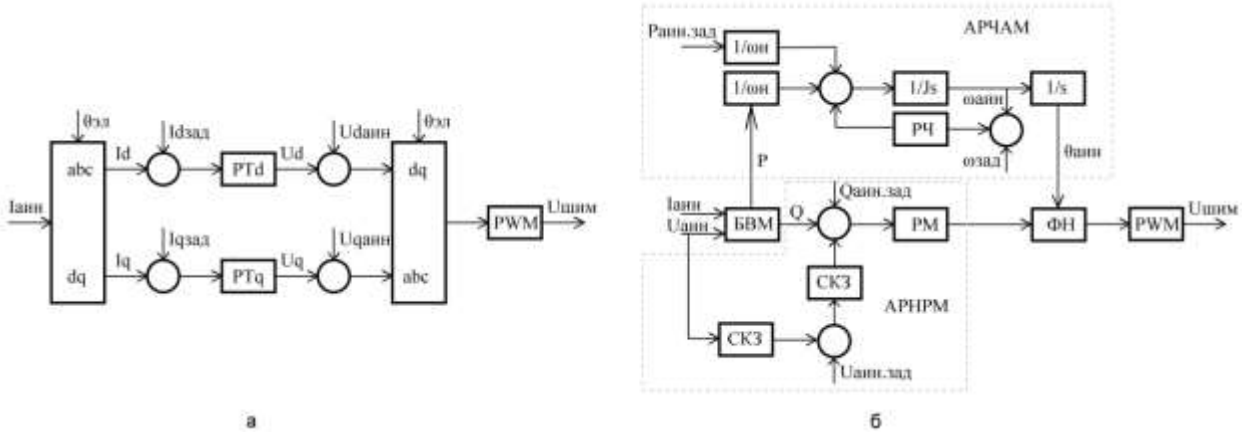


Рис. 1. Упрощённые структурные схемы двухканальных систем управления АИН в составе комбинированной ЕЭЭС: а – при представлении описания в системе координат dq; б – при использовании понятия ВСГ

Регулирование активной мощности осуществляется в соответствии с выражением:

$$\frac{d\delta_{АИН}}{dt} = \frac{P_{зад} - P - k_d \cdot (\omega_{АИН} - \omega_{ФАПЧ}) + k_\omega \cdot (\omega_{АИНзад} - \omega_{АИН})}{T_a}$$

где $\delta_{АИН}$ – фаза АИН, $P_{зад}$ и P – заданная и мгновенная мощности АИН соответственно, T_a – постоянная времени системы, $\omega_{АИНзад}$, $\omega_{АИН}$, $\omega_{ФАПЧ}$ – заданная частота АИН, мгновенная частота АИН и частота сети, определенная с помощью ФАПЧ, соответственно, k_d, k_ω – коэффициенты регуляторов.

Регулирование реактивной мощности осуществляется в соответствии с выражением:

$$U_{АИН} = U_{зад} + k_q \cdot (Q_{зад} - Q)$$

где $U_{АИН}$ – напряжение, формируемое АИН, $U_{зад}$ – заданная амплитуда напряжения АИН, $Q_{зад}$ – заданная реактивная мощность, k_q – коэффициент регулятора. Такой подход

позволяет использовать классические методы анализа устойчивости и повышает качество сети.

Одним из простых примеров является применение ПИ-регулятора частоты и проекции напряжения на оси dq0 на выходе АИН. При этом предполагается, что напряжение на выходе АИН формируется методом пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции, описанной следующим выражением:

$$\begin{cases} u^*_{A0\text{ШИМ}} = u^*_{A0} - \dfrac{\max\left(u^*_{A0}, u^*_{B0}, u^*_{C0}\right) + \min\left(u^*_{A0}, u^*_{B0}, u^*_{C0}\right)}{2} \\ u^*_{B0\text{ШИМ}} = u^*_{B0} - \dfrac{\max\left(u^*_{A0}, u^*_{B0}, u^*_{C0}\right) + \min\left(u^*_{A0}, u^*_{B0}, u^*_{C0}\right)}{2} \\ u^*_{C0\text{ШИМ}} = u^*_{C0} - \dfrac{\max\left(u^*_{A0}, u^*_{B0}, u^*_{C0}\right) + \min\left(u^*_{A0}, u^*_{B0}, u^*_{C0}\right)}{2}, \end{cases}$$

где u^*_{A0}, u^*_{B0}, u^*_{C0} – система опорных синусоидальных напряжений, сдвинутых во времени относительно друг друга на $2\pi/3$ рад.

Результаты исследования системы в Matlab/Simulink

Далее приведены результаты исследований параллельной работы СГ и АИН в статических и динамических режимах работы. На рис.2 представлена схема моделирования.

Распределение активной и реактивной нагрузок происходит посредством воздействия ПИ-регулятора проекций тока на оси *dq* по схеме, приведенной на рис. 3.

Далее на рис. 4 приведен процесс распределения активной и реактивной мощностей.

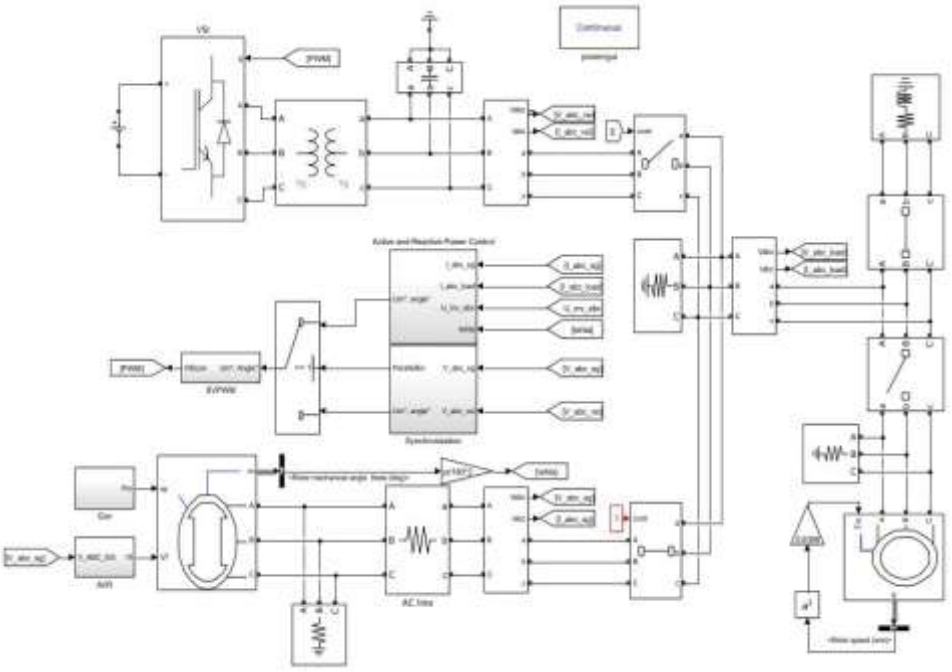


Рис. 2. Схема моделирования параллельной работы СГ и аккумуляторной батареи, включенной через АИН

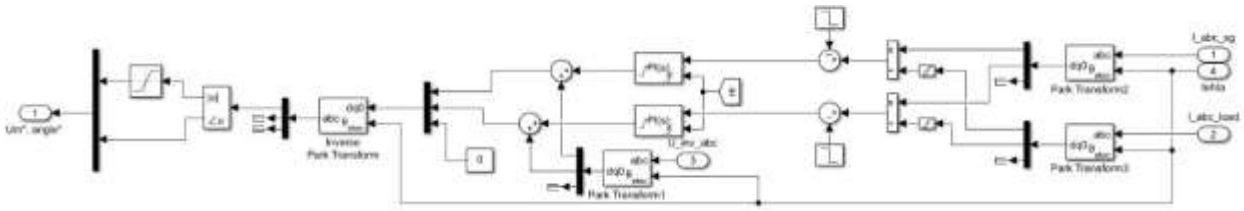


Рис. 3. Расчетная схема распределения нагрузок

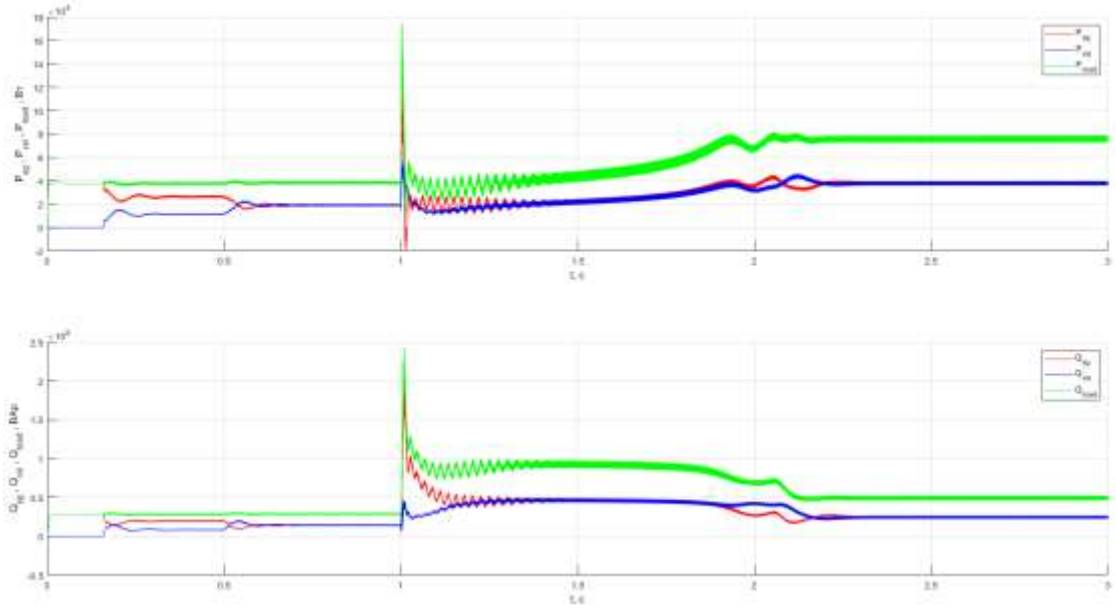


Рис. 4. Процесс распределения нагрузок

После синхронизации 30 % нагрузки принимает на себя АИН. В момент времени 0.5 с. происходит перераспределение мощности так, что на АИН приходится 50 % нагрузки. В момент времени 1 с. подключается еще один потребитель энергии, распределение мощности при этом остается неизменным. Как видно данная схема полностью справляется с поставленной задачей как в статическом режиме, так и в динамическом режимах работы.

Заключение

Данная имитационная модель дает возможность изучать процессы, связанные с распределением нагрузок в электроэнергетических системах с источниками различного рода тока, а также разрабатывать и оптимизировать алгоритмы управления этими процессами.

Список литературы

1. Kim Y. et al. On synchronization and distribution of loads in a hybrid marine electric power system //2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). – IEEE, 2021. – С. 946-951;

2. Mariusz Malinowski. Sensorless Control Stratigies for Three-phase PWM Rectifier. PhD thesis, Warsaw, Poland 2001;

3. A. V. Lillo, A. D. Stotckaia. Development and Research of the Adaptive Pulse Converter. 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), Saint Petersburg and Moscow, Russia, 2019, pp. 598-601;

4. Grahame, D. Pulse width modulation for power converters. Priciples and practice / D. Grahame Holmes, Thomas A. Lipo. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003. – 724 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗА НА ОСНОВЕ АНСАМБЛЕВОГО ОБУЧЕНИЯ

Я. Синьюй, О.А. Малышева

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Аннотация. Проведено углубленное исследование неисправностей выпрямительно-инверторного преобразователя электровоза для совершенствования традиционной ручной диагностики неисправностей силовых электронных преобразователей с использованием современных технологий анализа данных состояния компонентов электровоза, извлечения полезной информации о неисправностях из сложных сигналов и принятия на основе этого решений. Проверены преимущества и недостатки, возможности и осуществимости исследования неисправностей преобразователей CRH3 EMU на основе ансамблевого обучения.

Ключевые слова: электровоз, выпрямительно-инверторный преобразователь, вейвлет-анализ, ансамблевое обучение.

Благодаря бурному развитию железнодорожной отрасли Китая в 2021 году появился высокоскоростной поезд нового поколения EMU «Фусин», развивающий скорость более 400 км/ч. При его недолгой эксплуатации работники столкнулись с бесчисленными трудностями, потому что высокоскоростная железная дорога – это современный электропоезд, внутренняя структура которого очень сложна. Для достижения лучшего развития выдвигаются чрезвычайно высокие требования к надежности, безопасности и стабильности работы высокоскоростных железных дорог. Среди них система электрической тяги, которая является наиболее важной внутренней системой, безопасность которой требует углубленного исследования. Конечно, помимо изучения различных характеристик трансмиссионной системы, также необходимо провести более глубокий анализ эффективности и ремонтопригодности, что требует анализа неисправностей. Преобразователь электропоезда CRH3 является наиболее важной частью системы электрической тяги. Характеристики преобразователя и качество преобразователя являются ключевыми факторами для железнодорожной отрасли, который определяет возможности поездов. Скорость также определяет безопасность эксплуатации поездов. Поэтому необходимо смоделировать неисправности и провести соответствующую диагностику неисправностей.

Итак, как быстро определить источник отказа и выполнить анализ отказа? Устранение неисправностей – это та часть, которую нам очень необходимо изучить и решить. В настоящее время традиционная технология диагностики неисправностей не может соответствовать требованиям, и проводимый нами моделируемый анализ неисправностей очень важен.

В настоящее время система тяговой передачи локомотивов, работающих на железнодорожных линиях Китая, в основном состоит из пантографа, главного выключателя, тягового трансформатора, тягового преобразователя и тягового двигателя трехфазного переменного тока. Среди них преобразователь CRH3, который является ключевым компонентом двигателя с прямым приводом. Компоненты преобразователя в основном включают в себя сторону выпрямителя, промежуточную часть постоянного тока и сторону инвертора. Качество и рабочие характеристики тягового преобразователя напрямую определяют, сможет ли весь локомотив работать безопасно и стабильно.

Преобразователь играет очень важную роль в тяговой системе, поэтому очень важно изучить тяговый преобразователь и выполнить анализ диагностики неисправностей.

Он может диагностировать и анализировать неисправность преобразователя в режиме реального времени и быстро определять место неисправности, а также должен реагировать на различные режимы неисправности в режиме реального времени, чтобы вывести безопасность эксплуатации поезда на новый уровень. Диагностика неисправностей в основном основана на мониторинге рабочего состояния в сочетании с методами обработки данных, и посредством обучения создается конкретная модель диагностики для достижения точного определения местоположения неисправностей [1]. Помимо эффективной диагностики неисправностей, мы также должны тесно связать с диагностикой неисправностей еще одну задачу – устранение неисправностей. Таким образом, можно сказать, что технология диагностики неисправностей может эффективно способствовать безопасной эксплуатации железнодорожного транспорта .

В технологии диагностики неисправностей, освоенной в настоящее время в Китае, например, преобразователи, выпрямители или инверторы, изучаются отдельно, поскольку объекты исследования и диагностики различны, во всей системе передачи каждый компонент имеет разную сложность, и существуют различные методы тестирования, а также определенны различные ограничения и другие факторы. Технические требования к профессионализму и точности технологии анализа и диагностики неисправностей становятся все выше и выше, что особенно очевидно в сложных системах. Внутренняя структура очень сложна, а подсистемы или отношения между подсистемами очень разнообразны. В результате существует множество неопределенных факторов, поэтому нам приходится выбирать параметры, которые необходимо извлечь во время анализа неисправностей.

Типы неисправностей можно разделить на следующие виды:

1. Одиночная неисправность.
2. Множественные неисправности.
3. Связанные неисправности и другие формы.

При диагностике различных неисправностей выбор различных методов диагностики неисправностей должен основываться на реальных условиях. Диагностика не может проводиться случайно, что повлияет на быстроту, точность диагностики и эффективность устранения неисправности. Поэтому мы совершенствуем систему в соответствии с реальной ситуацией и становимся системой, подходящей для конкретных ситуаций. Поскольку вероятность одновременного выхода из строя двух IGBT-транзисторов относительно невелика, в этой работе была выполнена симуляционная диагностика IGBT-транзисторов, отключая их по отдельности для имитации одной неисправности [2, 3].

Используя программное обеспечение MATLAB для создания модели в Simulink (рис. 1), было проведено исследование и анализ неисправностей преобразователя на основе ансамблевого обучения. Проводились включения и отключения IGBT-транзисторов при моделировании индивидуально, чтобы моделировать рабочий режим преобразователя при возникновении одиночной неисправности. Выходной ток использовался в качестве параметра, для которого проводился вейвлет-анализ и применялся алгоритм ансамблевого обучения.

При возникновении различных неисправностей в преобразователе полученные выходные сигналы имеют различную форму, и существует множество детальных отличий, которые явно отличаются от форм сигналов в нормальных условиях эксплуатации. Таким образом, в дополнение к выводу о выходе из строя тяговой системы по выходному току,

определяется, какая часть тяговой системы вышла из строя. Распознавание образов сначала требует сбор данных о сигнале и извлечения значений функций.

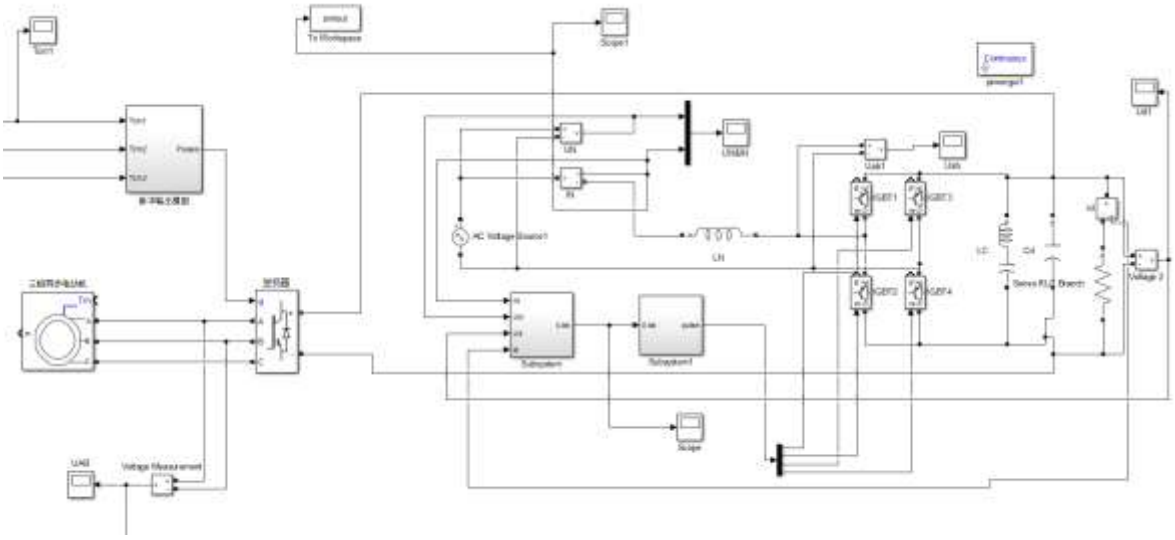


Рис. 1. Схема модели в Simulink преобразователя CRH3 EMU

Сначала нам нужно извлечь сигнал, затем выполнить обработку по шумоподавлению и внести его в алгоритм для отображения информации о характеристиках сигнала, чтобы можно было провести дальнейшие исследования и повысить точность классификации шаблонов. В настоящее время наши обычно используемые методы анализа сигналов включают анализ сигналов во временной области, частотной области, амплитудной области или фазовой области [4].

Затем выполнялся вейвлет-анализ на 100 группах ситуаций после изменения параметров. С помощью программирования были получены данные из вейвлет-анализа и внесены их в интегрированный модуль обучения с алгоритмом ансамблевого обучения. 70 групп были обучены, а 30 групп были протестированы для проверки точности. Для определения причины ошибки было изменено количество классификаторов и проведена проверка еще раз. Благодаря проведенному анализу было определено, что уровень точности является самым высоким при $N = 1000$. При $N < 1000$ – уровень точности очень низкий, что затрудняет определение неисправности. При $N > 1000$ – уровень точности достигает целевого требования, но скорость снижается, что влияет на эффективность анализа неисправностей. Следовательно, количество классификаторов необходимо отрегулировать до соответствующего числа для повышения производительности анализа отказов.

Список литературы

1. Gou, B., Ge, X., Wang, S., Feng, X., Kuo, J. B., & Habetler, T. G. (2016). An open-switch fault diagnosis method for single-phase PWM rectifier using a model-based approach in high-speed railway electrical traction drive system. IEEE Trans. Power Electronics, 31, 3816–3826.
2. Xia, Y., Gou, B. & Xu, Y. A new ensemble-based classifier for IGBT open-circuit fault diagnosis in three-phase PWM converter. Prot Control Mod Power Syst 3, 33 (2018). https://doi.org/10.1186/s41601-018-0109-x
3. Ding, X., Du, M., Duan, C., Guo, H., Xiong, R., Xu, J., Cheng, J., & Luk, P. "analytical and experimental evaluation of SiC-inverter nonlinearities for traction drives used in electric vehicles," IEEE Trans. Vehicular technology, vol. 67, no. 1, pp. 146–159, Jan. 2018
4. Huang, G., & Huang, G. B. (2015). Trends in extreme learning machine: A review. Neural Netw, 61, 32–48.

СЕКЦИЯ МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА АВТОПАРКОВКИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Д.А. Игнатьев, Е.А. Масленникова, Д.М. Филатов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В современных робототехнических системах проблема правильной навигации и корректной локализации препятствий на пути следования робота является одной из важнейших. В условиях следования робота по выбранной траектории из начальной точки в конечную, необходимо наличие определенного отлаженного алгоритма его парковки, который обеспечит избегание столкновения робота с препятствиями в зоне парковки. Решением этой задачи будет возможность применения нескольких подобных алгоритмов, что, в свою очередь, позволит мобильному роботу наилучшим образом производить автопарковку в определенной области

Ключевые слова: автономный транспорт, мобильная робототехника, навигация и перемещение мобильных роботов, алгоритмы автопарковки

Цель исследования

В настоящее время робототехника является одной из самых актуальных и быстроразвивающихся технических областей, применение которой находится во многих сферах жизни человека. Проблема безопасной и точной автопарковки робота является крайне важной задачей в робототехнике, которая решается при помощи определенных алгоритмов и точной настройки локального планировщика робота.

Сравнение различных алгоритмов автопарковки автономного транспортного средства в сфере их применимости и эффективности является актуальным направлением исследований.

В данной статье будет проведено сравнение двух алгоритмов автопарковки, связанных с изменением динамических параметров робота по мере его следования к пункту назначения.

Первый алгоритм подразумевает динамические изменение параметров робота при достижении им определенного расстояния до места парковки, чтобы обеспечить требуемую оптимизацию процесса. Второй алгоритм напоминает первый, однако в нём выделяются определенные парковочные зоны при помощи системы координат на заранее построенной карте, в которых параметры робота будут изменяться.

Описание методики проведения исследования

Для сравнительного анализа алгоритмов автопарковки будет использоваться симулятор *Gazebo*, в котором робот перемещается по заранее определенной траектории на заранее записанной карте. Данные о роботе будут собираться с помощью системы *ROS* и будут сравниваться между собой. В качестве локального планировщика в ходе проводимых исследований был выбран *TEB* (*Time Elastic Band*). Существует также локальный планировщик *DWA*, однако в работе он не использовался по той причине, что *TEB* обладает более гибкой настройкой по множеству параметров, а также обеспечивает объезд

динамический препятствий оптимальным способом, учитывая при построении траектории динамику робота.

Формирование данных, используемых в исследовании

Для сбора данных о передвижении робота в симуляторе *Gazebo* был создан узел на языке программирования Python, передающий информацию о пройденном расстоянии, а также времени в пути. Во многом при помощи именно этого узла были реализованы рассматриваемые в статье алгоритмы автопарковки.

Для объективного сравнения алгоритмов выбрано использование 3D модели помещения, на которой робот перемещается по одной и той же траектории. Для сохранения и загрузки глобальной карты использовался пакет *map_server*. Траектория и сохраненная карта представлены на рисунке 1.

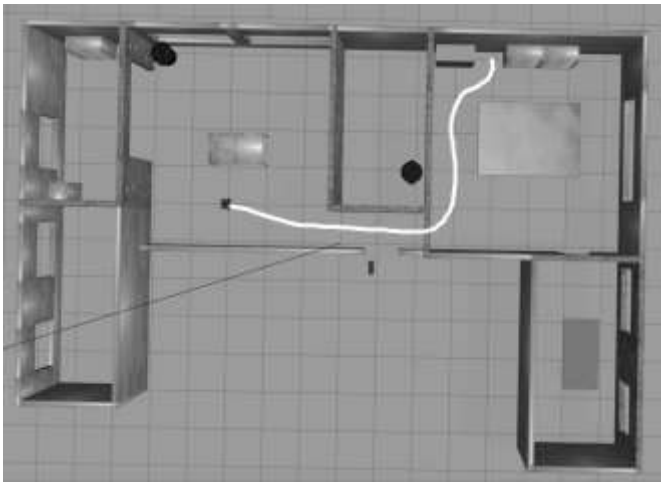


Рис. 1. Сохраненная карта и траектория (сплошная линия), используемые в исследовании

Анализ данных

Для сравнения алгоритмов автопарковки и опорных данных из симулятора было написано несколько программ на высокоуровневом языке программирования Python, осуществляющих смену динамических параметров робота при достижении определенных условий.

Маршрут робота всегда будет одним и тем же. Конечная цель маршрута задается при помощи координат, а после того, как робот достигнет конечной точки маршрута, он будет возвращен на свою стартовую позицию. Это обеспечит точность полученных данных.

Вначале сформируем в графическом виде данные о скоростях робота, а также получим сведения об общей длительности всего маршрута и времени в пути при помощи утилиты *rosbag*, а также узлов на языке программирования Python.

При первом способе автопарковки робот изменял свои динамические параметры, достигая определенного расстояния до конечной цели. У робота уменьшалась максимальная скорость (как линейная, так и скорость поворота), чтобы существенно уменьшить шансы на столкновения с препятствиями. С другой же стороны, показатели *inflation* и *min_obstacle_dist* были также уменьшены, чтобы робот смог заезжать в узкие места при парковке.

Во втором способе к парковке робота применялся другой подход. Его параметры изменялись в тот момент, когда робот достигал определенной координатной области (зоны автопарковки)

На рисунке 2 представлены графики линейной и угловой скоростей при параллельной парковке робота первым способом.

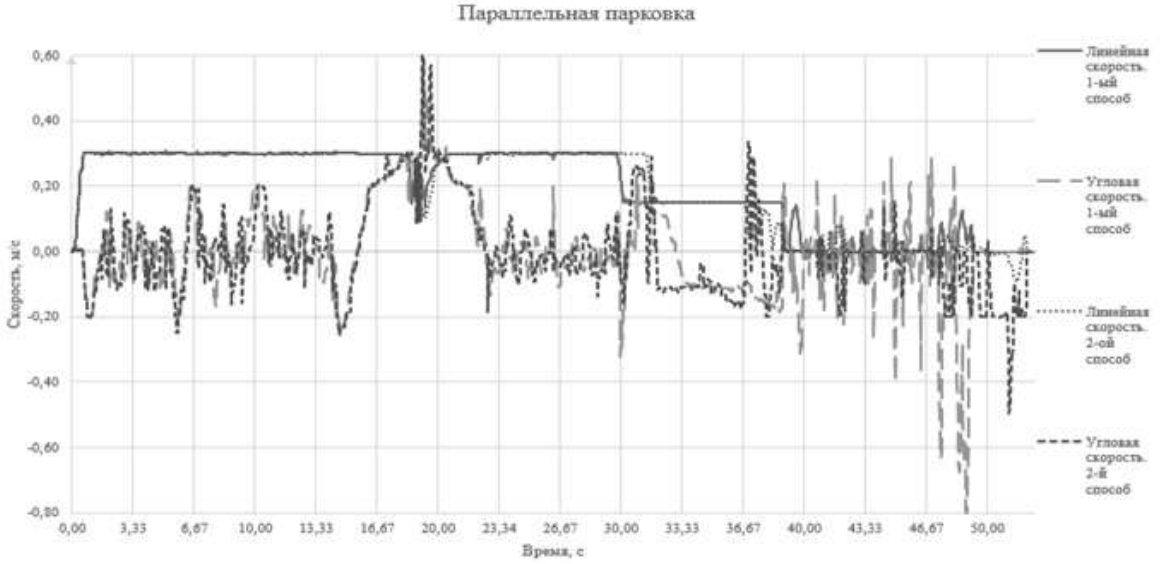


Рис. 2. График линейной и угловой скорости при параллельной парковке

Как можно видеть из полученных графиков, после определенного момента, робот начинает сбавлять свою скорость. Несмотря на то, что показатель *inflation* был сильно снижен, робот очень сильно буксовал, пытаясь избежать потенциального столкновения. Это прекрасно видно на последнем участке графика. Однако робот смог припарковаться, хоть и с большими усилиями. Суммарное время в пути – 49.27 секунд для первого способа и 52.13 секунды для второго способа. Общее пройденное расстояние – 10.09 метров для первого способа и 10.06 метров для второго способа.

На рисунке 3 представлены графики линейной и угловой скоростей при перпендикулярной парковке задним ходом

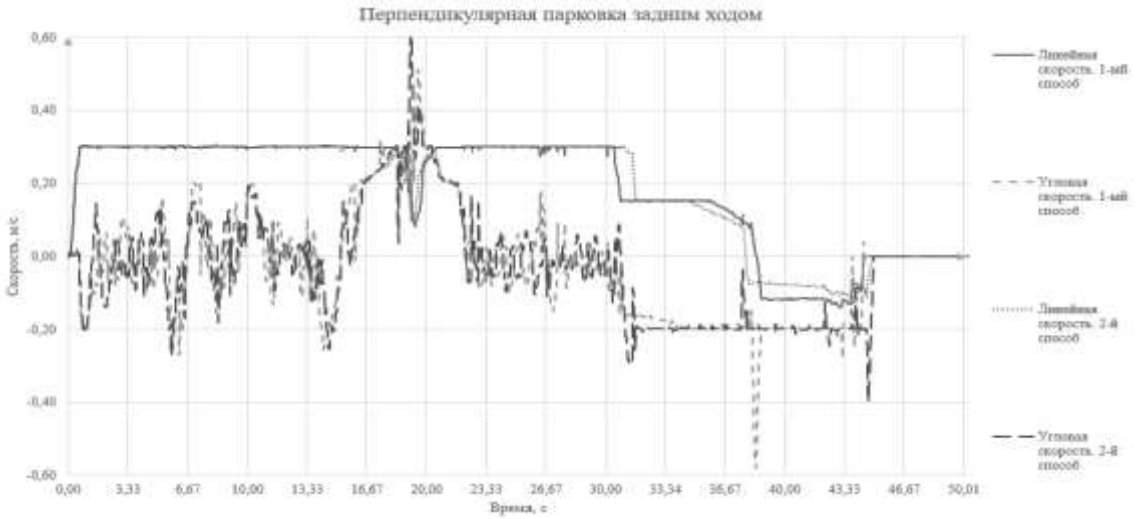


Рис. 3. График линейной и угловой скорости при перпендикулярной парковке

Во время проведения тестов с перпендикулярной парковкой буксований было гораздо меньше по той причине, что эта разновидность парковки оказалась проще предыдущей. Тем не менее, робот не смог принять требуемого положения в силу ограничений, накладываемых на него наличием показателя inflation. Суммарное время в пути – 44.44 секунд для первого способа и 44.93 секунды для второго способа. Общее пройденное расстояние – 10.59 метров для первого способа и 10.51 метров для второго способа.

Заключение

Исследование показало, что приведенные в статье алгоритмы могут использоваться для решения задачи автопарковки.

Принцип действия обоих этих алгоритмов крайне простой. Однако эта же простота и накладывает на эти алгоритмы ряд существенных ограничений. Из-за того, что *inflation* не может был полностью исключен в целях безопасности парковки (чтобы робот не врезался в препятствие во время парковки), проезжать в крайне узкие пространства для него становится довольно затруднительно.

Тем не менее, при помощи этих алгоритмов можно организовать автопарковку. Стоит так же учесть, что первый алгоритм может обеспечить ложное срабатывание в том случае, если конечная точка маршрута будет находиться, например, за прилегающей к роботу стенке.

Рекомендуется применять определенный алгоритм в зависимости от поставленной задачи. В одном случае можно выделить целую отведенную под парковку зону, а в другом определить минимальное расстояние до конечной цели, при которой робот перейдет в необходимый для парковки режим.

Список литературы

1. TEB Local Planner [Электронный ресурс]. URL: http://wiki.ros.org/teb_local_planner
2. Навигация [Электронный ресурс]. URL: http://wiki.ros.org/navigation
3. ROS Navigation: Concepts and Tutorial. Studies in Computational Intelligence 625:121-160
4. Рябов А. Р., Решетников А. Г., Ульянов С. В. Навигационная система в задаче управления автономным мобильным роботом // Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание. 2022. № 1. С. 64–76.

РАЗРАБОТКА ШАГАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА В МЕХАТРОННЫХ РОБОТОТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВАХ

А.С. Ляховский

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В данной статье рассматриваются различные варианты конструкций шагающего элемента роботизированного устройства, их особенности, достоинства и недостатки. Сформирован алгоритм для определения длины направляющей.

Ключевые слова: шагающий робот, шагающий элемент

Роботы остаются одной из самых актуальных тем в современном мире, поскольку их применение охватывает широкий спектр отраслей, начиная от промышленности и медицины, и заканчивая бытовыми задачами и исследованиями космоса. С развитием технологий и искусственного интеллекта роботы становятся все более автономными,

эффективными и доступными. В промышленности роботы увеличивают производительность, снижают затраты и повышают безопасность труда. В медицине роботы помогают в проведении сложных операций и реабилитации пациентов. В быту они облегчают выполнение рутинных задач и улучшают качество жизни. Роботы становятся незаменимыми помощниками в исследовании недоступных для человека территорий. Таким образом, роботы продолжают оставаться актуальными и востребованными, играя ключевую роль в технологическом прогрессе и улучшении жизни людей.

В настоящее время в мире робототехники существует множество различных типов роботов, которые классифицируются по различным критериям, включая способ передвижения. Понимание и классификация роботов по их методам передвижения играют важную роль в определении их функциональности, эффективности и областей применения. На данный момент выделяют 3 основных способа передвижения наземных роботов: с помощью колес, гусениц и имитация ходьбы человека или животного.

Колёсные роботы имеют достаточно простую конструкцию и обладают достаточно высокой скоростью и манёвренностью. Гусеничные роботы имеют гусеничную платформу, которая повышает устойчивость и проходимость. А шагающие роботы обеспечивают уникальные возможности преодоления препятствий и плавного перемещения по сложному рельефу. Однако шагающие машины не получили широкого распространения из-за сложностей в конструкции и программном обеспечении.

Шагающий робот – это мобильная платформа с подвижными опорами (механическими ногами), которые обеспечивают передвижение. Наличие ног даёт более высокую проходимость по сложным поверхностям. Так, например, для шагающего робота не составит труда преодолевать препятствия с высотой более чем половина высоты опоры. Количество ног может быть различным, все зависит от сложности местности и предназначения робота. На сегодняшний день существуют различные варианты конструкций подвижных опор, которые будут рассматриваться далее.

Простейшими шагающими механизмами будем называть механизмы, преобразующие вращательного движение вала двигателя в поступательное движение опор шагающего робота. К таким механизмам относятся механизмы П.Л. Чебышего, Джо Кланна, Тео Яснена и различные их модификации.

Стопоходящая машина П.Л. Чебышего впервые была представлена в 1878 года на Всемирной выставке в Париже и произвела огромный фурор. Её ноги сначала двигались горизонтально относительно механизма, а потом поднимались и перемещались в исходную точку. В основе машины лежал так называемый лямбда-механизм, названный так из-за схожести с греческой буквой «лямбда».

Лямбда-механизм представляет из себя 4 звена: неподвижное звено с двумя шарнирами O и D, и три подвижных AO, AC, BD, которые соединены между собой определённым образом. Длины каждого из звеньев зависят между собой и относятся в соответствии с соотношением:

$$AO : OD : AB : BD : AC = 1 : 2 : 2.5 : 2.5 : 5. \quad (1)$$

При вращении ведущего звена AO вокруг точки O ведомое звено AC своей вершиной C описывает траекторию, нижняя часть которой прямолинейна. К верней вершине ведомого звена присоединяется механическая нога.

Однако, несмотря на простоту механизма, механизм Чебышего получается довольно громоздким и при его использовании нет возможности поворота.

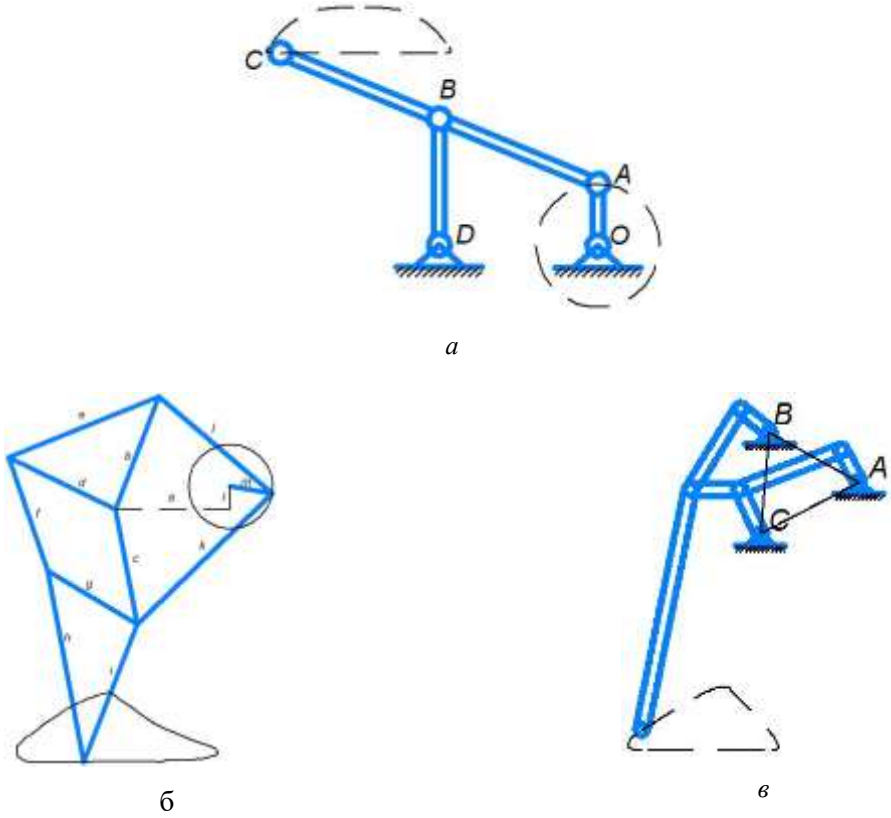


Рис. 1. Конструкции простейших шагающих элементов: а) механизм Чебышева; б) механизм Тео Яснена; в) механизм Джо Кланна

Механизм Тео Яснена представляет собой набор из 7 подвижных звеньев. Геометрия составных частей описывается с помощью 13 чисел. Для поиска удовлетворительной комбинации этих чисел используют метод генетического моделирования. Такая сложная структура позволяет добиться достаточно протяжённого прямолинейного участка на траектории движения точки опоры. Между тем, сложность конструкции является существенным недостатком данной системы.

Наибольшую популярность в робототехнике получил механизм Джо Кланна, состоящий из вращающегося звена, кривошипа, двух шатунов и двух сцепок. Размер каждого звена механизма определяется необходимостью приблизить траекторию движения опоры к линейному. Нога за первые пол-оборота кривошипа перемещается по линейному участку траектории, потом поднимается на определённую высоты и возвращается в исходную точку, после чего цикл повторяется снова.

Механизм Кланна имеет довольно простую конструкцию, а также позволяет относительно просто управлять направлением движения робота, что не может нам обеспечить лямбда механизм.

В рассмотренных ранее механизмах шагания использовался принцип превращения вращательного движения вала двигателя в поступательное движение опор шагающего робота. Однако с развитием техники появились системы на основе сервоприводов. Наличие сервоприводов в механической ноге позволило решить ряд вопросов и упросить конструкцию ноги.

Устройство ноги невероятно простое и напоминает ногу краба или жука, где в качестве суставов используется сервоприводы, которые соединяются между собой с помощью направляющих.

Одними из основных требований для любого шагающего робота являются его масса, полезная нагрузка, а также максимальная высота препятствия, которое он сможет преодолеть. Именно эти требования как раз и обеспечивает нам шагающий механизм.

Массу машины можно рассчитать, как сумму масс её составных частей:

$$M = m_{\text{корп}} + m_{\text{опор}} * n_{\text{опор}} + m_{\text{эл}} + m_{\text{акб}} + m_{\text{доп}}, \quad (2)$$

где: $m_{\text{корп}}$ – масса корпуса; $m_{\text{опор}}$ – масса одной опоры в сборе; $n_{\text{опор}}$ – количество опор; $m_{\text{эл}}$ – масса электронных составляющих; $m_{\text{акб}}$ – масса аккумулятора; $m_{\text{доп}}$ – масса дополнительного оборудования, т.е. полезная нагрузка робота.

Размер препятствий, которые может преодолеть робот зависит от многих факторов, в том числе и от размера рабочего пространства Основным характеристиками, которые влияют на рабочее пространство ноги являются угловой диапазон поворота привода и длины составных частей. Угловой диапазон поворота ограничен конструкцией самого привода и его креплением. Длина направляющих высчитывается исходя из количества опор, массы робота, его полезной нагрузки и необходимого размера рабочего пространства.

Для определения необходимой длины направляющих можно использовать следующий алгоритм:

1. Задаться начальной длиной
2. Найти грузоподъемность машины по кинематической схеме и выбранного способа передвижения
3. Сверить полученную грузоподъёмность с необходимой. В случае недостаточности изменить длину направляющих.
4. Найти максимальный наклон преодолеваемого подъёма
5. Сверить с требованиями. Если не удовлетворяет изменить длину в пункте 1.
6. Задать угловые диапазоны поворота привода и построить рабочее пространство.
7. Найти максимальную высоту преодолеваемого препятствия.
8. Проверить на выполнение требований. В случае недостаточности задать новую длину в пункте 1.
9. Определить клиренс и ширину колеи.
10. Сверить с требованиями. Если не удовлетворяет условиям – задаться новой длиной направляющих в пункте 1.
11. Определить скорость поворота.
12. Проверить на выполнение требований. Если не удовлетворяет изменить длину в пункте 1.
13. Определить нужную площадь опоры, исходя из удельной нагрузки на грунт.

Таким образом, разработка шагающего элемента является важным направлением в развитии механотроники и робототехники. Этот компонент играет огромную роль повышении мобильности и маневренности роботов, что открывает новые возможности для их применения в самых различных областях, от медицины и промышленности до авиации и космонавтики. Постоянное совершенствование шагающих элементов позволит создавать более совершенные и универсальные роботизированные устройства, способные эффективно справляться с широким спектром задач и условий.

Список литературы

1. Алеников Ю. Г. Разработка основ для создания шагающих машин с динамической устойчивостью в сельскохозяйственном производстве
2. Петров А.А., Зюзин Б.Ф. Обоснование рационального шагающего механизма для болотоходной техники
3. Фокин В.Г., Шаныгин С.В. Обзор и перспективы развития мобильных шагающих робототехнических систем

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА АВТОПАРКОВКИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

В.Я. Магда

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В данной статье рассматривается разработка ленточного конвейера, моделирование системы управления устройством. Приведены преимущества данной конструкции конвейера.

Ключевые слова: ленточный конвейер, система управления, система привода.

Конвейер – это устройство, которое позволяет автоматизировать производственный процесс, а также увеличить его технико-экономическую эффективность и производительность. Конвейер является неотъемлемой частью современных отраслей промышленности. Существует много видов конвейеров, самым распространенным является ленточный конвейер.

Ленточный конвейер позволяет непрерывно перемещать различные объекты от одного узла производства к другому. Главное преимущество ленточного конвейера в сравнении с остальными видами транспортировки является непрерывность и высокая скорость движения ленты, при малых затратах энергии, что значительно повышает эффективность производственного процесса.

Конструкция ленточного конвейера представляет собой несущую раму, к которой при помощи болтового соединения крепятся держатели ведущего и ведомого ролика, напечатанные на 3D-принтере.

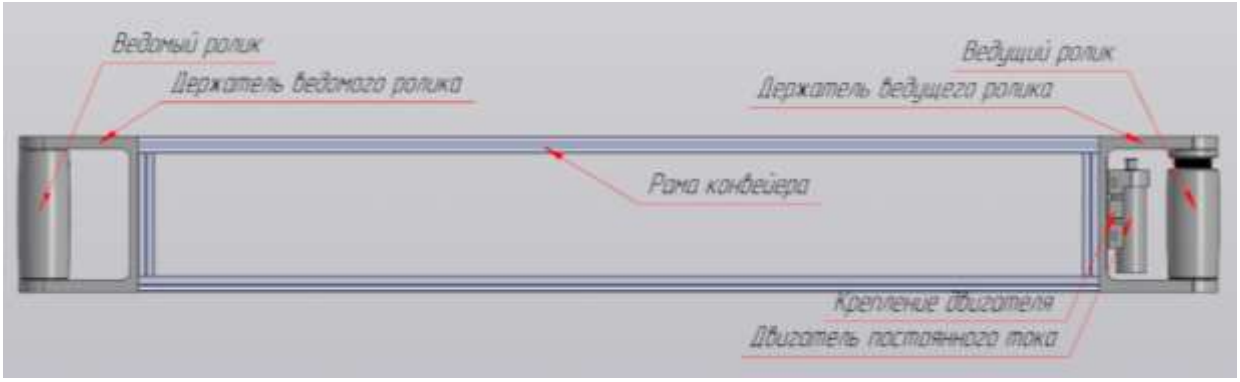


Рис. 1. Конструкция конвейера

В зависимости от поставленной задачи можно изменять длину конвейера заменой профиля, на профиль требуемой длины.

К держателю ведущего ролика крепится система привода, состоящая из двигателя постоянного тока, который по средству ременной зубчатой передачи передает момент со шкива двигателя на ведущий ролик.

Рис. 2. Система привода конвейера

Такое расположение компонентов привода позволяет значительно уменьшить габариты изделия, что является существенным преимуществом перед другими конвейерами такого типа.

Так как неизбежно при работе конвейера лента будет растягиваться, предусмотрен механизм натяжения, изображенный на рисунке 3.

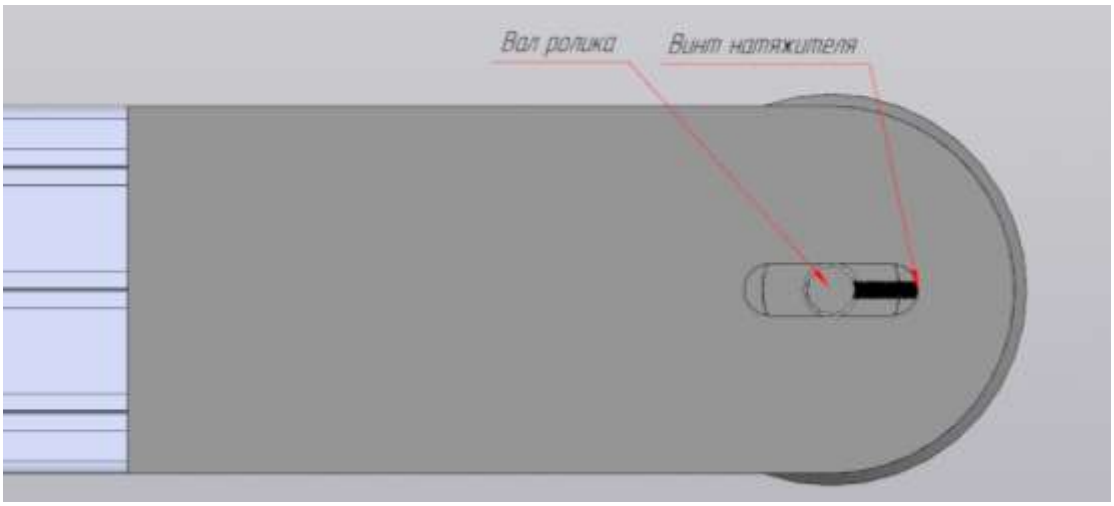


Рис. 3. Механизм натяжителя

Закручивая винт натяжителя, вал ролика смещается относительно центра конвейера, тем самым увеличивается натяжение ленты конвейера.

Установив все компоненты на свои места, мы получим компактный ленточный конвейер.

Рис. 4. Ленточный конвейер

Такая конструкция позволяет устанавливать несколько устройств вплотную друг к другу.

Для управления конвейером используется программируемый контроллер DCpic33ck256mp508. Контроллер подключен к двигателю постоянного тока через H-мост IBT2(BTS7960), это нужно для того чтобы была возможность подать требуемое напряжение на двигатель и использовать реверс. Увеличение или уменьшение скорости двигателя осуществляется с помощью изменения скважности ШИМ-сигнала.

В качестве управления взята трехконтурная система подчиненного регулирования, где в первом контуре использован П-регулятор, а во втором и третьем ПИ-регулятор, смоделированная в Simulink.

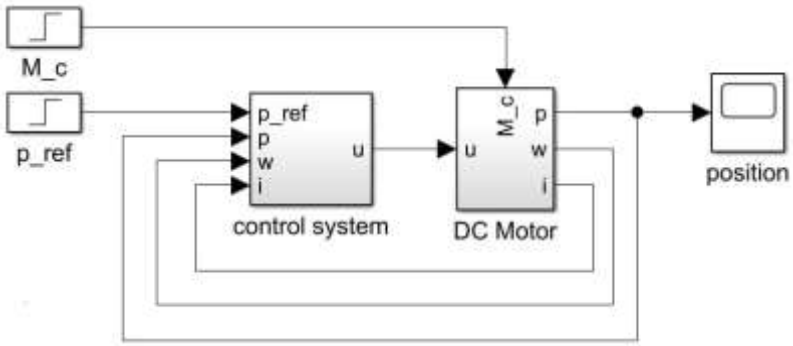


Рис. 5. Система управления

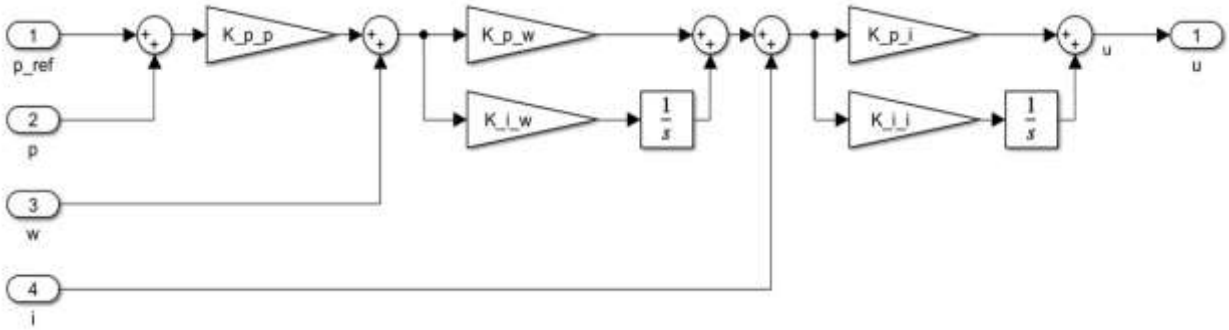


Рис. 6. Блок control system

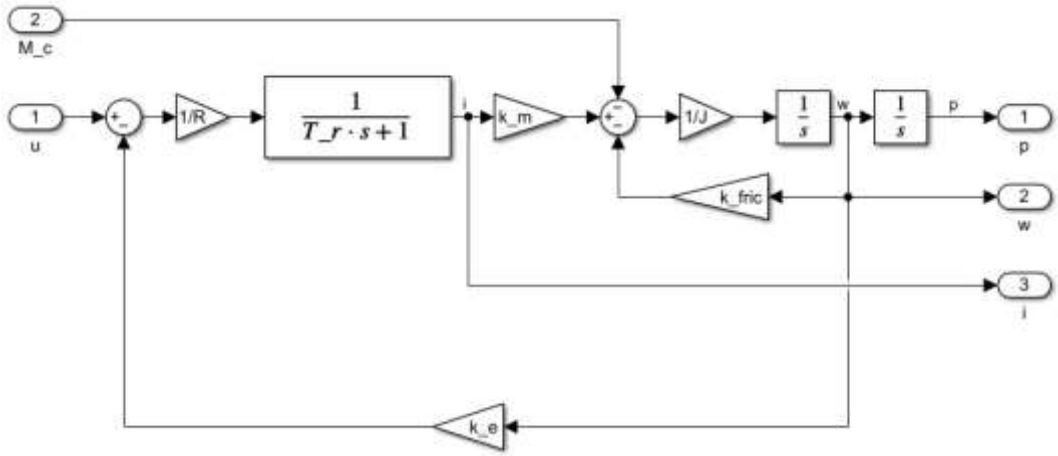


Рис. 7. Блок DC Motor

Результаты моделирования продемонстрируем на примере графика переходного процесса скорости вращения ротора двигателя.

Рис. 8. Переходный процесс скорости вращения ротора

Из графика видно, что ротор двигателя достигает заданной скорости 1500 об/мин.

Таким образом, проектируемое устройство, позволяет перемещать объекты на требуемое расстояние, со скоростью заданной оператором конвейера.

Список литературы

1. Киселев, Б.Р. Ленточный конвейер. Расчет и проектирование основных узлов: учеб. пособие/ Б.Р. Киселев, М.Ю. Колобов; Иван. гос. хим.-технол. ун-т.– Иваново, 2019 – 179 с.
2. Автор. Название (стиль – «Перечень литературы»)

РАЗРАБОТКА МНОГОЗВЕННОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА С ПЕРЕМЕННЫМ УГЛОМ НАКЛОНА МЕЖДУ ЗВЕНЬЯМИ

И. Поляков, М.Д. Максименко, К.А. Порохненко

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В работе рассматриваются этапы разработки многозвенного робототехнического устройства. Представлена сборка и описание прототипа модуля, а также описание звеньев.

Ключевые слова: многозвенное роботизированное устройство, робототехника, планетарная система передачи.

Конфигурация манипуляторов различна по двум параметрам: количеству звеньев и специальным характеристикам. В промышленности чаще используются многозвенные роботы-манипуляторы. Они имеют как поступательные, так и вращательные сочленения.

Исследуемый манипулятор состоит из нескольких звеньев, поэтому он и называется многозвенным.

В области модульных многозвенных устройств важную роль играет использование систем передач, открывающих множество преимуществ и возможностей в робототехнике. В работе используется планетарный редуктор, который особенно подходят для применений, где пространство ограничено. Когда высокий крутящий момент является требованием, как это часто бывает в робототехнике, планетарные передачи превосходно обеспечивают надежную работу.

На рисунке 1 представлены элементы конструкция системы для последующей печати и сборки.

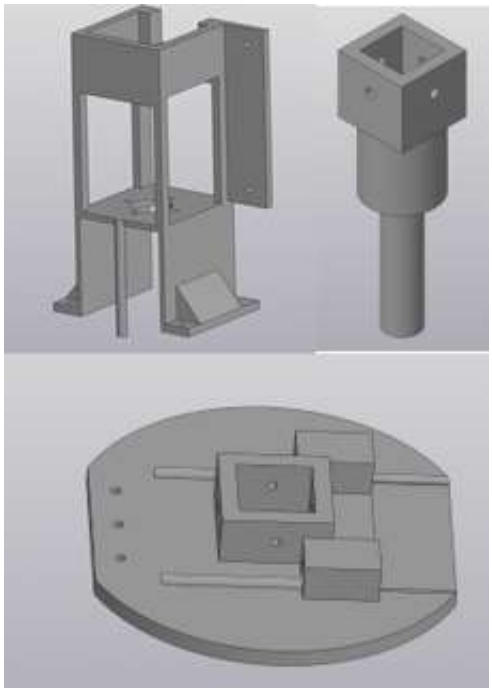


Рис. 1. Элементы конструкции звена

Для создания переменного угла наклона модулей между собой использован линейный привод.

Рассмотрим несколько звеньев системы.

Нулевое звено: статично. Оси проведены по левой грани, начальные координаты (0,0,0).

I звено: поскольку за начало осей координат была взята лева грань, принадлежащая системе, то при рассмотрении первого блока будет изменение координат по оси z. Предположим, что высота каждого блока равняется a. Исходя из этого, получим матрицу (1):

$$\begin{matrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & a \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix} \quad (1)$$

II звено: поворачивается относительно оси x на угол γ и поскольку второй блок помимо оси x также вращается по оси z на угол β, получим конечную матрицу (2):

$$\begin{matrix} cos\,\beta & -sin\,\beta & 0 & 0 \\ sin\,\beta & cos\,\beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 2a \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix} \quad (2)$$

Для создания прототипа были применены также несколько дополнительных решений. Во-первых, использование скользящего контакта для предотвращения перекрутки проводов. Скользящий контакт или контактное кольцо играет важную роль в поддержании электрической связи между модулями. Он обеспечивает передачу энергии, сигналов и данных, поддерживая связь и координацию. Скользящий контакт обеспечивает вращательную гибкость звенньев, обеспечивая плавное соединение во время движения. Эта функция важна для распределения мощности и модульности устройства.

Для разработки модульного многозвенного роботизированного устройства с планетарной системой было выбрано сквозное контактное кольцо GCSLIPRING SRT012-54-0410.

В качестве соединительного элемента между модулями был выбран подшипник 1000806-2RS (6806-2RS).

Рис. 2. Компоненты системы (скользящее кольцо и подшипник)

Для вращения модулям используется шаговый двигатель и планетарный редуктор FLE42. Управление осуществляется с помощью STM32F103C8T6.

Для создания переменного угла наклона модулей между друг другом был использован линейный привод. В качестве операционного процессора был выбран STM32F103C8T6.

Для разработки модульного многозвенного роботизированного устройства с планетарной системой была выбрана система редуктора FLE42 в сочетании с NEMA17.

Решение о внедрении планетарной передачи зависит от конкретных потребностей применения, принимая во внимание требования к пространству системы, крутящему моменту, настройке и точности.

Список литературы

1. А. Пивоваров, В. Шевчук. Увеличение долговечности планетарного механизма вращения. – М.: ЛАП Ламберт Академическое издательство, 2012. – 116 с.
2. О.Д. Егоров. Проектирование механизмов роботов. – М.: Абрис, 2012. – 446 с.
Джон Крейг. Введение в робототехнику. Механика и управление. – М.: Институт компьютерных исследований, 2013. – 564 с.
3. Капитонов А.А. Введение в моделирование и управление робототехническими системами. – М.: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2016. – 108 с.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ НАЗЕМНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

А.В. Суходолов, А.В. Вдовенко, С.О. Юдин, А.В. Сомов, С.М. Каданцев

Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск РЭБ (учебный и испытательный)

Аннотация. В данной статье рассматриваются основные этапы создания наземных роботизированных систем и использование алгоритма управления с применением резервных методов навигации.

Ключевые слова: робот, алгоритм управления, роботизированные системы, наземный робототехнический комплекс, Arduino.

В настоящее время роботизированные системы используются почти во всех сферах жизнедеятельности человека. Роботы задействуются на производстве, трудятся в медицинской сфере, с их помощью проводится множество космических исследований.

Так же нельзя оставлять без внимания и военную сферу деятельности. Роботизированные системы являются одними из самых перспективных направлений развития на данный момент времени. Актуальность их применения трудно оспорить, современные военные конфликты просто немыслимы без применения роботизированных технологий.

На первом этапе необходимо понимать какие задачи будет выполнять будущее устройство и при каких условиях работы. Большинство роботизированных систем дистанционно управляется оператором с использованием видеоканала связи. Однако данный вид контроля является не всегда оптимальным ввиду того, что связь с устройством может быть потеряна как из-за особенности рельефа местности, так и из-за постановки помех противником. Чтобы предотвратить потерю роботизированного комплекса Авторы статьи предлагают использовать алгоритм системы управления с применением резервных методов навигации (рисунок 1). Требования, предъявляемые к созданию алгоритма – это самостоятельное избегание препятствий при движении и определение кратчайшего пути возвращения в случае потери основного канала связи.

Рис. 1. Методы управления наземным робототехническим комплексом.

На втором этапе работы стоит задача выбора методов определения кратчайшего расстояния от текущего местоположения устройства до указанной точки (например место откуда робот был отправлен). Таким методом может стать использование алгоритма поиска оптимального пути (алгоритм А) в паре с алгоритмом избегания препятствий. Для реализаций этих функций Авторами статьи предлагается интегрировать в систему управления наземным робототехническим комплексом системы GPS и ГЛОНАСС, а также датчик позволяющий сканировать местность. Блок-схема алгоритма представлена на рисунках 2-3.

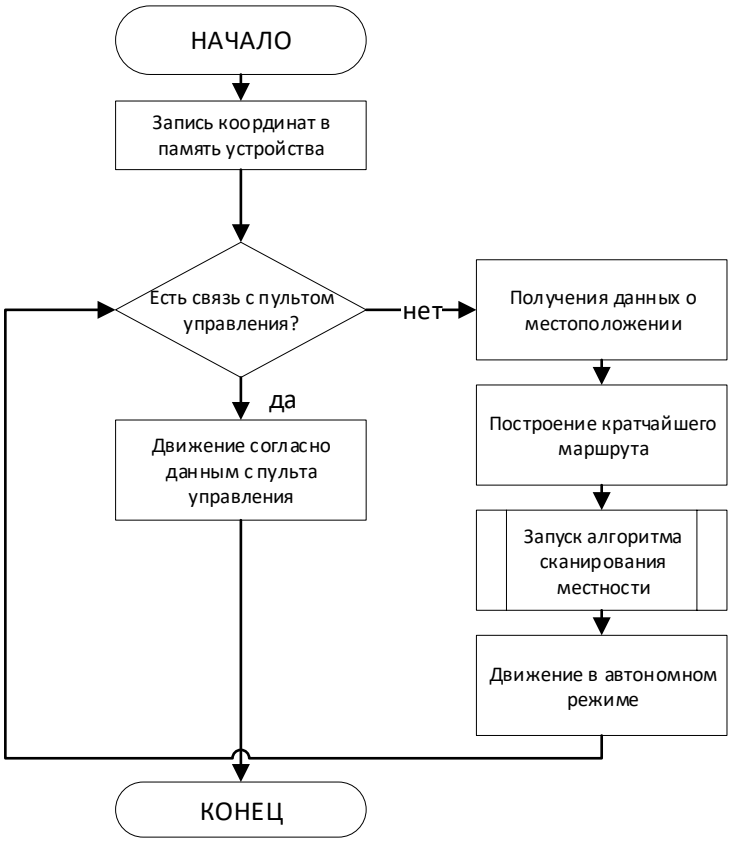


Рис. 2. Алгоритм автономного управления наземным робототехническим комплексом.

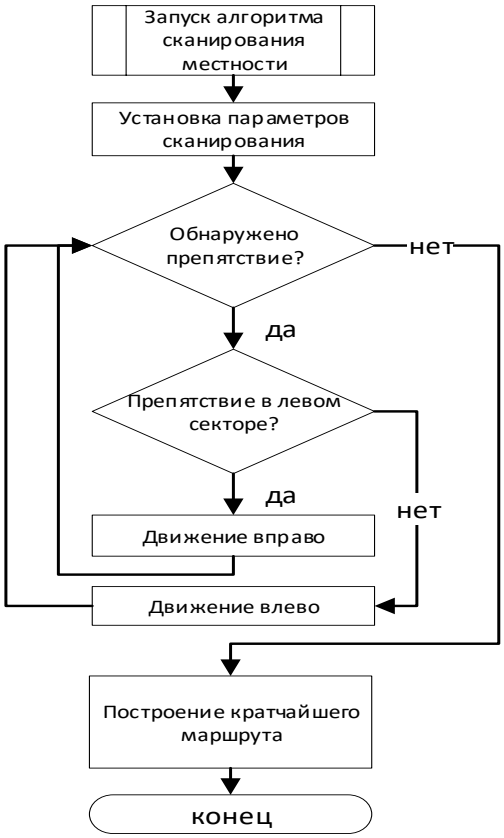


Рис. 3. Подпрограмма алгоритма автономного управления наземным робототехническим комплексом.

Третий этап представляет собой разработку программного обеспечения. Интегрирование GPS в программу системы управления наземным робототехническим комплексом на базе микроконтроллера Arduino может выглядеть следующим образом (листинг 1).

Листинг 1

```
softwareSerial gpsSerial(GPS_RX_PIN, GPS_TX_PIN);
tiny GPSPus gps;
float destinationLaitude = 0.0;       // Широта пункта назначения
float destinationLongitude = 0.0;   // Долгота пункта назначения
void setup () {
Serial.begin(9600);
gpsSerial.begin(BAUD_RATE);  // Инициализация последовательной связи с GPS модулем
destinationLaitude = 12.3457;        // Установка широты
destinationLongitude = 12.3456;   // Установка долготы
}
void loop () {
while (gpsSerial.avalible()>0){
if (gps.encode(gpsSerial.read())) {
if(gps.location.isValid()){
float currentLaitude = gps.location.lat();
float currentLongitude = gps.location.lng();
```

float distanceToDestination = calculateDistance(currentLaitude, currentLongitude, destinationLaitude, destinationLongitude); // Расчет растояния до пункта назначения

Функция для расчета расстояния между двумя точками на поверхности Земли представлена в листинге 2.

Листинг 2

```
float calculateDistance(float lat1, float lon1, float lat2, float lon2){
float R = 6371.0;
float dLat = radians(lat2-lat1);
float dLon = radians(lon2-lon1);
float a = sin(dLat/2)*sin(dLat/2)+ cos(radians(lat1))*cos(radians(lat2))*sin(dLon/2)*sin(dLon/2);
float c = 2*atan(sqrt(a), sqrt(1-a));
float distance = R*c;
return distance;}
```

Завершающим этапом является интеграция с аппаратной частью. На данном этапе происходит подключение датчиков, установка параметров их работы, а также проверка правильности функционирования всей системы в целом

Таким образом Авторами статьи были продемонстрированы основные этапы разработки системы управления наземным робототехническим комплексом. Приведены примеры алгоритма управления, а так же представлен программный код.

Список литературы

1. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 464 с.: ил. – (Электроника)
2. Седжвик Р. Фундаментальные алгоритмы на C++. Анализ/Структуры дан-ных/Сортировка/Поиск: Пер. с англ./Роберт Седжвик. – СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2002.– 688 с.
3. Скиена С. Алгоритмы. Руководство по разработке. – 2-е изд.: Пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 720 с.: ил.
4. Сердюк П., Слюсар В. Средства связи с наземными роботизированными системами. Современное состояние и перспективы // Электроника. Наука, технология, бизнес. 2014. №7 (00139).
5. Применение робототехнических комплексов специального назначения: сборник трудов секции №5 XXVIII Международной научно-практической конференции «Предотвращение. Спасение. Помощь», 22 марта 2018 года. – ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России. – 2018.
6. Интеллектуальные системы автоматизированного управления / под ред. И.М. Макарова, В.В. Лохина. – М.:Физматмет, 2001.

ОСОБЕННОСТИ СТАБИЛИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Г.Н. Томозов, С.С. Колмогорова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В статье предлагается рассмотреть особенности систем стабилизации для систем управления, рассматриваются вариации систем стабилизации (аппаратные и программные) для генераторных и управляющих устройств. Также представлена модификация системы стабилизации управления беспилотным катером. В конце подводится вывод о принципах построения системы стабилизации и их важности.

Ключевые слова:система стабилизации, система управления

Введение

Одной из важнейших задач теории управления является задача о стабилизации динамических систем. Интерес к проблемам стабилизации обусловлены как запросами практики управления, так и формулировками открытых проблем известными учеными. Методы стабилизации управляемых динамических систем создавались и развивались примерно последние 150 лет: от создания катаракта Вышнеградского до анализа и синтеза систем стабилизации спутников и плазмы в современных токамаках. Наиболее эффективные методы и алгоритмы стабилизации разработаны для линейных стационарных систем, в то же время очень мало разработок и методов стабилизации для нелинейных динамических систем, поскольку необходимость в их развитии появилась совсем недавно, с появлением новых электронных автоматических систем и использовании более совершенных полупроводниковых материалов. Теории и практике стабилизации линейных и нелинейных систем и смежным с ней вопросам посвящено большое число статей и книг. На сегодняшний день ученые ставят задачу стабилизации систем управления (СУ) для атомной энергетики, ресурсодобывающей, космической промышленности, судостроения и робототехники.

На практике реализуются различные системы управления, например СУ рулевой системой судна, беспилотные системы (нелинейные СУ); СУ вентиляцией, бытовые приборы, ветрогенераторы (разомкнутые без обратной связи); измерительные схемы, электрический колебательный контур (линейные СУ).

В статье предлагается модель нелинейной замкнутой СУ беспилотного катера с дискретным входным и непрерывным выходным сигналом и реализация системы стабилизации для данной СУ.

Аналитический обзор

В работе [1] рассматривается система стабилизации для генераторных устройств. В схеме (рис.1) стабилизация выполняется через 2 операционных усилителя и 1 усилитель мощности и тахогенератор.

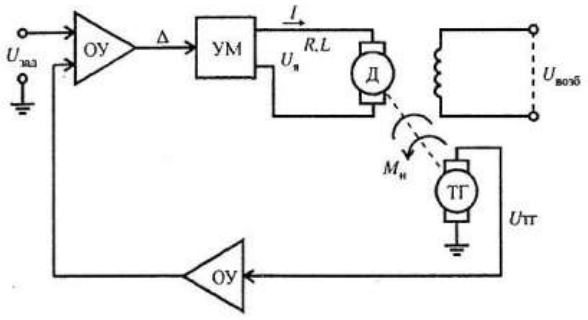


Рис. 1. Функциональная схема системы стабилизации скорости вращения двигателя постоянного тока (ОУ-операционный усилитель, УМ- усилитель мощности, Д-двигатель, ТГ-тахогенератор)

В работе [2] описана система стабилизации для манипуляторного устройства с использованием нейросетевых ограничений. Данная система предназначена для автоматической стабилизации управления манипулятором с использованием нейросетевой программы.

Рис. 2. Функциональная схема системы управления манипулятором-2 сумматора, 2 коммутационных ключа (КК), усилитель мощности (УМ), органы управления, блок управления [2]

На рис. 2 стабилизация происходит с помощью системы 2 коммутационных ключей с сумматорами и усилителя мощности, управляемая через органы управления. Органы управления содержат управляющую нейросетевую программу, благодаря которой происходит настройка элементов сиситемы, дл стабилизации управления.

Постановка задачи

Системы стабилизации в СУ имеют ряд важных особенностей. Это связано с тем, что данная СУ управляет беспилотным надводным транспортом (катером). Потому важно рассматривать как внутренние, так и внешние факторы дестабилизации системы. Поэтому важно при разработке системы стабилизации выбрать элементы, которые будут одновременно соответствовать условиям и расчетам и будут устойчивы к воздействию внешней среды за счет особенностей конструкции или использованием изоляционных материалов, для создания барьера между системой управления и окружающей средой.

Реализация системы управления

Для реализации СУ авторами применялись следующие подходы, в частности в основу математического описания углового движения БПЛА положены, в первую очередь, линеаризованные уравнения короткопериодического движения, которое традиционно разделено на продольное и боковое [3]. Уравнение каждого типа короткопериодического движения имеют вид:

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x(t) + B(t)u(t) + F(t)w(t) \quad (1)$$

$$y(t) = C(t)x(t) + D(t)u(t) \quad (2)$$

Беспилотным катером на радиоуправлении. СУ имеет вид динамической нелинейной замкнутой системы управления. Она реализована через основной сервопривод, управляющий тягой, дополнительный сервопривод, управляющий рулем, основной программный блок, содержащий управляющую программу и пульт управления, передающий управляющий сигнал по радиоканалу.

В данной схеме применены параллельно подключенные конденсаторы, и последовательно подключенный DC/DC преобразователем, ведущий стабилизированный сигнал через операционный усилитель. Также в самой системе управления для стабилизации использована схема с двумя транзисторами и DC/AC преобразователем.

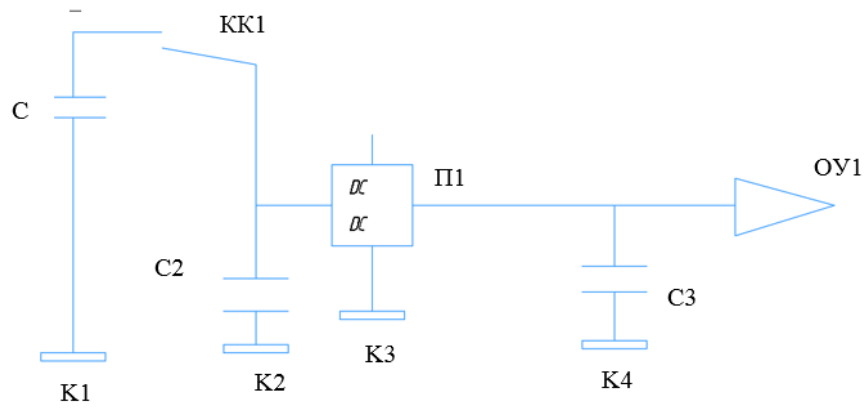


Рис. 3. Система стабилизации для системы управления беспилотным катером

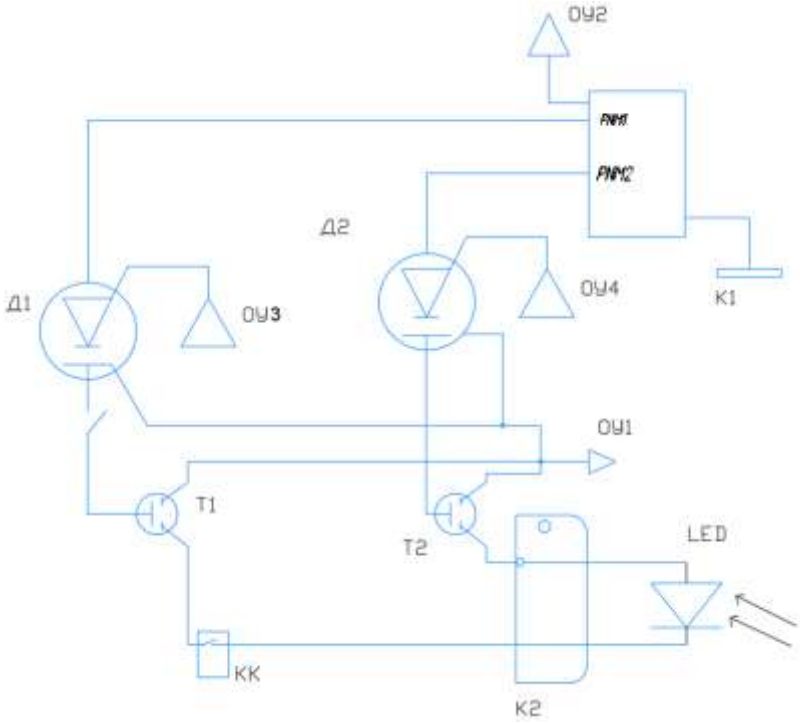


Рис. 4. Система управления беспилотным катером

Заключение

Таким образом в статье рассмотрены аппаратные и программные вариации систем стабилизации для СУ генераторных и управляющих устройств, а также разработана модификация системы стабилизации для системы управления беспилотным катером, позволяющая стабильно работать в морских условиях. В ходе проектирования получены выводы о том, что система стабилизации должна иметь внутреннюю или внешнюю изоляцию, чтобы внешние факторы среды не препятствовали работе системы стабилизации

Список литературы

1. Шаляпин В.В. Управление в технических системах. / учеб. пособие. — СПб, 2011. - 253с
2. И. В. Войнов [и др.] Система управления роботом-манипулятором с использованием нейросетевых алгоритмов ограничения рабочей области схвата,//Вестник ЮУрГУ, Серия “Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника”. -Миасс 2017 г.-С. 29-36

3. Шумафов М. М. Стабилизация линейных систем управления. Проблема назначения полюсов. Обзор // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2019. Т. 6 (64). Вып. 4. С. 564–591.

РОБОТИЗИРОВАННАЯ ЯЧЕЙКА С ПОВОРОТНЫМ СТОЛОМ

Т.Р. Юлдашев, Е.В. Илатовская

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В данной статье рассматривается разработка поворотного стола, устройства дозирования, и алгоритма системы управления роботизированной ячейки. Приведены преимущества данной роботизированной ячейки.

Ключевые слова: поворотный стол, устройство дозирования, алгоритм управления.

Поворотный стол – это устройство, выполняющее функции накопления, и транспортировки продукции по технологическому конвейеру. Применение поворотных столов в составе конвейерных линий позволяет увеличить их технико-экономическую эффективность и производительность.

В рассматриваемой роботизированной ячейке поворотный стол выполнят также функцию позиционирования продуктовой тары относительно дозирующих устройств.

Конструкция разработанного поворотного стола представляет собой несущее основание, напечатанное на 3D-принтере, на центральной оси которого посажена ведомая шестерня с подшипником. Во внутреннем пространстве несущего основания закреплены 3 упорных ролика. Так же, в конструкции основания присутствует посадочное место двигателя с ведущей шестерней. Рабочая поверхность закреплена на ведомой шестерне через винтовое соединение. На рисунке 1 представлена 3D-модель поворотного стола.

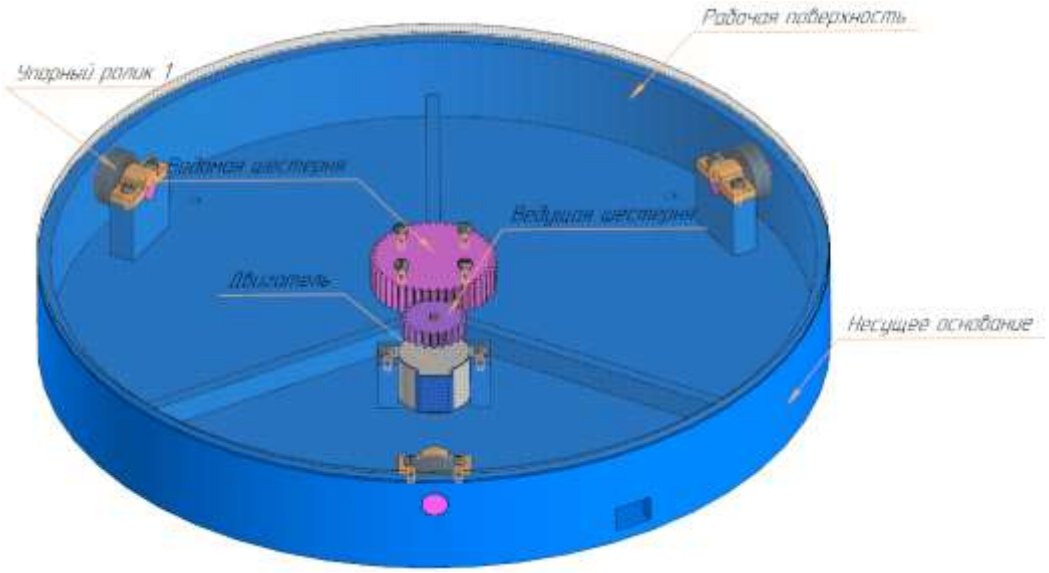


Рис. 1. Конструкция поворотного стола

В конструкции данного поворотного стола применяется шаговый двигатель 28byj-48, максимальная скорость вращения которого 25 об/мин. Коэффициент передачи редуктора поворотного стола – 0.5.

Применение трех упорных роликов в конструкции поворотного стола позволяет существенно снизить затраты по сравнению с применением упорного подшипника.

На рисунке 2 изображено крепление упорных роликов.

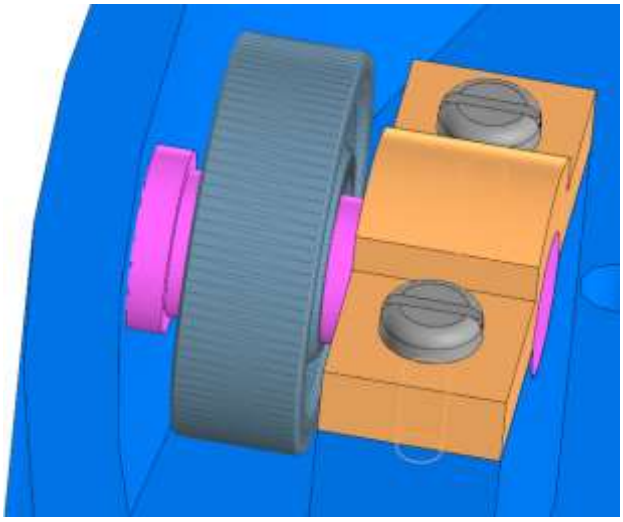


Рис. 2. Крепление упорных роликов

Рассматриваемая роботизированная ячейка выполняет функцию счетного дозирования крупнозернистой продукции.

Счетные дозаторы – это специальный вид дозирующего оборудования, который предназначен для фасовки продукта по заданному количеству, например: драже, таблеток, капсул, витаминов, конфет, леденцов и так далее.

Продукцию имитируют пластмассовые шары диаметром 6 мм.

Для данной роботизированной ячейки был разработан счетный дозатор, работающий по принципу шибера. На рисунке 3 представлена конструкция дозатора.

Бункер (2) заполняется дозируемым материалом. Доступ в бункер осуществляется путем снятия крышки (1). Шибер (4) приводится во вращение шаговым двигателем (10) через переходной шип-вал (6) и представляет собой круглую пластину толщиной 7 миллиметров со сквозными отверстиями диаметром 7 мм. Каждое отверстие шибера заполняется одним шариком 6 мм, что позволяет контролировать количество дозируемой продукции. Через выходное отверстие расположенном на дне (5) бункера шарики опорожняются и проходят через фото-прерыватель, установленный в корпусе (8), далее попадает в желоб (9), по которому скатывается в тару. Деталь (3) разделяет бункерное пространство и канал питателя. Шаговый двигатель и все провода скрыты в корпусе (7).

Диаметр устройства 8 см, а высота 33 см. Объем бункера около 1000 $см^3$.

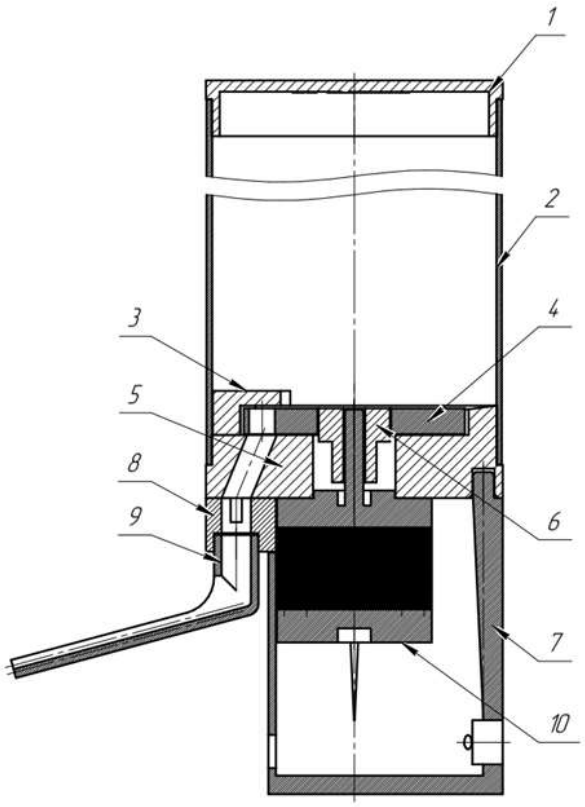


Рис. 3. Схема счетного дозатора

Во фронтальной части корпуса дозатора присутствует отверстие для установки инфракрасного дальномера, который предназначен для обнаружения тары, подвозимой поворотным столом к дозатору.

Рассматриваемая роботизированная ячейка состоит из поворотного стола, трех дозаторов с различной дозируемой продукцией, и системы управления. На рисунке 4 представлен общий вид рассматриваемой роботизированной ячейки.

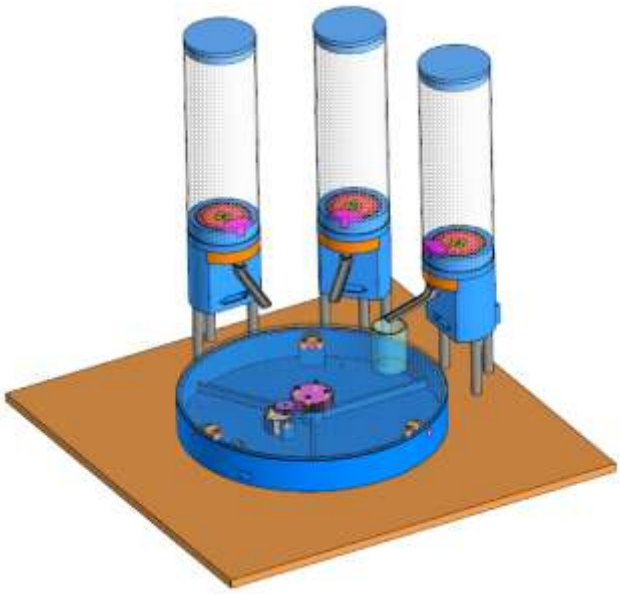


Рис. 4. 3D-модель роботизированной ячейки

Система управления роботизированной ячейки организована модульно. Преимущества такой организации, это стандартизированность, взаимозаменяемость, масштабируемость. В случае необходимости, в эксплуатацию можно ввести дополнительные устройства дозирования.

В модулях управления дозатором и поворотным столом используется микроконтроллер производства компании Microchip PIC16F887. Взаимодействие между модулями происходит по протоколу UART.

На рисунке 5 представлена роботизированная ячейка в сборе.

Рис. 5. Роботизированная ячейка в сборе

Разработанная роботизированная ячейка позволяет выполнять функции накопителя продукции, транспортировки по технологическому конвейеру, а также, функцию дозирования.

Список литературы

1. Жавнер В. Л., Чжао Вэнь. Дозирование сыпучих продуктов малыми дозами массой 0,2–5 грамм // Вестник Международной академии холода. 2018. № 2. С. 34–41.
2. Ляпушкин С.В. Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук: Повышение эффективности управления электроприводом автоматизированного комплекса дозирования сыпучих материалов / ТПУ, Томск, 2015.
3. Microchip Technology Inc., PIC16F887 Datasheet.

Сборник материалов

XII Научно-практической конференции с международным участием

«НАУКА НАСТОЯЩЕГО И БУДУЩЕГО»

для студентов, аспирантов и молодых ученых

состоявшейся 16-18 мая 2024 г.

в г.Санкт-Петербурге

Том III